
Laboratoire :	US191	RAPPORT DE CALIBRATION
Implantation :	Brest	Version 01
		Page 1/20

Rapport de Calibration des données LADCP De la campagne PIRATA-FR25

DOI : 10.17600/15001800

Septembre 2020

Version papier non gérée

Sommaire

1.	Procédure de traitement.....	5
1.1.	Acquisitions des mesures L-ADCP.....	5
1.2.	Méthode de traitement.....	6
2.	Traitement des données.....	10
2.1.	Paramétrage du traitement.....	10
2.2.	Cas particuliers.....	11
3.	Contrôle et Validation des données.....	12
4.	Références.....	13
5.	Annexe 1 – Procédure de prétraitement schématisée.....	14
6.	Annexe 2 – Procédure de traitement schématisée.....	15
7.	Annexe 3 – Convention du fichier NetCDF généré.....	17
8.	Annexe 4 – Date, positions et carte des stations effectuées pendant PIRATA-FR25.....	18
9.	Annexe 5 – Profils de vitesses absolues du courant moyen pour chaque point de station.....	19
10.	Suivi des versions de ce document.....	20

Version papier non gérée

Abstract

Accurate current measurement profiles have been performed at each stations during the PIRATA-FR25 cruise, using two L-ADCP current meter (two *RDI* 300kHz) mounted on the CTD frame, one looking up and one down. This particular setting-up maximizes the total range of velocity observations, reducing the overall error of the system and providing redundancy on measurements. Nevertheless, raw data provided by L-ADCP systems show important errors, as example, the displacements of CTD frame inside the water column don't allow to provide accurate measurements. Thereby, many processing steps are necessary to produce good quality data. Data issued from this rapport have been processed using the version 10.16 of the IFM-GEOMAR/LDEO software, developed by Martin Visbeck and maintained by Gerd Krahnann. This data processing, based on inverse methods, enables to add external constraints, such as S-ADCP or navigational data and bottom-referenced velocity profiles, and in this way, greatly improves the quality of the data. For each station, an average current profile is generated. This rapport describes the different processing steps performed on the PIRATA-FR25 data.

Version papier non certifié

Résumé

La campagne PIRATA-FR25 est la 25^{ème} de la série des campagnes annuelles organisées par la France au sein du programme international PIRATA (*Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic*). Elle a été menée par l'IRD à bord du N/O Le Suroit du 18/03/2015 au 16/04/2016 dans l'Atlantique tropical. Au cours de cette campagne, 8 profils courantométriques, associées à des stations hydrologiques, ont été effectuées. Deux L-ADCP (Lowevered Acoustic Doppler Current Profiler) Workhorse 300 kHz de *Teledyne RD Instruments* étaient montés sur la bathysonde, un orienté vers le bas et l'autre vers le haut, permettant une mesure du profil moyen vertical de courants à chaque station.

Le traitement de ces données a été effectué à l'aide de la version 10.16 du système de traitement L-ADCP de l'IFM-GEOMAR/LDEO, logiciel MATLAB développé initialement par Martin Visbeck puis maintenu par Gerd Krahnmann. Les données de chacun des deux L-ADCP sont couplées et à partir d'une méthode inverse, permettant le forçage avec des informations externes telles que les mesures S-ADCP, les mesures de navigation, les mesures de courants référencées sur le fond (*bottom-track*) ou encore les mesures de la sonde CTD, apportent une mesure fiable du profil vertical de courant avec une bonne résolution. Ce rapport traite du traitement et de la qualification de ces données.

La procédure de calibration suivie pour traiter les données de cette campagne est présentée dans une première partie. Ensuite sont exposés les paramètres utilisés pour le traitement ainsi que les cas particuliers rencontrés. Enfin, sont présentés dans une dernière partie les produits issus de la validation des données.

1. Procédure de traitement

1.1. Acquisitions des mesures L-ADCP

Au cours de la campagne PIRATA-FR25, des données L-ADCP ont été acquises à chaque station à bord du N/O Le Suroit (figure 1). Les ADCPs permettent une estimation de la vitesse horizontale et verticale du courant à l'aide du son, en utilisant le principe de l'effet doppler. Un signal acoustique est émis à une fréquence connue, et est réfléchi par les particules en suspension dans l'eau jusqu'au capteur avec une fréquence légèrement modifiée. Les particules sont supposées sans mouvement propre ; leur vitesse représente alors la vitesse de la masse d'eau dans laquelle elles se trouvent. L'ADCP utilise le décalage doppler du signal rétrodiffusé (déphasage proportionnel à la vitesse des réflecteurs) pour mesurer la vitesse du courant dans des cellules définies temporellement (*bins*). De manière à mesurer les trois composantes du courant, quatre faisceaux sont générés simultanément à partir du transducteur avec un certain angle (ici 20°) et orienté différemment, permettant la mesure du signal rétrodiffusé dans différentes directions. Lors de la descente et la montée de la bathysonde, les L-ADCP, l'un tête vers le haut (*upward*) et l'autre tête vers le bas (*downward*), réalisent des profils individuels successifs qui ont des zones de recouvrement, c'est à dire que pour une même profondeur il existe plusieurs mesures de vitesse. La construction d'un profil de vitesses horizontales absolues se fait en associant tous ces profils individuels.

