



ETUDE DE LA MAREE EN CASAMANCE
ETALONNAGE ET ANALYSE HARMONIQUE DES ENREGISTREMENTS
COURANTOGRAPHIQUES DE ZIGUINCHOR

(Programme ISRA/CASAMANCE)

JUILLET 1984 - JUILLET 1985

B. MILLET

I. INTRODUCTION

A partir du mois de juillet 1984, un suivi courantométrique a été effectué, en continu sur plusieurs périodes successives d'un mois environ chacune, à partir d'un courantographe AANDERAA immergé à poste fixe, en un point situé immédiatement à l'amont du pont de Ziguinchor, et au milieu de la section. Le tableau 1 présente l'état récapitulatif des données brutes disponibles. L'installation et le suivi de l'appareillage ont été assurés par le Centre Océanographique de Dakar Thiaroye, et les campagnes d'étalonnages ont été effectuées par Y. LE TROQUER de l'UR 107 de l'ORSTOM.

Plusieurs campagnes ont également été effectuées pour jauger les débits oscillants synchrones des enregistrements, à travers la même section de l'estuaire au cours de plusieurs cycles complets de marée. La comparaison de ces jaugeages avec les enregistrements synchrones du courantographe permet de juger de la représentativité de ces derniers dans la quantification des flux oscillants à travers la section de Ziguinchor.

Le tableau 2 présente l'état récapitulatif des données retenues pour le traitement en raison de leur qualité, ainsi que les noms des fichiers de saisie correspondants.

Tableau 1 - Liste des données brutes disponibles

Nom de fichier original (CoB)	Nom de fichier de saisie	Dates et heures des périodes d'enregistrements	Nombre d'enregistrements (pas de temps = 5 mn)
ZIGE 572701 W	ZIG 1	17/07/84 → 14/08/84 15 H 12 H 25	8034
ZIGE 572703 W	ZIG 2	27/10/84 → 30/11/84 14 H 10 4 H 35	9678
ZIGE 572604 W	ZIG 3	23/12/84 → 05/01/85 14 H 25 11 H 55	3715
ZIGE 562605 W	ZIG 4	17/03/85 → 17/04/85 11 H 45 14 H 25	8961
ZIGE 572706 W	ZIG 5	17/04/85 → 20/05/85 15 H 01 7 H 25	9414
ZIGE 562607 W	ZIG 6	05/06/85 → 11/07/85 12 H 35 18 H 15	10430
ZIGE 572707 W	ZIG 7	13/09/85 → 28/09/85 14 H 20 21 H 55	4410

ORSTOM
HYDROLOGIE

Fonds Documentaire ORSTOM



010018186

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote: B* 18186 Ex: *uniquement* AVRIL 1988

Tableau 2 - Liste des données retenues pour traitement

Nom de fichier des enregistrements	Date et heure des enregistrements	Nombre d'enregistrements retenus	Date et heure des périodes de jaugeage	Nom des fichiers des résultats du traitement
ANDERA 1	17/07/84 → 07/08/84 15 H 15 H	6049 (21 jours)	04/08/84 8 H 05 → 20 H 30	CONST 1 ETALO 1.FLO ETALO 1.JUS
ANDERA 2	27/10/84 → 30/11/84 14 H 10 04 H 35	9678 (33 jours)	0	CONST 2
ANDERA 4	17/03/85 → 15/04/85 11 H 55 11 H 35	8351 (29 jours)	25/03/85 5 H 15 → 17 H 35	CONST 4 ETALO 41.FLO ETALO 41.JUS
			26/03/85 5 H 50 → 18 H 10	ETALO 42.FLO ETALO 42.JUS
			27/03/85 6 H 05 → 18 H 30	ETALO 43.FLO ETALO 43.JUS
ANDERA 5	17/04/85 → 15/05/85 15 H 01 22 H 15	8152 (28 jours)	0	CONST 5
ANDERA 6	05/06/85 → 08/07/85 12 H 35 11 H 45	9494 (33 jours)	11/06/85 9 H 20 → 21 H 30	CONST 6 ETALO 61.FLO ETALO 61.JUS
			12/06/85 4 H 25 → 16 H 30	ETALO 62.FLO ETALO 62.JUS

Les figures 1 à 5 visualisent les cinq séries d'enregistrements exploitables.

