

CAMBIOS

Contribution a CANIGO (MAST3 - CT 96-060)

Volume 2 : Experience CAMBIOS

Rapport des donnees Euleriennes sur les 4 mouillages

Extrait du rapport interne LPO 99-02

Contribution a CANIGO (MAST3 - CT 96-060)

Dans le cadre du projet CAMBIOS, une premiere campagne (CAMBIOS 97) a ete organisee sur le N/O THALASSA du 1er juillet au 2 aout 1997. Cette campagne etait programmee pour la mise en place d'un reseau de mouillages instrumentaux. Ceux-ci ont ete releves par le meme navire au cours d'une deuxieme campagne (CAMBIOS 98) entre le 23 avril et le 11 mai 1998.

Par ailleurs, deux reseaux complementaires de mesures d'hydrologie ont ete realises au cours de ces campagnes : les resultats des mesures CTDO₂ de la campagne CAMBIOS 97 ont ete publies dans le rapport interne LPO 98/02, ceux de la campagne CAMBIOS 98 seront publies dans un prochain rapport interne.

L'objet du present rapport est la presentation des series temporelles de mesures classiques obtenues pendant les dix mois d'immersion des quatre mouillages. Ils supportent a la fois, des instruments de tomographie (ERATO ou SARA), au niveau nominal de 700 metres, et des instruments de mesures classiques aux autres niveaux :

- courantometres AANDERAA de type RCM8 aux niveaux nominaux de 500, 1000 et 3500 metres.
- instruments de mesure de temperature (WADAR) ou de pression, temperature et conductivite (SEACAT) au niveau nominal de 1200 metres.
- chaine de thermistances AANDERAA entre 350 et 450 metres sur le mouillage T2.

Description des mouillages

Ils ont ete confectionnes par l'equipe technique du Laboratoire de Physique des Oceans (LPO). Cette equipe a realise dans le passe de nombreux mouillages prevus pour une tenue en immersion pouvant aller jusqu'a deux ans avec un taux de reussite tout a fait satisfaisant.

La longueur de la partie inferieure du mouillage est ajustee au dernier moment sur le navire apres avoir eu connaissance de la profondeur au point cible (valeur indiquee sur les schemas) : ceci permet d'obtenir une immersion des appareils a une profondeur proche de la valeur nominale. La securite du mouillage pendant son immersion est assuree par une balise Argos placee en haut de ligne : en cas de rupture accidentelle l'alerte est declenchee en surface. La garantie de recuperation du mouillage en fin d'experience est accrue en assurant l'ancrage sur le lest par un couple de largueurs OCEANO-MORS.

Chaque instrument de mesure est dote d'une autonomie d'energie suffisante pour echantillonner a la cadence suivante :

- chaine de thermistances : 60 minutes
- courantometres : 30 minutes
- SEACAT et WADAR : 10 minutes

Controle et etalonnage des appareils de mesure

Courantometres et chaine de thermistances AANDERAA

Une description detaillee du fonctionnement de ces appareils est fournie par la notice technique AANDERAA (1990). Ils sont equipes d'un bloc memoire de capacite accrue pour obtenir une autonomie suffisante.

Apres verification, tous les appareils sont soumis a une serie de controles conformement a la procedure appliquee au LPO et decrite dans le rapport interne 90-02 (Billant, 1990). Cette procedure permet de verifier toutes les fonctions de l'appareil de maniere a ne rien laisser au hasard et accroitre la probabilite de fonctionnement correct pendant la duree de l'immersion.

Dans le cas des courantometres, les parametres, codes sur 10 bits, et mesures toutes les 30 minutes sur les 6 canaux sont les suivants :

- **reference propre de l'appareil**
- **temperature dans la gamme de -2 a +21°C (resolution de 0.024°C)**
- **temperature dans une gamme plus etroite soit entre 0 et 7°C ou entre 6 a 13°C suivant le niveau d'immersion (resolution de 0.008°C)**
- **pression dans la gamme du capteur entre 0 et 9000 psI (resolution de 6 dbars)**
- **direction du courant**
- **vitesse du courant.**

Les courantometres utilises pour cette experience sont de type RCM8. La direction et la vitesse du courant resulte d'un sous-echantillonnage qui memorise la mesure du cap et le nombre de revolutions du rotor sous forme de vecteur-courant toutes les 36 secondes. Au moment de l'echantillonnage, soit apres 30 minutes, une addition des 50 vecteurs de courant est transformee et codee en " equivalent direction et vitesse du courant ".

