

MESURES DE COURANTS
PAR EFFET DOPPLER

Acoustic Doppler Current Profiler

Jean-Michel BORE*
Jean-Pierre GOUILLOU**

Août 1990

* Centre ORSTOM auprès de l'IFREMER, BP 70 - 29280 Plouzané
** Centre IFREMER, BP 70 - 29280 Plouzané

Fonds Documentaire IRD
Cote : B* 26624 Ex: unique



MESURES DE COURANTS PAR EFFET DOPPLER

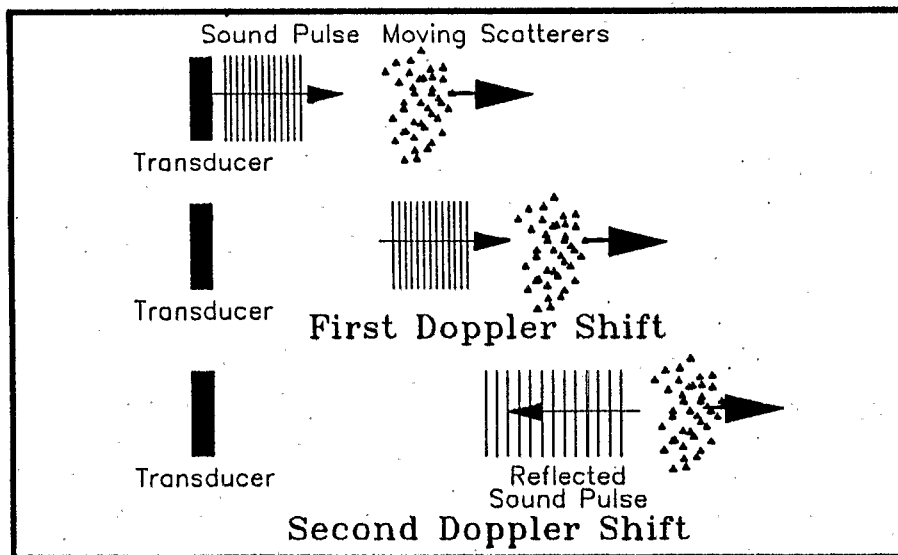
Acoustic Doppler Current Profiler

I. PRINCIPE DE L'EFFET DOPPLER

Le système de mesure de courant, présenté par la Société RD Instruments, repose sur l'utilisation de l'effet Doppler.

Cet effet peut être illustré par l'exemple de l'ambulance ou du véhicule de pompiers se déplaçant sirène en fonctionnement. Pour un témoin extérieur, le signal produit par la sirène augmentera en fréquence lorsqu'il se rapprochera de lui. Par contre, il diminuera en fréquence quand le véhicule s'éloignera de lui.

Dans un cas, il y a compression du signal, dans l'autre, dilatation.



Avec le système ADCP, un signal acoustique très bref viendra frapper une particule en suspension dans l'eau (sédiment, zooplanctons...) pour être réfléchi en partie vers le courantomètre.

Suivant le type de particule, et son mouvement, le signal sera modifié en fréquence et en puissance. Cette variation de fréquence est appelée "Décalage Doppler" (F_D) et se traduit par :