II. ANALYSE HARMONIQUE DES COURANTS DE MAREE

Une analyse harmonique a été effectuée sur chacune des cinq séries d'enregistrements, et consiste à décomposer chaque valeur de vitesse comme suit :

$$u_i(t) = A_0 + \sum_{i=1}^N A_i \cos(\omega_i t + \phi_i)$$

avec N : le nombre de composantes harmoniques
 A_0 : la constante résiduelle
 A_i : les constantes harmoniques de chaque composante
 ω_i : les vitesses angulaires de chaque composante

$$u_i(t) = A_0 + \sum_{i=1}^N (H_i \cos \omega_i t - H'_i \sin \omega_i t)$$

avec $H_i = A_i \cos \phi_i$ et $H'_i = A_i \sin \phi_i$

On construit un système linéaire de M équations (M étant le nombre d'observations) et à 2 N + 1 inconnues, qui peut être résolu par la méthode matricielle directe de Cholevski. Ce calcul est effectué par le programme HARMO.FTN.

Le choix du nombre d'harmonique a été arrêté à l'issue de plusieurs tests effectués sur la même série d'enregistrements (fichier ANDERA 5), et en utilisant le critère d'ajustement suivant, qui s'assimile à l'Erreur Type :

$$CRIT = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (V_o - V_c)^2 \right]^{1/2}$$

Le tableau 3 suivant présente l'évolution du critère d'ajustement en fonction du nombre d'harmoniques utilisées.

Tableau 3 - Variation du critère d'ajustement *CRIT*

Nombre d'harmoniques	4	5	7	10	14
Valeur du critère d'ajustement	20.4	20.2	19.4	15.0	9.0

Les 14 harmoniques choisies sont présentées dans le tableau 4 suivant :

Tableau 4 - Caractéristiques des harmoniques choisies

Nom	Symbole	Vitesse angulaire en degré/heure
Huitième diurne moyenne	M8	115.9364
	S6	90.0000
Sixième diurne moyenne	M6	86.9523
	S4	60.0000
Quart diurne moyenne	M4	57.9682
Solaire moyenne	S2	30.0000
Elliptique mineure	L2	29.5285
Lunaire moyenne	M2	28.9841
Elliptique majeure	N2	28.4397
	OQ2	27.3417
Déclinationnelle luni-solaire	K1	15.0410
Lunaire principale	O1	13.9430
Bimensuelle	MF	1.0980
Bimensuelle variationnelle	MSF	1.0159

Une même analyse harmonique utilisant ces 14 composantes a été appliquée aux cinq fichiers d'enregistrements retenus. Les résultats présentent un mauvais ajustement harmonique pour les séries des fichiers ANDERA 1 du mois de juillet 84 et ANDERA 2 du mois de novembre 84. Par contre, l'ajustement semble correct pour les séries d'enregistrements d'étiage effectuées en avril, mai et juin 85, avec un maximum de précision pour la série de mai 85 du fichier ANDERA 5. Le fait que l'adéquation entre l'analyse harmonique et les enregistrements soit optimale pour la série qui correspond au minimum d'étiage, est assez logique, et précise l'existence à cette époque du signal de marée le moins perturbé de l'année. Le tableau 5 présente les différentes valeurs du critère d'ajustement et du résidu issues des analyses des cinq fichiers d'enregistrements. Le tableau 6 présente les valeurs des constantes harmoniques (H_i et H'_i) issues de l'analyse de la série d'enregistrements de la période du 17/04/85 à 15 H 01 au 15/05/85 à 22 H 15 (fichier ANDERA 5). Ces constantes harmoniques seront proposées pour toute simulation ultérieure du signal de marée à Ziguinchor, étendue sur des périodes plus longues.