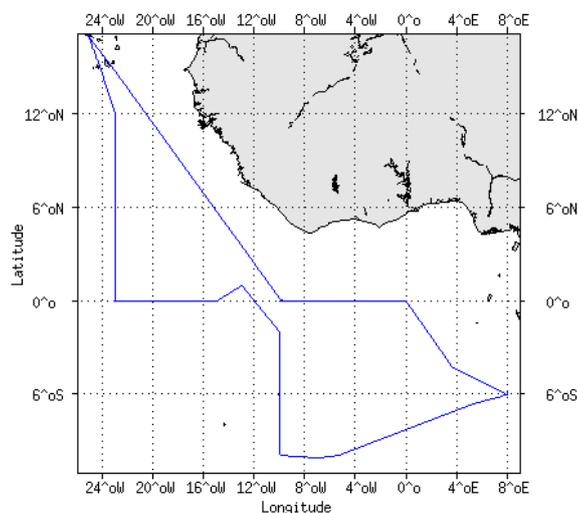


Figure 1 : Tracé de la trajectoire du N/O Thalassa pendant PIRATA-FR25 permettant l'acquisition de mesure S-ADCP

La configuration des L-ADCP n'a pas évolué au cours de la campagne. Les L-ADCP sont synchronisés, avec un appareil maître (*master*) et l'autre esclave (*slave*). Toutefois la procédure de synchronisation n'a pas été respectée (envoi de la commande CS après chargement des configurations dans les deux L-ADCP), ainsi les L-ADCP n'étaient pas totalement synchronisé, un léger délai existe et des interférences sont rencontrés sur ces données. Les paramètres choisis sont présentés dans le tableau 1. La précision, la portée et la résolution verticale de la mesure sont dépendantes de cette configuration.

Tableau 1 : Configuration des L-ADCP 300kHz utilisés pendant PIRATA-FR25

Paramètre	Valeur Master	Valeur Slave
Ping par ensemble	1	1
Nombres de cellules	20	20
Longueur d'une cellule [m]	10	10
Longueur du blanc après transmission [m]	1,76	1,76
Temps entre ping [s]	1	1
Largeur de bande	Narrow	Narrow
Vitesse radiale maximale [cm/s]	300	300
Précision de la mesure [cm/s]	3.7	3.7
Portée maximale [m]	~200	~200
Synchronisation	Pulse avant chaque water ping	Ecoute pulse
Délai de synchronisation [ms]	7,5	300000
Particularité	Méthode de synchronisation non valide	Méthode de synchronisation non valide

1.2. Méthode de traitement

Dans un premier temps, une *toolbox* (*pre-processing*) développé par Frédéric MARIN au LEGOS est utilisé pour contrôler chacun des profils (annexe 1). Cette *toolbox* permet d'établir un certain nombre de diagnostics sur les données brutes, pour s'assurer du bon fonctionnement des L-ADCP pendant la station (ie.: comparaison des données acquises par chacun des faisceaux, comparaison des fréquences d'acquisitions des *pings* des deux L-ADCP,...), et sur l'environnement d'étude, pour s'assurer de la

validité des hypothèses utilisées (ie.: contrôle de la variabilité temporelle des courants pendant la station via les données S-ADCP, contrôle des courants de marées,...).

Ensuite est utilisé le logiciel de traitement L-ADCP de l'IFM-GEOMAR/LDEO. L'ensemble du processus de traitement est présenté en annexe 2. Le principe du logiciel repose sur le fait que pour chaque profil individuel, le L-ADCP effectue une mesure de vitesse tel que :

$$U_{ADCP} = U_{OCEAN} + U_{CTD} + U_{NOISE} \text{ eq.1}$$

Ainsi à un temps t , pour chacun des profils, la vitesse mesurée est une combinaison du courant absolue U_{OCEAN} , du mouvement propre de la bathysonde U_{CTD} et du bruit U_{NOISE} . Le principe du traitement se repose alors sur deux hypothèses : la vitesse du courant absolue U_{OCEAN} ne dépend pas du temps mais seulement de la profondeur et, la vitesse induite par le mouvement de la bathysonde U_{CTD} est la même pour tous les *bins* (cellules) d'un même *ping* (profil individuel). La méthode inverse vise à estimer U_{OCEAN} et U_{CTD} à partir des données L-ADCP et des autres contraintes externes auxquelles un poids est affecté en fonction du bruit attendu. Un système d'équations linéaires est ainsi défini pour faciliter cette estimation. Le système d'équation peut se mettre sous la forme matricielle :