La chaîne de thermistances, utilisée sur le mouillage T2, échantillonne les paramètres, codes sur 10 bits, toutes les 60 minutes sur les 12 canaux :

- **référence propre de l'appareil**
- **pression mesurée au niveau de l'unité d'enregistrement (résolution de 2dbars)**
- **serie de 10 mesures de température obtenues au niveau de chacune des thermistances, séparées par une distance de 10 mètres, dans la gamme de -2 à +21°C (résolution de 0.024°C).**

Les capteurs de température, pression et le rotor des courantomètres ont été étalonnés au laboratoire de métrologie de l'IFREMER avant la campagne. La procédure habituelle, décrite dans le Rapport Interne 90-02, a été appliquée :

- les 6 ou 7 points d'étalonnage de température permettent de calculer, pour chaque capteur, les coefficients d'un polynôme de degré 2 qui établit une relation entre la mesure de température et la valeur codée.

L'erreur maximale obtenue dans la gamme étroite des courantomètres (résolution de 0.008°C) peut ainsi être estimée à 0.020°C. Dans la gamme étendue des courantomètres et la chaîne de thermistances (résolution de 0.024°C), l'erreur maximale est de 0.040°C.

- les valeurs codées en pression pendant la durée d'immersion de l'appareil sur son mouillage, permettent de choisir les 3 points d'étalonnage pour établir une relation linéaire entre pression et valeur codée. En valeur relative, l'erreur maximale sur la mesure de pression dans les courantomètres est supposée être de l'ordre de 10 dbars : ces capteurs se sont révélés être instables et influencés par les variations de température lors de leur utilisation au cours d'expériences précédentes. Le capteur de pression utilisé sur l'enregistreur de la chaîne de thermistances, d'un type plus ancien, est plus fiable.
- la mesure du seuil de démarrage d'un rotor et les points d'étalonnage à différentes vitesses de contrôle conduisent à la détermination de ses caractéristiques propres (seuil de démarrage et constante du rotor). Celles-ci permettent de calculer la vitesse du courant à partir de la vitesse codée. Lorsque le courant mesuré est supérieur au seuil de démarrage du rotor, sa vitesse est calculée avec une erreur inférieure à 1cm/s.
- la courbe de déviation des compas des courantomètres n'a pas été établie. Les mesures du cap sont simplement corrigées de la déclinaison magnétique au point de mouillage. Les valeurs admises sont les suivantes:
 - mouillage T1 9°20'
 - mouillages T2 et T3 10°15'
 - mouillage T4 11°10'

Le constructeur indique que l'erreur sur la mesure du cap reste inférieure à 7.5 degrés.

Seacat

Les trois appareils utilisés ont été commandés pour les besoins de l'expérience CAMBIOS. Ils sont équipés de capteurs de pression, température et conductivité. Le fonctionnement et les spécifications de ce type d'instrument sont précisés dans la notice technique du constructeur SEABIRD (Seabird Electronics, 1997). Ils ont été programmés pour échantillonner une série de mesures (pression, température et conductivité) toutes les 10 minutes.

Les capteurs ont été étalonnés chez le constructeur qui fournit un certificat d'étalonnage à la livraison. Le logiciel SEASOFT développé par la société SEABIRD permet d'extraire les données de la mémoire et de constituer des séries de mesures de pression, température, conductivité et salinité.

Après l'expérience CAMBIOS, les enregistreurs SEACAT ont été expédiés chez le constructeur afin qu'il procède à une série de contrôles et à un nouvel étalonnage des capteurs.

La comparaison des deux étalonnages permet de déterminer la dérive de chaque capteur pendant la durée de l'expérience. Le tableau suivant regroupe les écarts obtenus entre les deux étalonnages :

SEACAT	Mouillage	Température (°C)	Pression (dbar)	Conductivité (mmho/cm)	Salinité
2345	T1	0.0012	1.4	0.014	~ 0.014
2355	T3	0.0040	1.4	0.034	~ 0.034
2443	T4	0.0018	0.7	0.670	~ 0.670

Ceci confirme la bonne stabilité des capteurs de pression et de température qui sont conformes aux spécifications données par le constructeur. Les séries de mesures ont été traitées en utilisant les polynômes déterminés après la campagne, corrigés de la moitié de la valeur de la dérive observée. L'erreur maximum qui prend en compte l'erreur de linéarité de chaque étalonnage, commise sur la mesure de chaque paramètre est de :