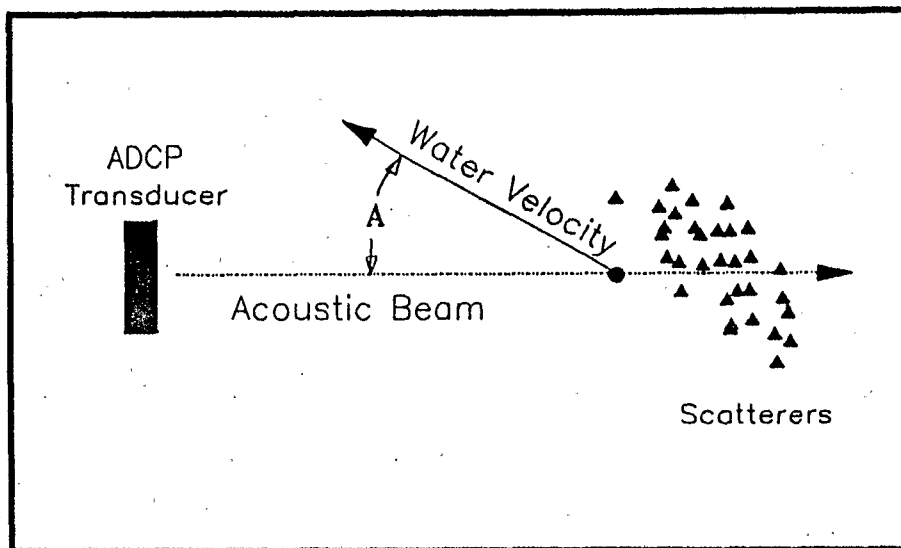
$$F_D = 2 F_s (V/C) \cdot \cos A$$

où : F_s = fréquence du signal émis quand tout est immobile (H_z)

V = vitesse relative de déplacement de la particule par rapport à la source (m/sec)

C = vitesse du son (m/sec)

A = angle entre le vecteur de vitesse des particules et la ligne particule-source

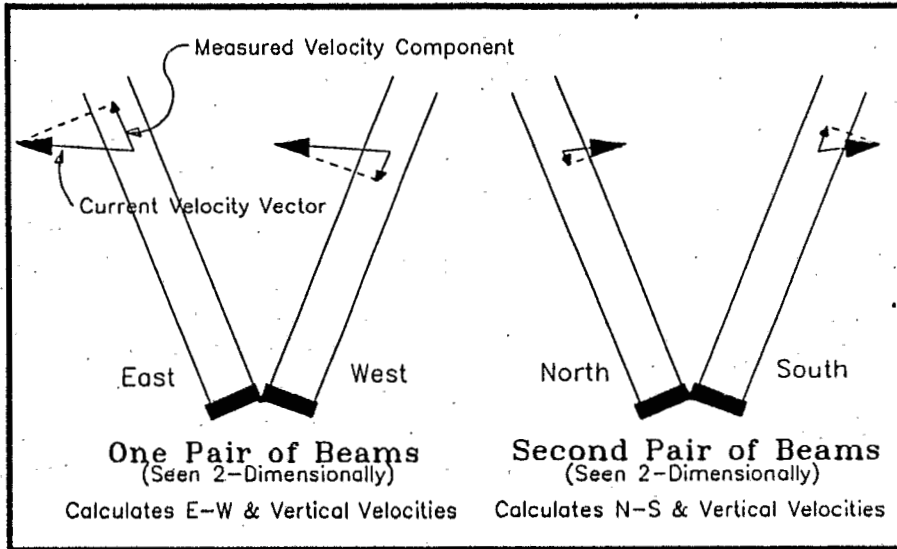


II. LA COMPOSANTE VERTICALE DU COURANT

L'utilisation d'une paire de faisceaux acoustiques permet de déduire une composante horizontale du courant ainsi qu'une composante verticale.

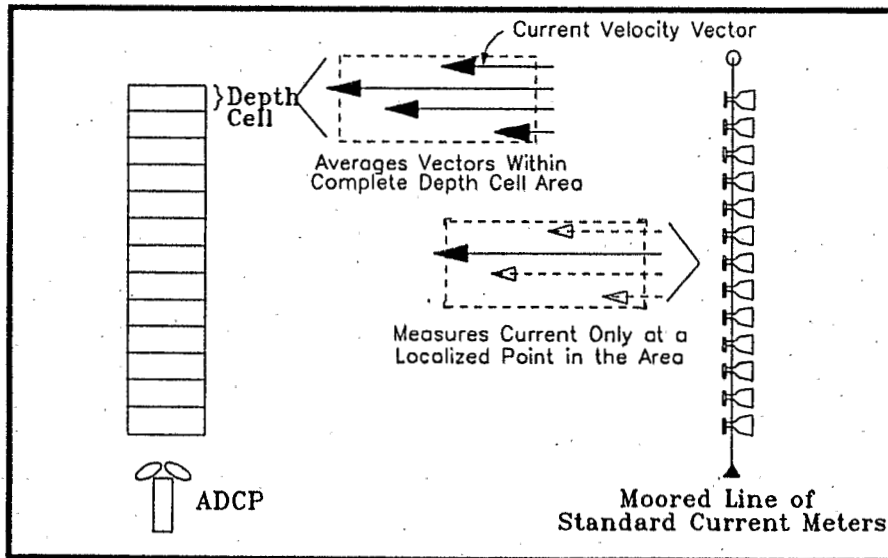
La deuxième paire de faisceaux située perpendiculairement à la première, apporte la même chose ; 1 composante horizontale et verticale.