$$d = G(U_{OCEAN}, U_{CTD}) + \text{bruit} \text{ eq.2}$$

La solution qui minimise la différence carrée entre les données d et la prédiction s'obtient alors directement par :

$$(U_{OCEAN}^{est}, U_{CTD}^{est}) = [G^T G]^{-1} G^T d \text{ eq.3}$$

Dans un premier temps, il est nécessaire d'initialiser toutes les données disponibles pour le traitement. Dans le cadre de cette campagne, les données d'ADCP de coque, de navigation (via GPS) et de sonde CTD étaient disponibles. Pour chacun des profils, les données correspondantes sont extraites temporellement, elles permettront d'optimiser le traitement et de forcer la solution de la méthode inverse. Les données de la sonde CTD apportent, via la série temporelle de pression, une information fiable sur la profondeur de la bathysonde à chaque *ping*. En outre, l'utilisation des données ajustées de la sonde permettent de corriger et calculer précisément les variations de la vitesse du son dans l'eau. Parallèlement les données S-ADCP permettent de contraindre les données mesurées en surface, tel que :

$$U_{OCEAN}(z) = U_{SADCP}(z) + \text{bruit} \text{ eq.4}$$

Les données de navigation apportent, elles, une contrainte barotrope en séparant la vitesse propre de l'instrument de la vitesse du courant. En effet, lorsque le profil est continu tout au long de la station, et si une position précise est disponible en début et fin de profil, l'intégration du mouvement de la bathysonde sur la durée de déploiement correspond au déplacement du navire pendant le déploiement, soit :

$$\int_0^T U_{CTD} dt = position_{(finstationL-ADCP)} - position_{(débutstationL-ADCP)} = DX_{SHIP} + bruit \text{ eq.5}$$

Le système d'équation se compose donc de l'adéquation aux données L-ADCP (eq. 6), de la contrainte barotrope (eq. 5), de l'adéquation aux données S-ADCP (eq. 4), mais également d'une contrainte de lissage vertical du profil et d'une adéquation aux données de *bottom-track*, mesures de courants référencées sur le fond (eq. 7).

$$U_{OCEAN}(z_i) + U_{CTD}(t) = U_{ADCP}(t, i) + bruit \text{ eq.6}$$

Les données de *bottom-track* sont les mesures effectuées par le L-ADCP lorsqu'il est proche du fond, apportant une information de vitesse fond en mesurant le déplacement de la bathysonde par rapport à celui-ci ($-U_{CTD}$). Ces mesures sont réalisées soit par une mesure directe, via un paramétrage de l'appareil permettant l'utilisation d'une impulsion plus puissante et plus longue entre chaque *ping* (mode *bottom-track*), soit par une estimation, via l'utilisation de l'amplitude d'écho réfléchi des *pings*. Dans ce cas, le *bin* de maximum d'intensité est défini comme le dernier *bin* au-dessus du fond et la mesure de *bottom-track* est estimée à partir de la médiane des vitesses des 3 *bins* centrés sur ce maximum. Cette estimation peut être effectuée soit avec le logiciel de traitement, soit directement en temps-réel au sein du L-ADCP pour les ADCP Workhorse (estimation a priori meilleure). Le mode *bottom-track* reste toutefois la méthode la plus précise. Ces mesures permettent de contraindre les données L-ADCP mesurées au fond tel que :

$$U_{CTD}(t) = BT + bruit \text{ eq.7}$$

Tous ces jeux de données externes sont synchronisés avec les données L-ADCP. Les données L-ADCP sont les fichiers binaires '.000' récupérés en sortie des appareils. Ces fichiers comportent (en partie) les enregistrements pour chaque *ping* : de vitesse, d'amplitude de corrélation, d'intensité d'écho, de pourcentage de valeurs correctes, d'attitude de l'appareil et de *bottom-track*. Les mesures de vitesse sont

ici récupérées directement en coordonnées terrestres, calculées en prenant en compte les mesures d'attitude (roulis, tangage) de l'appareil. Les profils des deux L-ADCP sont fusionnés sur la même base temporelle.