0.003°C en température
4 dbars en pression

Le constructeur annonce une précision de 0.010 mmho/cm sur la mesure de conductivité. Les résultats d'étalonnage montrent que ce n'est pas vérifié. Une dégradation du capteur sur le troisième instrument nous a été signalée par le constructeur après l'expérience : il n'a pas été possible de déterminer le moment ni dans quelles conditions elle a pu se produire. En conséquence, l'erreur maximale sur chaque série de mesure avec une correction de la moitié de la dérive est :

conductivité 2345 : 0.007 mmho/cm → salinité : ~ 0.008
 conductivité 2355 : 0.017 mmho/cm → salinité : ~ 0.019
 conductivité 2443 : 0.335 mmho/cm → salinité : ~ 0.37

Wadar

Cet instrument est un simple enregistreur de température programmé pour un échantillonnage à 10 minutes. Le fonctionnement et les spécifications de cet instrument sont précisés dans le manuel technique du constructeur (TSKA - Technical Manual).

Le constructeur a étalonné le capteur avant sa livraison et fourni les coefficients qui permettent de transformer les valeurs codées en une mesure de température. Après l'expérience CAMBIOS, le capteur a été étalonné au laboratoire de métrologie de l'IFREMER dans les mêmes conditions opératoires que les courantomètres. Les 8 points d'étalonnage montrent que l'indication de la mesure du capteur diffère de la température de référence d'une valeur maximum de 0.003°C. La précision de la mesure est donc conforme aux spécifications du constructeur.

Bilan de l'expérience

Les 4 mouillages ont été relevés à la fin de l'expérience et la totalité du matériel a été récupérée. Deux incidents sans conséquence importante sont à noter sur le mouillage T3 :

- le largueur acoustique n°50 n'a pas répondu à son interrogation
- la flottabilité de haut de ligne (FSAB 1000) a été comprimée : la structure a été relevée avec un excédent de 150 kg d'eau.

Tous les appareils ont fonctionné correctement pendant la durée de l'expérience ce qui nous donne des séries de mesures complètes de bonne qualité : le data return est tout à fait remarquable à 100 %. La seule déception, prévisible d'après les expériences précédentes, provient de la mauvaise qualité de mesure de pression des courantomètres de type RCM8 : le capteur n'est pas fidèle et est sensible à de faibles variations de température. On observe dans plusieurs cas, une évolution lente de la réponse du capteur pendant le premier mois d'immersion qui ne correspond pas à une modification réelle du niveau de la mesure. La seule information exploitable est obtenue dans le cas d'une forte inclinaison de la ligne de mouillage lors d'un événement important (mouillage T3).

Simultanéité des mesures (dérive d'horloge)

Les appareils ont été mis en fonction, en début d'expérience, sur une même base de temps de manière à obtenir des échantillonnages simultanés. En fin d'expérience, l'ensemble des horloges accusait un retard compatible avec les spécifications des constructeurs compris entre 35 secondes et 8 minutes 5 secondes. Seule l'horloge du Wadar était hors des spécifications avec un retard de 23 minutes et 25 secondes : dans ce cas, une mesure a été éliminée à chaque extrémité puis la série avancée de 10 minutes afin d'obtenir un bon calage dans le temps en son milieu.

Position géographique des mouillages

Quelques heures avant la mise en place des mouillages, une reconnaissance bathymetrique de la zone a ete effectuee par le navire en utilisant les informations du sondeur EK500. Apres correction de ces informations, une carte bathymetrique est levee sur chaque site de mouillage.

Lors du deploiement des mouillages, le positionnement GPS permet de situer le navire par rapport a cette bathymetrie. Sur chacune de ces cartes, deux positions sont portees : le lâcher du lest et celle de la disparition de la bouee en tete de ligne de mouillage. Le lest est ancre sur le fond a une position intermediaire entre ces deux points. L'analyse des enregistrements des SEACAT sur les mouillages T3 et T4 pendant leur plongee permet de deduire que le lest se pose sur le fond une dizaine de minutes apres la disparition de la bouee de surface a la position centrale entre les deux points.

La position geographique des quatre mouillages peut donc etre deduite avec une incertitude de l'ordre d'une centaine de metres. Cette position devra etre confirmee a l'aide des 3 balises acoustiques placees sur chaque site. Le tableau suivant indique la position des mouillages avec la profondeur a ce point deduite de la carte bathymetrique avec une incertitude fortement dependante de la pente du fond.