3 faisceaux seraient suffisants pour calculer les 3 composantes. Le 4ème permet de calculer l'erreur de la mesure.



III. COMPOSITION DE LA MESURE DE COURANT

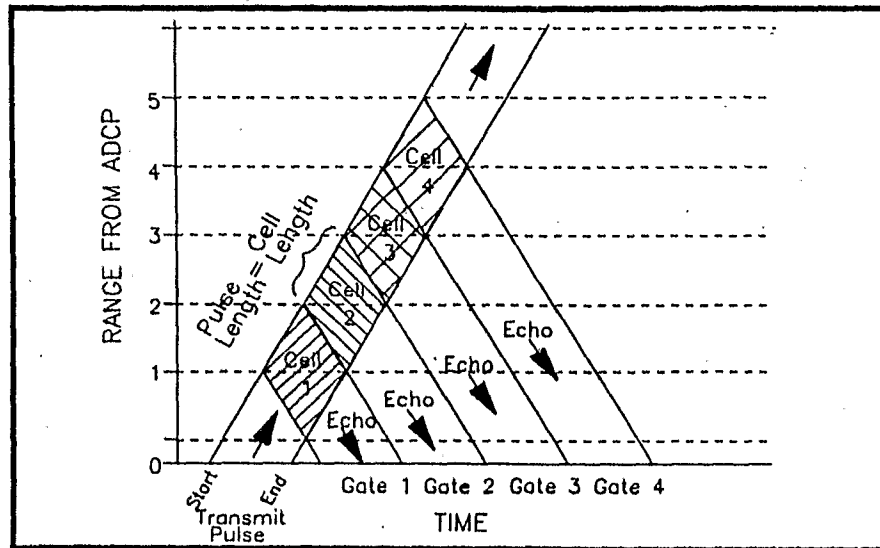
Le système ADCP permet de mesurer le profil du courant de la même façon que le permettrait une ligne de mouillage composée de X courantomètres.



A la différence que, le courant de chaque cellule correspond à une moyenne sur la cellule, alors que pour un courantomètre standard, la mesure est ponctuelle.

La dimension de la cellule est un paramètre que l'utilisateur peut modifier.

La figure suivante montre comment la réponse des différents points situés dans l'espace se retrouve dans le temps.

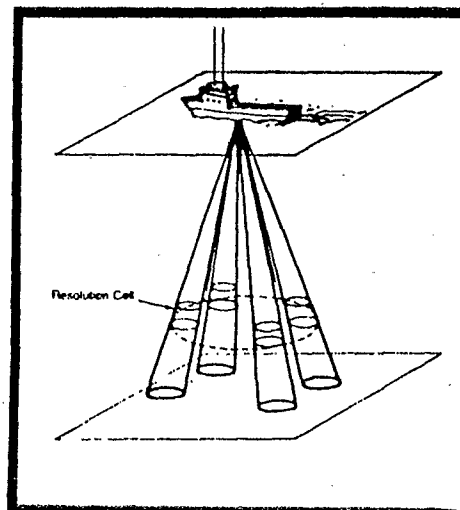


IV. PRESENTATION DES SYSTEMES ADCP

1. ADCP RD-VM Système embarqué (Vessel Mounted)

Les transducteurs montés sur la coque du navire, sont connectés à un système d'acquisition des données (DAS : Data Acquisition System).

Alimenté en 115 V AC, 15 ou 150 W suivant l'option, ce qui permet une échelle de travail plus importante.



Le navire en route, des signaux acoustiques sont envoyés suivants les 4 directions des faisceaux.

Des particules tels que sédiments, zooplanctons... en mouvement par le déplacement des masses d'eau, réfléchiront vers les transpondeurs un signal dont la fréquence aura été modifiée.

Les informations concernant les mouvements du navire seront pris en compte par le système d'acquisition.