Ensuite le traitement suit les grandes étapes suivantes :

- Nettoyage des données en supprimant les pics via un test d'écart à la médiane,
- Application de la déviation magnétique,
- Correction des problèmes d'attitude des appareils,
- Application de seuils de vitesses limites,
- Calcul de la profondeur des profils individuels à partir de l'intégration verticale des vitesses verticales mesurées par les L-ADCP ou, si disponible, à partir des profondeurs déduites de la sonde CTD,
- Calcul de la vitesse du son corrigée et correction des vitesses L-ADCP,
- Nettoyage des données brutes (*bins*) avec application de masques, prise en compte de la géométrie des lobes d'émission, filtrage temporelle, correction des interférences, lissage du seuil de corrélation, rotation des vitesses sur un cap commun, application de poids éventuels selon L-ADCP ou tilts importants
- Moyennage des *pings* en 'super-ensemble' de manière à diminuer le bruit et accélérer l'algorithme,
- Suppression des *outliers* des 'super-ensemble' (1 % des données les plus incohérentes).
- Résolution du système par méthode inverse

Une fois l'inversion résolue, chacune des contraintes utilisées est évaluée. Le logiciel génère des figures à chaque étape, permettant de réaliser un contrôle du traitement effectué à chacune d'elle. Les résultats des différentes étapes de traitement sont retranscrits dans un fichier log.

Le logiciel de traitement permet également de résoudre U_{OCEAN} via l'ancienne méthode de cisaillement : le profil moyen de cisaillement mesuré par le L-ADCP est intégré verticalement pour obtenir le profil des vitesses baroclines. Cette méthode est toutefois plus sensible au bruit et ne permet pas d'utiliser les informations externes telles que le S-ADCP ou le *bottom-track*. Elle est utile dans certains cas où la méthode inverse est douteuse ou ne peut être appliquée.

2. Traitement des données

2.1. Paramétrage du traitement

Les L-ADCP SN12818 (*downward, master*) et SN12817 (*upward, slave*) ont été utilisés pendant cette campagne. Le montage sur la bathysonde utilisée a induit un espacement de 1,6m entre les deux L-ADCP. Avant la campagne, les compas de ces L-ADCP ont été étalonnés mais l'erreur n'a pas été contrôlée. Or, il a été admis avant PIRATA-FR28 via la vérification des compas grâce à la plateforme tournante d'étalonnage du LOPS que le sens d'étalonnage des compas va fortement influencer la matrice calculée. Ainsi, le L-ADCP SN12818 a été étalonné tête vers le haut alors qu'il devait être déployé tête vers le bas, cela induit une forte dérive de compas. Il a donc été préféré d'utiliser le compas du L-ADCP *up* plutôt que le *down* pour les traitements. L'ensemble des paramètres modifiés et utilisés pendant cette campagne est présenté dans le tableau 2. La configuration des appareils a conduit à déterminer une résolution verticale finale de 10m (elle correspond à la taille médiane des cellules enregistrées sur un profil).

Tableau 2 : Paramétrage globale du traitement L-ADCP pendant PIRATA-FR25

Paramètre	Valeur
p.dz (resolution verticale en m.)	10
p.avens (nombre d'ensemble pour moyennage)	10
p.outlier (nombre d'écart type pour écart à la médiane)	[4]
p.vlim (seuil de la vitesse horizontale)	2,5
p.wlim (seuil des vitesses verticales par rapport à la moyenne)	0,2
p.pglim (seuil du pourcentage de bonnes données)	30
p.up2down (capteur référent pour rééchantillonnage)	1 (Rééchantillonnage <i>uplooker</i> sur <i>downlooker</i>)
p.rotup2down (mode d'ajustement du compas)	4 (<i>cap L-ADCP up référent</i>)
p.edit_spike_filter_ax_curv (maximum 2nd derivative target strenght allowed during filtering)	NaN
p.edit_mask_dn_bins (<i>bins</i> à supprimer du LADCP <i>downward</i>)	1
p.edit_mask_up_bins (<i>bins</i> à supprimer du LADCP <i>upward</i>)	1

Tableau 3: Paramètres du traitement L-ADCP (voir tableau 2) pour les cas particuliers rencontrés pendant PIRATA-FR25

Station	Paramètre / Valeur
1	
2	p.sadcpfac / 2
4	<i>Modification code (suppression de moins d'outliers lors du calcul du décalage temporal)</i>
5	p.sadcpfac/ 4 p.sadcpfac2 / 0
6	p.barofac / 0 p.sadcpfac2 / 0
7	p.up2down / 2