Tableau 5 - Résultats comparés des analyses harmoniques des cinq fichiers d'enregistrements retenus

Nom de fichier	ANDERA 1	ANDERA 2	ANDERA 4	ANDERA 5	ANDERA 6
Période	Juillet 84	Novembre 84	Avril 85	Mai 85	Juin 85
Résidu (cm.s ⁻¹)	-5.15	-3.75	-3.09	-2.85	-4.67
Critère d'ajustement	19.5	17.7	11.5	14.9	9.02

Tableau 6 - Constantes harmoniques retenues pour l'analyse du signal de marée à Ziguinchor (période du 17/04/85 à 15 H 01 au 15/05/85 à 22 H 15)

Constante résiduelle $A_0 = -2.848 \text{ cm.s}^{-1}$		
Harmonique	Constante H_i	Constante H'_i
M8	-0.0273	-0.564
S6	0.169	0.128
M6	-2.88	0.962
S4	-0.0312	0.656
M4	4.54	-1.3
S2	6.02	-15.5
L2	-3.09	-8.75
M2	-44.6	-52.0
N2	12.9	1.31
OQ2	-1.42	0.129
O1	-2.34	8.05
K1	-4.94	2.94
MF	1.95	1.47
MSF	2.34	0.266

L'ajustement entre les enregistrements et les valeurs recalculées par analyse harmonique, est présenté graphiquement sur la figure 6, pour la série d'enregistrements du 17/04/85 au 15/05/85.

III. QUANTIFICATION DES FLUX OSCILLANTS

Les tableaux 7 et 8 présentent de manière comparative, et respectivement, les vitesses moyennes et les excursions de marée, obtenues par les enregistrements de l'Aanderaa, le calcul harmonique et les jaugeages hydrométriques.

Les comparaisons les meilleures s'obtiennent pour les jaugeages d'étiage de mars et de juin 1985. Les précisions obtenues sont de l'ordre de 7 à 10 % en ce qui concerne les comparaisons entre la vitesse moyenne ponctuelle enregistrée et la vitesse moyenne jaugée sur toute la section au cours d'un épisode de marée. Les précisions sont de l'ordre de 14 à 16 % si l'on compare de la même manière les valeurs des excursions de marée. Les enregistrements se rapprochent toujours beaucoup plus des valeurs jaugées au cours des périodes de flot. Par contre, au cours des périodes de jusant, il semble que l'appareil Aanderaa présente une tendance à prolonger la durée des cycles de marée par rapport à ceux qui ont été observés au cours des jaugeages et qui coïncident avec les durées théoriques établies pour le port de Dakar.

Tableau 7 - Comparaison des valeurs de vitesse moyenne de flot et de jusant sur la section de Ziguinchor obtenues par jaugeages, enregistrements à l'Aanderaa et analyse harmonique (en cm.s-1)

Date de jaugeage	Vitesse moyenne jaugée		Vitesse moyenne enregistrée		Vitesse moyenne recalculée		Durée du cycle jaugé (h.mn)	Durée du cycle enregistré (h.mn)
	Flot	Jusant	Flot	Jusant	Flot	Jusant		
04/08/84	37.5	-40	51	-63	60	-76	12.25	13.10
25/03/85	49.5	-53	47	-56	48	-59	12.20	12.25
26/03/85	48	-49.5	45	-56	38	-60	12.20	12.25
27/03/85	44	-51.5	41	-55.5	33.5	-52	12.30	12.50
11/06/85	46.5	-47	48	-49	46	-51	12.10	13.20
12/06/85	32.5	-43.5	31	-45	32	-47	12.05	11.35

Tableau 8 - Comparaison des valeurs d'excursions de marée calculées d'après les jaugeages, les enregistrements à l'Aanderaa et l'analyse harmonique (en kilomètres).

Date de jaugeage	Excursion d'après jaugeage		Excursion d'après enregistrement		Excursion d'après analyse	
	Flot	Jusant	Flot	Jusant	Flot	Jusant
04/08/84	8	-9.4	12.8	-13.9	15.1	-16.8
25/03/85	11	-11.8	10.0	-13	10.4	-13.7
26/03/85	11	-10.7	10.1	-12.5	8.7	-13.4
27/03/85	9.7	-11.9	8.9	-13.6	7.2	-12.8
11/06/85	9.9	-10.6	11.8	-11.5	11.3	-11.9
12/06/85	7.3	-9.1	6.1	-9.9	6.3	-10.2

Quelques tentatives de régression linéaire ont été faites entre les débits jaugés et les vitesses ponctuelles de l'Aanderaa, et ces résultats ont été publiés lors du séminaire de Ziguinchor (1). Le coefficient de pente de ces régressions, correspondant à une valeur fictive de la section mouillée, présente une très grande irrégularité en fonction de la saison (saison humide, étiage), de l'onde marée semi mensuelle (vive eau, morte eau) et de l'onde marée semi diurne (flot, jusant). Il apparaît toutefois que les valeurs de ces pentes se regroupent autour d'une constante bissectrice égale à 4 850 m² qui peut être ainsi retenue pour extrapoler, sur une longue série de mesures, les enregistrements de vitesse en terme de débit.