Quand le fond est inférieur à la portée des faisceaux, il est possible de calculer les mouvements vrais.

Habituellement, le courantomètre ADCP émet 1 ou plusieurs signaux acoustiques*, calcule la vitesse de déplacement des différentes couches d'eau (cellule-bin), l'intensité de la réponse des particules, mesure la vitesse du navire, la profondeur, convertit les informations provenant des capteurs de positions du navire (gyro, de roulis, de tangage, navigateur satellite) en données numériques, met en oeuvre une procédure de test et transmet l'ensemble des résultats via une liaison RS 232 ou IEEE 488, au système d'acquisition des données.

Le système de calcul d'origine est un HP 9816 (un IBM XT en option) et permet de visualiser en temps réel le profil du courant dans la masse d'eau.

Lors d'un travail sur grand fond, le positionnement du navire se fait, soit par un système GPS, soit par un système LORAN C.

Un logiciel transforme alors les données de courant, par rapport au navire, en données de courant absolues par rapport à la terre.

2. ADCP RD-SC et RD-DR

Le principe de fonctionnement de ces deux modèles restent le même que précédemment.

Le modèle RD-DR (Direct Reading) est dépendant d'une alimentation extérieure et peut fournir les données courantométriques en temps réel. Il peut être tracté par un navire sur une sorte de poisson.

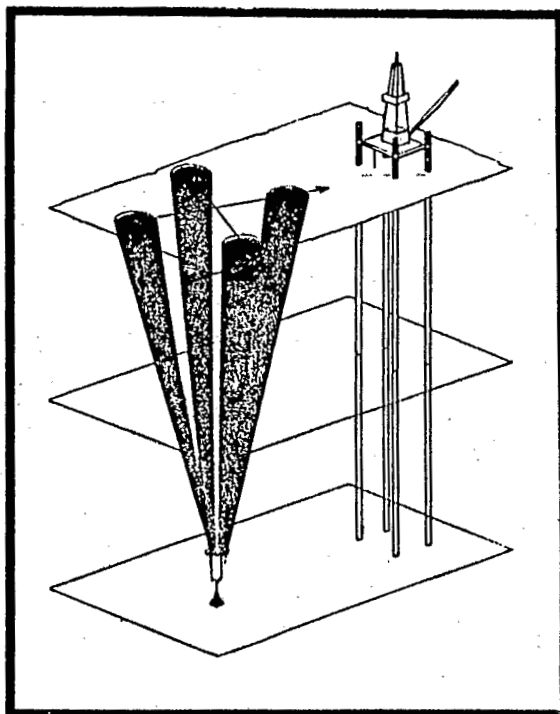
Ceci dans le but d'augmenter la qualité des données en diminuant l'influence du navire sur l'instrument - bruit - interférence due aux bulles générées sous la coque du navire, mouvement du navire lorsque les conditions de mer sont difficiles et aussi d'utiliser le système ADCP, sur différents navires.

Le modèle RD-DR peut être transformé en modèle RD-SC par l'ajout de batteries et d'une mémoire.

Le modèle RD-SC (Self Contened) est entièrement autonome, fonctionne sur batteries internes et enregistre les données sur bandes magnétiques ou beaucoup mieux, sur mémoires vives.

* "ping"

L'appareil peut être positionné regardant vers le bas ou vers le haut, en surface, au fond ou à un niveau quelconque de la hauteur d'eau.