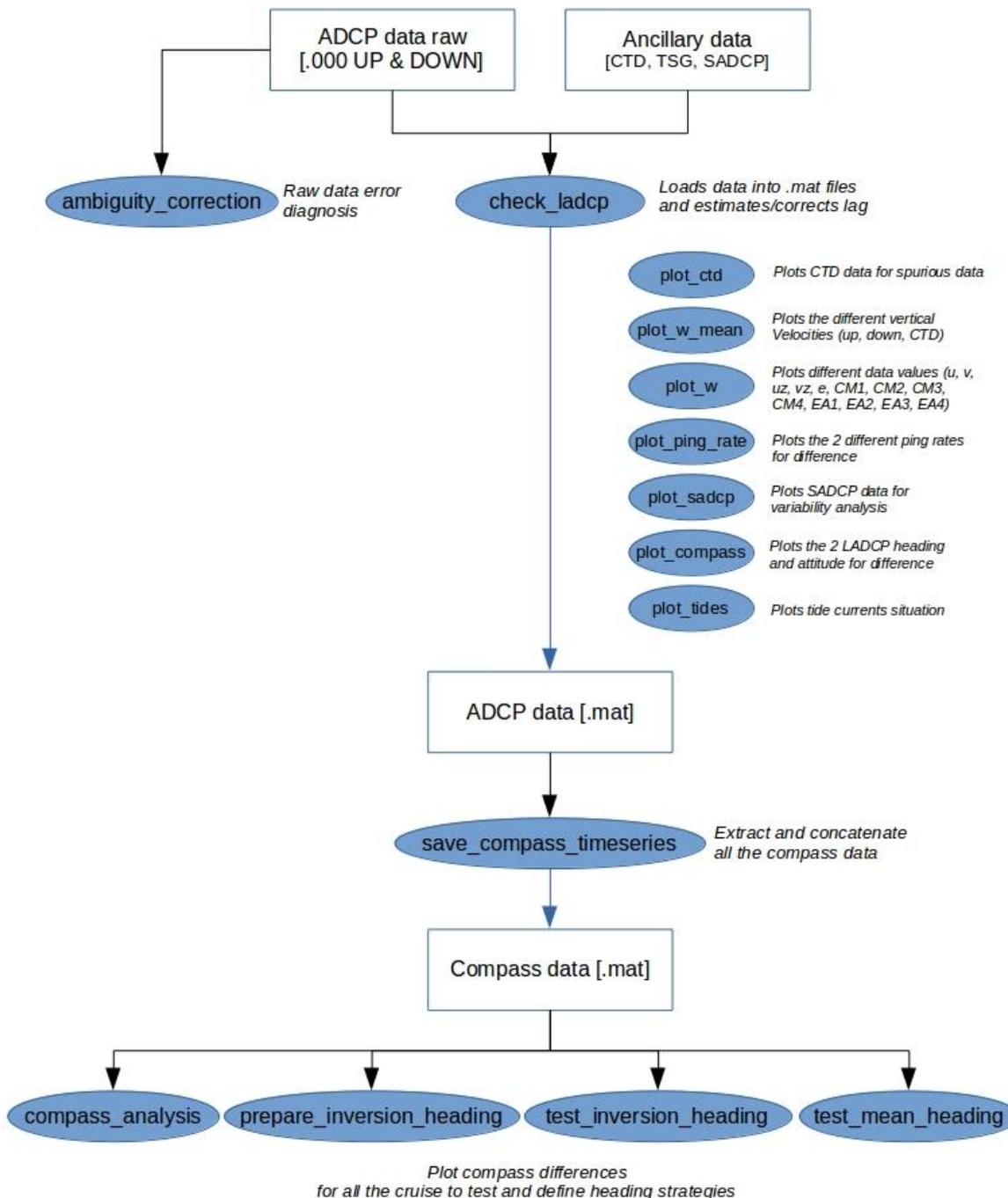
3. Contrôle et Validation des données

L'ensemble des données traitées a été rassemblé dans un même fichier NetCDF au format OceanSites (OS_PIRATA-FR25-ALL_LADCP.nc) dont la convention est présentée en annexe 3. Les 50 profils de courants recueillis sont présentés en annexe 5. Les profils corrigés de la marée ont été ajoutés au fichier NetCDF. Le modèle de marée TPXO7.2 est utilisé. Ces données n'ont pas pu être contrôlées et validées pendant cette campagne. La stratégie n'a pas permis de comparaison avec les profils S-ADCP, ni d'intercomparaison entre profils lorsque plusieurs stations ont été effectuées à la même position géographique. Le profil de la station 1 doit être exploité avec précautions car l'algorithme n'a pas pu être utilisé de manière optimale.