Néanmoins, l'importance des anomalies hydrauliques ponctuelles de la tranche d'eau dans laquelle évolue le courantomètre Aanderaa, décelées par les irrégularités du comportement de l'appareil par rapport au comportement de la section complète, n'est pas à sous-estimer. Cette constatation n'est pas encourageante pour envisager l'utilisation de cette méthode dans la quantification à long terme du flux oscillant de marée.

D'autre part, toutes les excursions résiduelles qui ont été calculées à l'issue des séries mensuelles d'enregistrements, indiquent un déplacement résultant des masses d'eau vers l'aval, ce qui est incompatible avec le processus d'hypersalinisation observé dans l'estuaire.

(1) MILLET B. ; OLIVRY J.C. ; LE TROQUER Y., 1986 - Etude du fonctionnement hydrologique de la Casamance maritime.

Proceeding séminaire ISRA. Programme "Casamance", Ziguinchor 19-25 juin 1986, pp. 23-36.

IV. CONCLUSION

Cette expérience d'immersion prolongée d'un courantomètre Aanderaa ponctuel dans la section de Ziguinchor conduit aux deux principaux résultats suivants :

- La connaissance des constantes harmoniques de la marée à Ziguinchor, calculées à partir des séries d'étiage qui traduisent le signal de marée le moins perturbé. Ces constantes permettent la reproduction de ce signal de marée à Ziguinchor à l'entrée d'un calcul de bilan salin ou d'un modèle de circulation de l'estuaire amont.
- La mise en évidence de l'hétérogénéité spatiale du comportement de la section de Ziguinchor au regard de la circulation des masses d'eau. Cette hétérogénéité spatiale, elle même évolutive d'une saison à l'autre, compromet définitivement l'utilisation directe, en temps réel, des enregistrements ponctuels d'un vecteur vitesse, dans la quantification précise d'un bilan salin saisonnier ou annuel de l'estuaire.