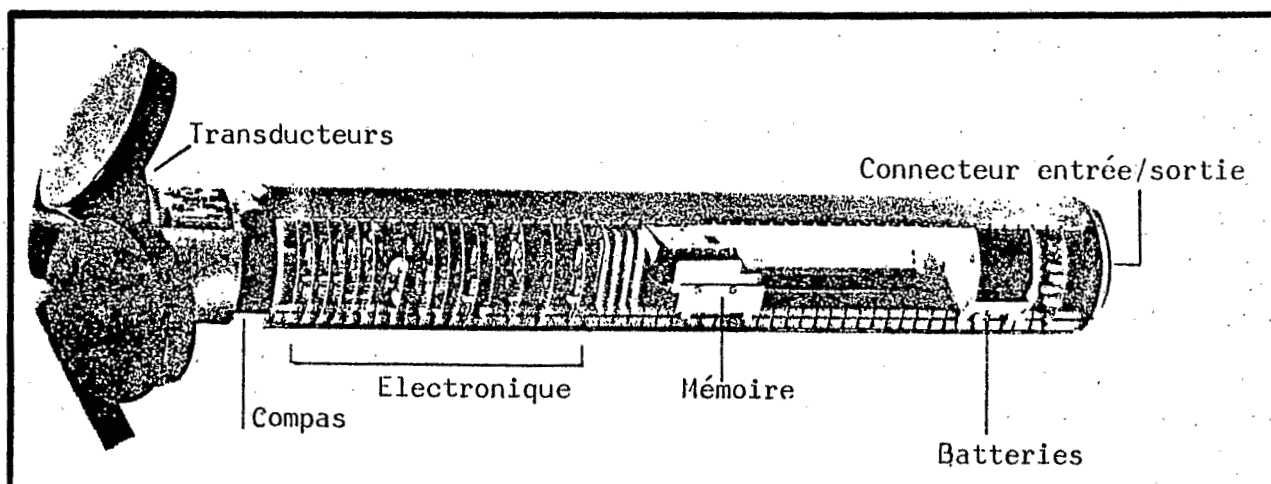


Des opérations de plus d'une année peuvent être mises en place suivant la configuration des différents paramètres de travail.

Pour les modèles alimentés extérieurement (RD-VM et RD-DR), il y a possibilité d'augmenter la portée en modifiant la puissance d'alimentation. C'est l'option "High Power".

V. CONFIGURATION PHYSIQUE DU MODELE AUTONOME

Le corps standard supporte une pression de 140 db. Des corps supportant des pressions supérieures sont disponibles en option.



VI. VERSIONS DE COURANTOMETRE EXISTANTES

5 versions sont disponibles suivants les applications. La portée dépend de la fréquence de travail de l'appareil et de l'alimentation utilisée. L'utilisation d'une alimentation alternative par rapport à une alimentation continue est la seule différence pour les versions "High" et "Low"

Fréq. Acoustique (KHz)	Coefficient d'absorption (dB)	Portée nominale (m)	
		"Low"	"High"
76.8	0.025	400	700
153.6	0.039	240	400
307.2	0.062	120	240
614.4	0.139	60	60
1228.8	0.440	25	25

VII. LOGICIELS PRESENTES PAR RDI

1. Logiciel de déploiement pour modèle autonome : SC-ADCP.

Ce logiciel va permettre la mise en oeuvre du courantomètre en 5 étapes.

a) "Planning deployment" permet à l'utilisateur de configurer les différents paramètres.

- nom du mouillage, lieu, responsable,
- capacité mémoire;
- nombre et dimension des cellules,
- nombre de pings/ensemble,
- intervalles de temps entre chaque ensemble,
- durée du mouillage,
- type de données à enregistrer (vélocité, amplitude d'écho...).

Le logiciel calcule à partir de ces informations, les performances, la consommation et l'espace mémoire utilisé.

DEPLOYMENT PROGRAM MAIN MENU

DEPLOYMENT PLANNING

DEPLOYMENT SEQUENCE

EXTRACT RECORDER DATA

RECORDER CHECK

RUN SCTEST PROGRAM

b) Après connexion entre le courantomètre et le micro-ordinateur, le sous-programme "SCTEST" permettra de contrôler l'état des liaisons et de l'électronique.

c) Le sous-programme "Recorder Check" déterminera la capacité mémoire réelle.

d) Le sous-programme "Deployment sequence" installera la configuration choisie pour ce mouillage.

File : TEST	DEPLOYMENT SEQUENCE		
Phase:»Select File«	ADCP Dialog 1	Recorder Dialog	ADCP Dialog 2

Deployment Parameters	File TEST.DFF selected.
HARDWARE SETTINGS	BATTERY USAGE
ADCP Frequency (kHz) : 75	V1 : 167.5 amp·hours
ADCP serial number : 0	V2 : 30.6 amp·hours
PROFILING PARAMETERS	RECORDER Type : EPROM
Number of depth cells : 50	Capacity(max): 60 megabytes
Depth cell length : 16 meters	Projected use: 14.0 megabytes
Pings per ensemble : 100	PERFORMANCE
Ens. Interval (h:m:s) : 01:00:00	Range to last cell : 800.0 meters
Deployment duration : 750 days	Standard deviation : 1.3 cm/s

DATA TO RECORD : Earth Vel, Echo Amplitude, Percent Good
EXPEDITION NAME:
MOORING NAME :

e) Enfin, "Extract Recorder Data" permettra la récupération des données.