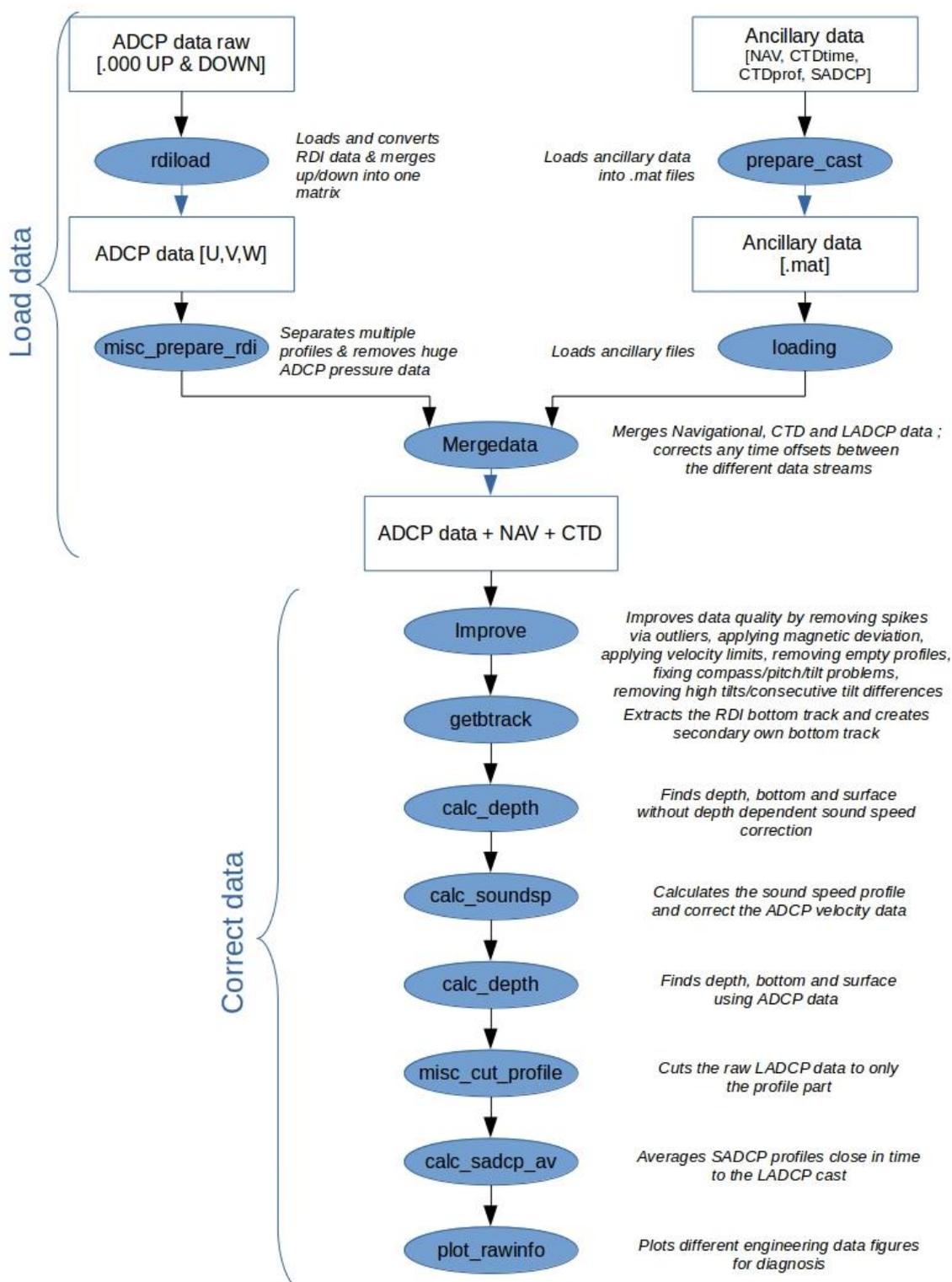
4. Références

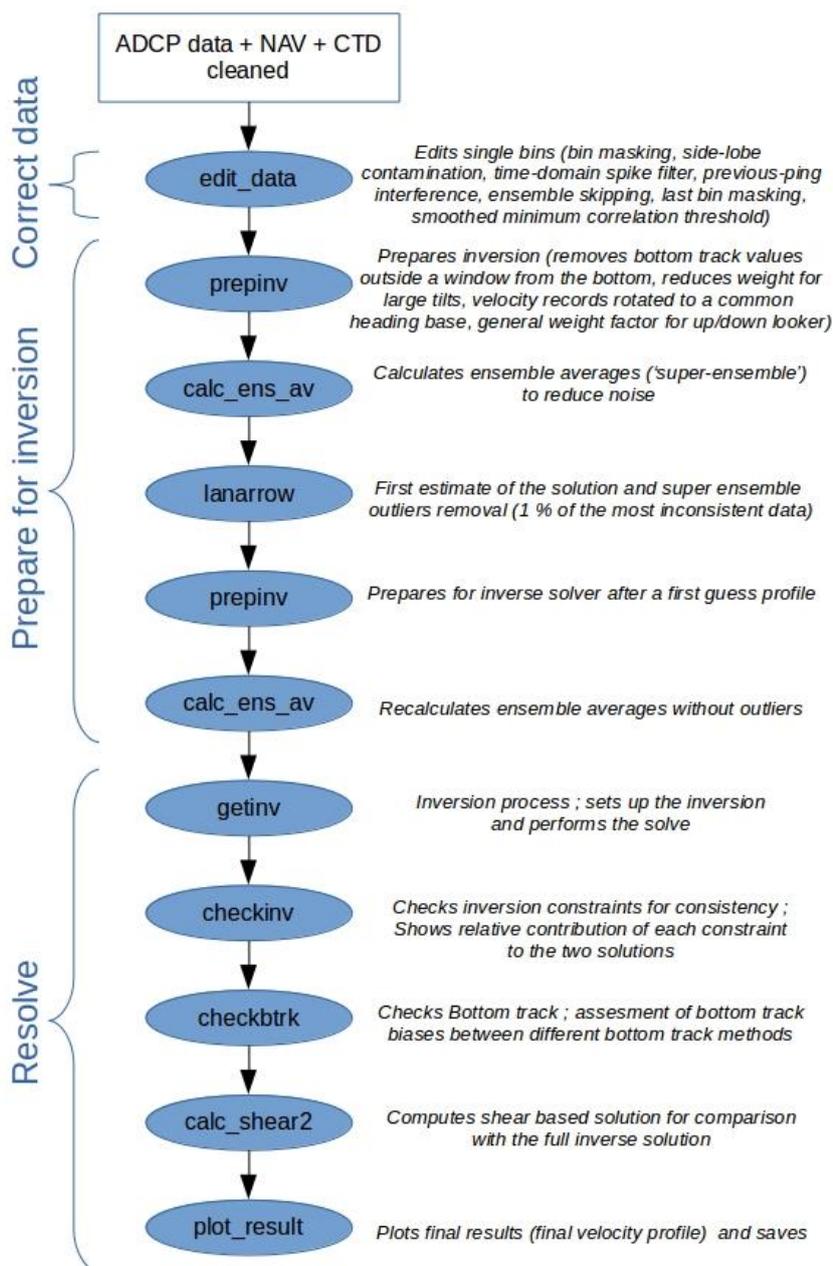
- Fischer J. et Visbeck M. (1993). *Deep Velocity Profiling with Self-contained ADCPs*. J.A.O.T., Volume 10, 764-773.
- Gouriou Y. et Hémon C. (1997). *Traitement des données L-ADCP*. Centre ORSTOM de Cayenne: Documents Scientifiques N° 0.P.21.
- Marin F. (2017). *Acquisition et traitement des données L-ADCP*. Document en interne.
- Kolodziejczyk N., Bourlès B., Marin F., Grelet J. et Chuchla R. (2014). *Seasonal variability of the Equatorial Undercurrent and the South Equatorial Undercurrent at 10°W as inferred from recent in situ observations*. J. Geophys. Res., 114, C06014, doi: 10.1029/2008JC004976.
- OceanSites (2015) *OceanSITES Data Format Reference Manual. NetCDF Conventions and Reference Tables*.
- Rousselot P. (2018). *Rapport de Calibration des données SADCP de la campagne PIRATA-FR28*.
- Thurnherr A.M., Visbeck M. et Huber B. (2004). *Lowered Acoustic Doppler Current Profiler during AnSlope Cruise NBP04-02*. Lamont-Doherty Earth Observatory.
- Thurnherr A.M., Visbeck M., Firing E. et al. (2010). *A manual for acquiring lowered doppler current profiler data*. IOCCP Report No. 14, ICPO Publication Series No. 134, Version 1.
- Thurnherr A.M. (2014). *How to process LADCP data with the LDEO Software (Versions IX.7 – IX.10)*.
- Visbeck M. (2001). *Deep Velocity Profiling Using Lowered Acoustic Doppler Current Profilers: Bottom-track and Inverse Solutions*. J.A.O.T., Volume 19, 794-807.