Mouillage	Latitude	Longitude	Sonde
T1	32°00.29 N	19°47.80 W	4140 ± 10
T2	34°15.36 N	21°44.58 W	5260 ± 5
T3	34°18.31 N	20°19.47 W	5133 ± 15
T4	35°42.09 N	24°00.04 W	4200 ± 80

Determination de la profondeur au point de mouillage

La profondeur au point de mouillage annoncee au paragraphe precedent, avec une forte incertitude pour T4, peut etre affinee en procedant de la maniere suivante.

Les instruments SEACAT et ERATO sont equipes de tres bons capteurs de pression, comme le prouvent les etalonnages pre- et post-campagne. La profondeur des instruments sur mouillage est deduite de la mesure de pression hors periode de courant intense. Cette valeur mesuree de la profondeur peut etre comparee a celle deduite des longueurs de ligne au-dessus du fond (valeur indiquee au paragraphe precedent) : on admet que l'allongement du kevlar est de 1,4 % et celui du nylon entre lest et largueurs de 10 %. Le tableau suivant regroupe les resultats obtenus :

Mouillage	Instrument	Profondeur deduite de la mesure capteur	Profondeur deduite des longueurs de ligne	Ecart
T1	ERATO 05	660	675	+1 6
T1	SEACAT 2345	1166	1174	+8
T2	ERATO 14	688	696	+8

T3	SEACAT 2355	1184	1193	+ 9
T4	SEACAT 2443	1141	1098	- 4
				3

Il apparait que pour les trois premiers mouillages, les deux valeurs d'immersion sont coherentes avec un ecart de l'ordre de 10 metres qui peut resulter d'un taux d'allongement de la ligne superieur a celui adopte dans le calcul des longueurs. Par contre, l'ecart important, de sens oppose, obtenu sur le mouillage T4 tend a demontrer que la profondeur reelle a ce point serait plutot de $4200 + 50 = 4250$ metres. Cette valeur reste dans la barre d'erreur annoncee precedemment et resulte du fait que, d'une part, la pente du fond est nettement superieure sur ce site et que, d'autre part, le mouillage a ete largue dans le passage d'un " meddy ", comme confirme par les mesures de courant, d'ou deplacement dans l'ouest vers les plus grandes profondeurs.

Niveau des mesures

Les mesures des capteurs de pression sur courantomeres RCM8 sont de mauvaise qualite et inexploitablees en valeur absolue. En consequence, le niveau des series est determine d'apres les longueurs de ligne. Le niveau de la mesure sur la chaine de thermistances est celle de l'enregistreur et les series de temperature sont obtenues a des profondeurs croissantes de 10 metres.

Tableau synoptique des mesures

Le tableau de la page suivante presente le descriptif des series de mesures obtenues sur les mouillages CAMBIOS. Il regroupe :

- la position geographique des mouillages
- la profondeur a ce point
- le type d'instrument a chaque niveau et son immersion estimee
- la date de debut et de fin des series de mesures
- la periodicite des echantillonnages
- le retard de l'horloge en fin de serie
- les parametres mesures et valides a chaque niveau :

P : pression

T : temperature

- dans le cas des courantomeres
 - T 1** = temperature avec resolution de 0.024°C (gamme large)
 - T 2** = temperature avec resolution de 0.008°C (gamme etroite)
- pour la chaine de thermistances, 10 series avec resolution de 0.024°C

D : Direction du courant

V : Vitesse du courant

S : mesure de conductivite et de salinite.

Remarques

* Les series de mesures du SEACAT 2345 (mouillage T1) demarrent 4 heures apres les autres series du meme mouillage.

** Les series de mesures de temperature des courantometres 10239 et 10242 en gamme etroite ont ete eliminees car la temperature etait hors echelle de codage pour une partie des enregistrements.

Conclusions de l'experience

Les quatre mouillages deployes pour la duree de l'experience CAMBIOS ont permis de recuperer un jeu de donnees de qualite avec des series completes de mesures. Ces mouillages etaient egalement equipes d'instruments de tomographie dont l'interpretation des mesures requiert un positionnement geographique aussi precis que possible. Le positionnement indique dans ce rapport devra etre confronte avec celui qui resultera de la navigation acoustique des instruments de tomographie par rapport aux 3 balises acoustiques qui etaient placees dans le site de chaque mouillage.