2. Logiciels de traitement et de visualisation des données

La séquence suivante peut-être utilisée :

a) Sélection de données

Le logiciel "Extract-EXE" permet de faire ressortir les composantes vitesses en coordonnées terrestres.

b) Réduction des données

Ce logiciel moyenne des groupes de profils ; certaines manipulations demandant moins de précisions.

c) Filtrage

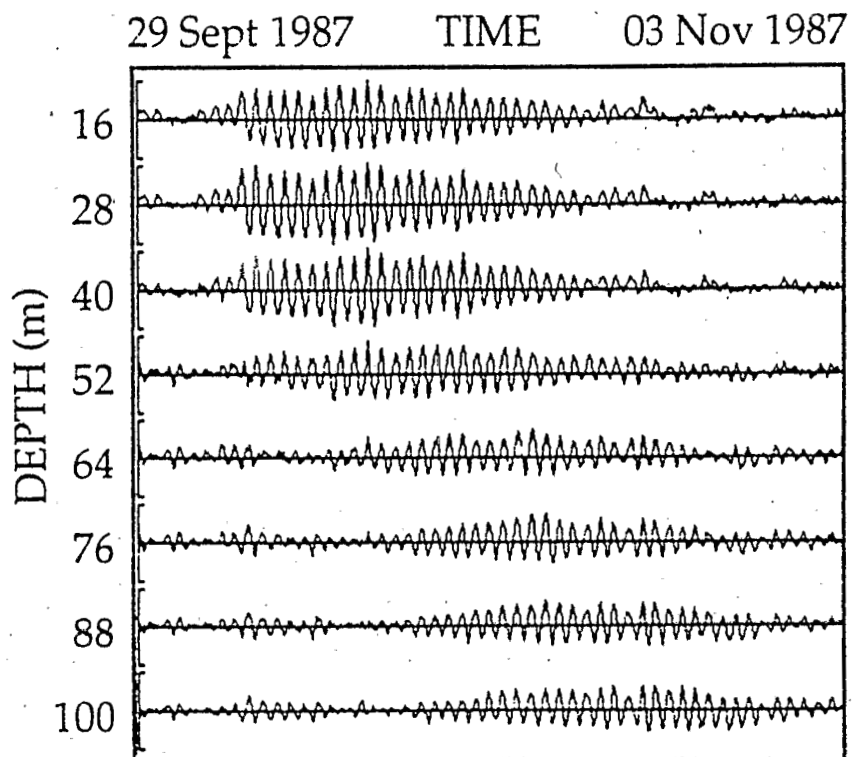
Les données sont traitées au travers d'un filtre passe-bas. Les variations basse fréquence étant plus facilement discernables lorsque les variations haute fréquence sont éliminées.

d) Affichage

Ce logiciel "plot5" permet de visualiser rapidement le profil du courant sous différentes formes :

- Variations représentées par différentes couleurs de la vitesse des courants suivant les composantes N/S et E/W en fonction de la profondeur et du temps,
- Profils des courants dans la masse d'eau à un instant T,
- Représentation sur 8 niveaux différents des variations de courant en fonction du temps et de la profondeur.

La représentation suivante montre l'évolution de la vitesse du courant sur la composante E/W pendant 35 jours sur 8 niveaux différents. L'unité Y indique une vitesse de 60 cm/s.



3. Logiciels utilisés pour les systèmes VM (Vessel mounted) et DR (Direct Reading)

En ce qui concerne ces 2 systèmes, il y a liaison permanente entre le micro-ordinateur et le courantomètre.

Cette communication se fait par le DAS (Data Acquisition Software). Le DAS est constitué par une série de menus et de logiciels. Chaque partie étant responsable d'activités spécifiques : configuration, test, enregistrement, traitement, affichage.