5. Annexe 1 – Procédure de prétraitement schématisée



6. Annexe 2 – Procédure de traitement schématisée





L-ADCP processing : Part 2

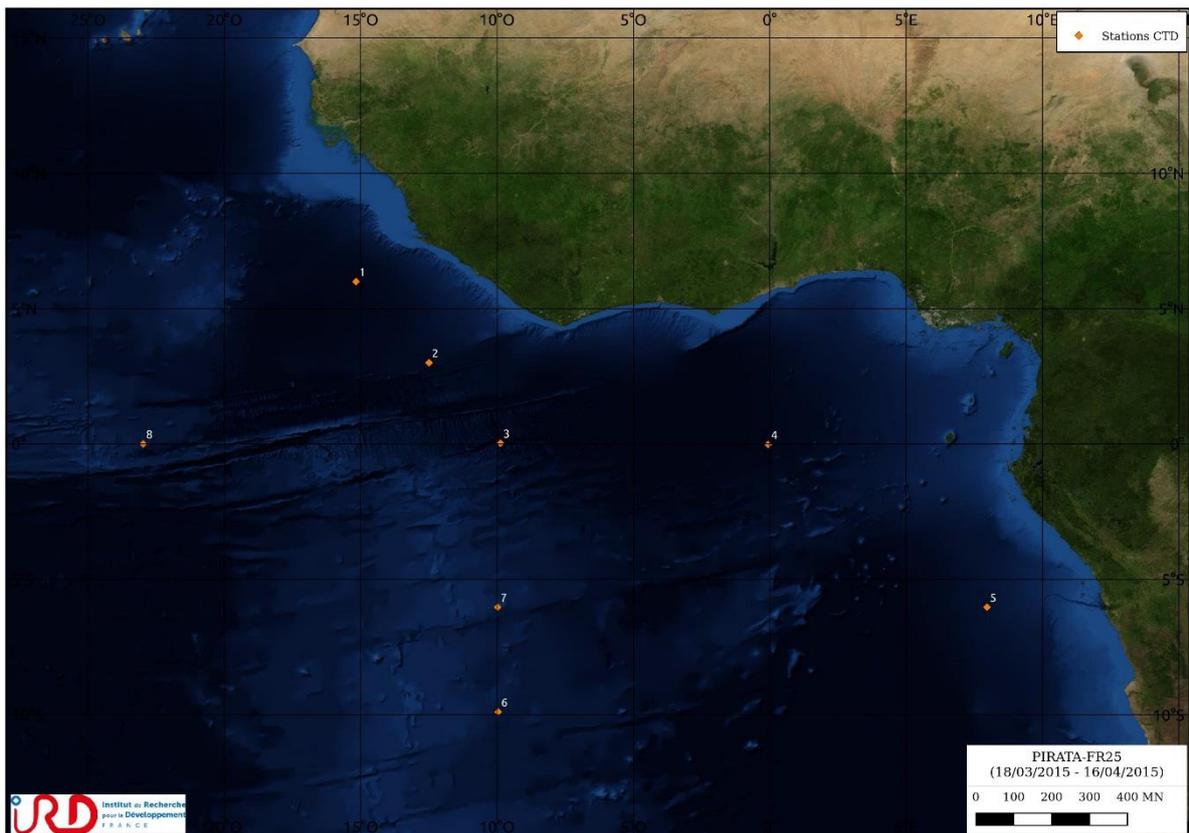
7. Annexe 3 – Convention du fichier NetCDF généré

PROFILE :	Profiles list number
TIME :	Time of measurement (days since 1950-01-01 00:00:00 UTC)
JULD :	Time of measurement (days since January 01, 4713 BCE)
LATITUDE :	Latitude of measurement
LONGITUDE :	Longitude of measurement
BATH :	Bathymetric depth
DEPTH :	Depth of measurement
UCUR :	Eastward sea water velocity
VCUR :	Northward sea water velocity
UTID :	Eastward velocity associated with the tide
VTID :	Northward velocity associated with the tide
UCUR_CORTID :	Eastward sea water absolute velocity corrected from tide
VCUR_CORTID :	Northward sea water absolute velocity corrected from tide
UERR :	Uncertainty estimates of LADCP velocity profile
RANG :	ADCP range estimates of LADCP velocity profile

Laboratoire : US191 **RAPPORT DE CALIBRATION**
 Implantation : Brest Version 01
 Page 18/20

8. Annexe 4 – Date, positions et carte des stations effectuées pendant PIRATA-FR25

Station	Date	Heure	Latitude	Longitude	Pres. max. [dbar]	Fond
1	21/03/2015	13:33:45	05°59.880 N	15°10.450 W	2001	4883
2	22/03/2015	13:59:54	02°59.870 N	12°29.800 W	2001	4556
3	24/03/2015	08:25:49	00°01.540 N	09°52.630 W	2001	4934
4	27/03/2015	13:23:44	00°01.160 S	00°03.440 W	2001	4911
5	31/03/2015	04:35:25	06°01.970 S	07°58.280 E	2000	4180
6	05/04/2015	00:31:20	09°54.070 S	09°57.510 W	2192	3843
7	06/04/2015	03:06:02	06°01.830 S	09°58.830 W	2002	3556
8	11/04/2015	02:12:29	00°00.130 N	22°58.800 W	2000	3960



Laboratoire : US191 RAPPORT DE CALIBRATION
Implantation : Brest Version 01
Page 19/20

9. Annexe 5 – Profils de vitesses absolues du courant moyen pour chaque point de station