Il sera pris en compte, ce qui est spécifique aux systèmes DR et VM, des paramètres mouvements et route du navire.

Exemple d'affichage de données : Ici, à partir de 144 m, il n'y a plus les 100 % de résultat correct, et en dessous de 200 m, la portée maximum de l'appareil est atteinte.

«File» «Process» «Display» «Quit»

LISTDAS V1.00m

Averaged-Data Screen

Header: 1 Ensemble: 115 Recorded: 28-JUL-89 08:53:10 File: TAMU.000

Depth [m]	Vel [cm/s]		Ref: SHIP		Avg Amp [dB]	Avg SpW [cts]	%Good Ping	% of 3Beam	Vel Std Dev [cm/s]			
	Stbd	Fwd	Vert	Error					38 %	36 %	36 %	38 %
104	7	-524	-4	0	49	128	100	0	1	2	3	4
112	3	-523	-4	1	46	133	100	0	-	-	-	-
120	-1	-525	-4	4	43	133	100	0	-	-	-	-
128	0	-530	-4	6	42	123	100	0	-	-	-	-
136	8	-535	-4	1	40	133	100	0	-	-	-	-
144	13	-534	-5	2	36	153	98	6	-	-	-	-
152	12	-534	-6	1	34	145	99	7	-	-	-	-
160	9	-538	-5	2	32	155	98	16	-	-	-	-
168	9	-543	-5	0	31	163	97	17	-	-	-	-
176	10	-546	-6	-1	29	190	94	30	-	-	-	-
184	9	-542	-5	2	27	220	89	36	-	-	-	-
192	6	-533	-5	0	27	223	90	41	-	-	-	-
200	6	-534	-5	0	28	203	96	37	-	-	-	-
208	0	-538	-6	0	29	298	66	54	-	-	-	-
216	-8	-537	-11	0	31	475	6	6	-	-	-	-
224	bad	bad	bad	bad	31	635	0	0	-	-	-	-

Exemple de présentation où apparaît les données de navigation.

Position Data		
	Average	Last
Heading	114.5 °	114.5 °
Pitch	0.1 °	0.2 °
Roll	-0.1 °	-0.1 °

Bottom Track	
Stbd	0.07 [m/s]
Fwd	-5.38 [m/s]
Range	281.00 meters

Navigation Data	
Latitude	24.68 °
Longitude	-83.82 °
Speed	8.25 kt
Direction	113.10 °

Water Data	
ADCP Temp.	29.6° (avg) 29.6° (last)
CTD Conductivity	0 counts
CTD Temperature	0 counts
CTD Depth (pressure)	0 counts
CTD Interval	0 ms

VII. INCERTITUDES SUR LES MESURES

Il faut distinguer 2 sources d'incertitudes sur la valeur du courant obtenu par le système ADCP :

- 1ère source d'incertitude provient de la nature même du principe de mesure.

Le décalage DOPPLER de la fréquence émise, va permettre de connaître la vitesse de la particule en mouvement.

Il apparait alors un spectre de fréquence écho provenant de particules environnantes. Ainsi, à chaque estimation de fréquence DOPPLER correspond une incertitude.

Son importance dépend de la taille des cellules du nombre de pings moyenné par mesure, et de la fréquence de travail du système ADCP.

La formule suivante exprime l'incertitude (*standard deviation*).

$$\sigma = \frac{11.500}{F_t D (N)^{1/2}}$$

ou :

σ = incertitude sur la mesure du courant en cm/s

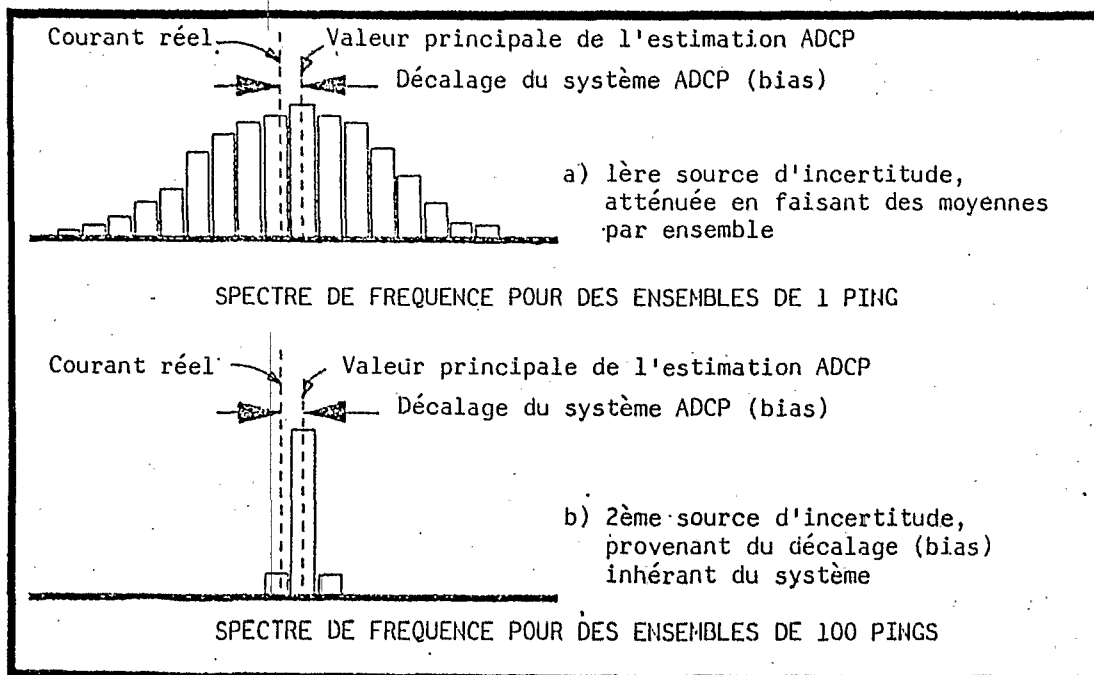
F_t = fréquence acoustique du système en KHz

D = taille des cellules en mètres

N = nombre de pings moyennés par mesure

L'exemple extrême consiste à mesurer 20.000 fois le même courant. L'incertitude apparait autour de la fréquence principale (Fig. a).

Par contre, avec 200 ensembles effectuant une moyenne sur 100 pings, l'incertitude est diminuée dans un rapport de 10 (100%) (Fig. b).



Si le nombre de pings moyenné dépasse une certaine valeur, l'incertitude devient inférieur à la seconde source d'erreur.

- La seconde source d'imprécision sur la mesure provient du décalage (*bias*) apporté par le système de mesure lui-même.

La valeur de ce décalage dépend de facteurs tels que :

- la température,
- les erreurs sur le positionnement des faisceaux.
- ...

Cette imprécision est de l'ordre de 0,5 à 1 cm/s.

ANNEXE

Exemple de tarif Pour un système autonome (SC-ADCP) fonctionnant à 75 KHz.

Un système embarqué VM-ADCP a un prix supérieur de 25 %.

La parité du dollar est de : 5,60 FF.

ITEM	QTE	DESIGNATION		
			En US \$	En F.F.
1	1	Profileur de courant à effet doppler modèle R.D. SC0075 fonctionnement à 75 KHZ	68,000	496.400
2	1	Compas type flux-gate Modèle RD-FGHS	2,400	17.520
3	1	Capteur de verticalité à 2 axes modèle RD-PEN	910	6.643
4	1	EPROM pour expansion mémoire à 20 Moctets Modèle RD-53SSH	6,960	50.808
5	1	Boîte de test et câble modèle RD-SCJ BOX	1,140	8.322
6	1	Batterie au lithium VI, 120 W-H Modèle RD-LB P2-A	950	6.935
7	1	Lot de circuits imprimés pour maintenance Modèle RD-SPEBSC	10,000	73.000
8	1	Calculateur compatible IBH avec disque dur 30 MO Ecran et carte graphique VGA, version MS DOS 4.0, souris, lecteur disquette 3"1/2, lecteur disquette 5"1/4, capacité mémoire 1MO	6,000	43.800
9	1	Mise en route, essais sur site (hors frais voyages et subsistance) - référence RD-COMM	2,500	18.250
10	1	Formation en usine (frais voyages et séjour à charge client)	600	4.320
11	1	Bouée de subsurface ø 62", immersion 600 m	19,000	138.700