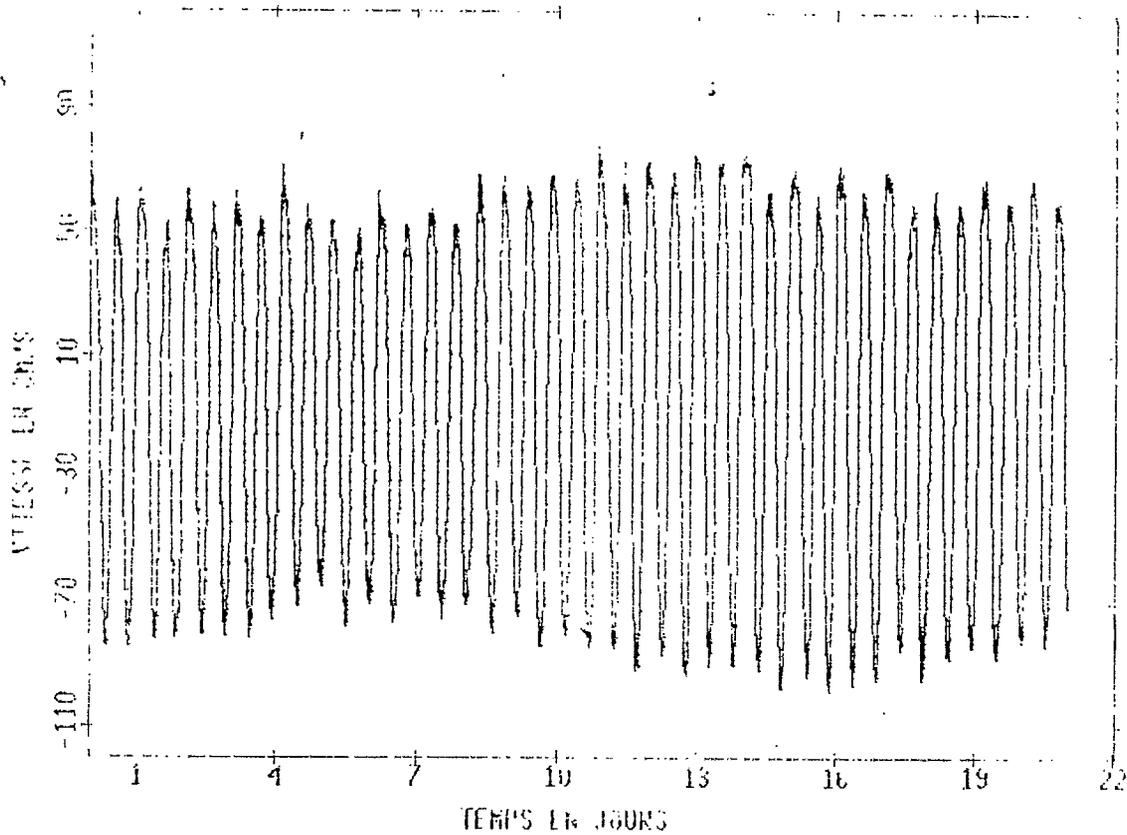


Fig. 1 - Enregistrements Aanderaa
période du 17/07/84 à 15 H au 07/08/84 à 15 H

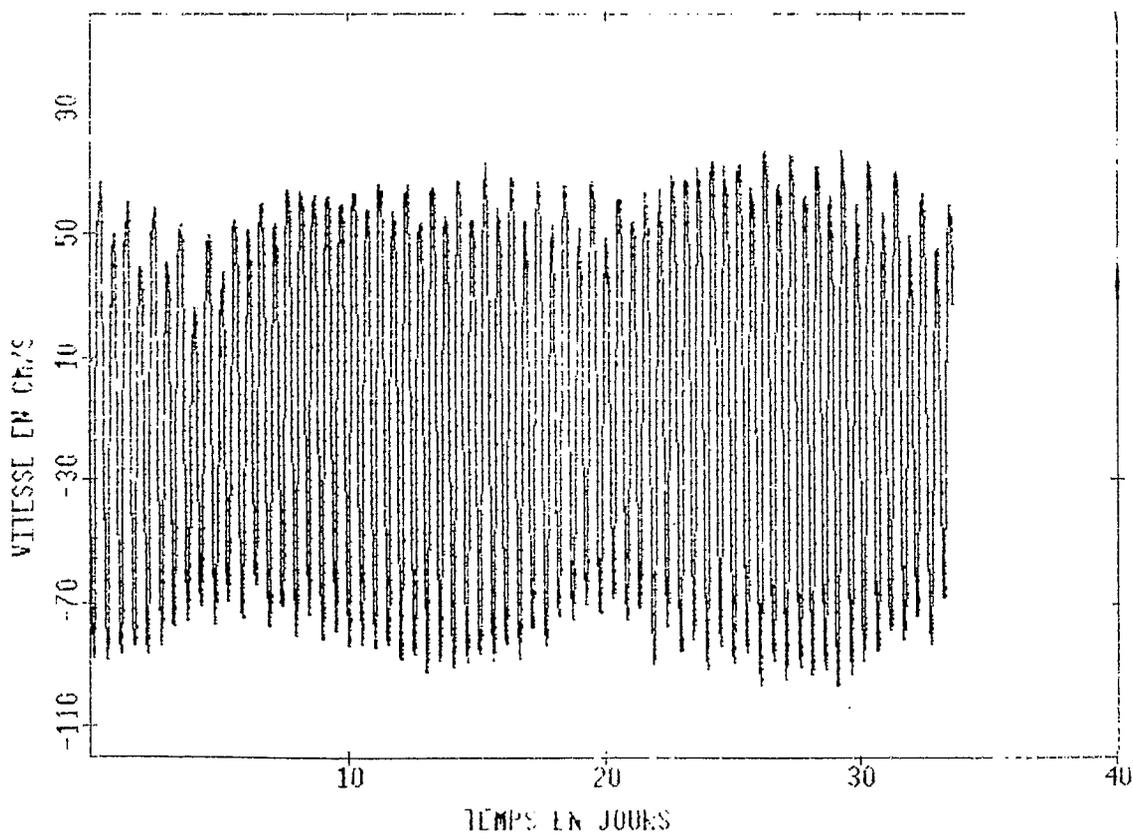


Fig. 2 - Enregistrements Aanderaa
période du 27/10/84 à 14 H 10 au 30/11/84 à 4 H 35

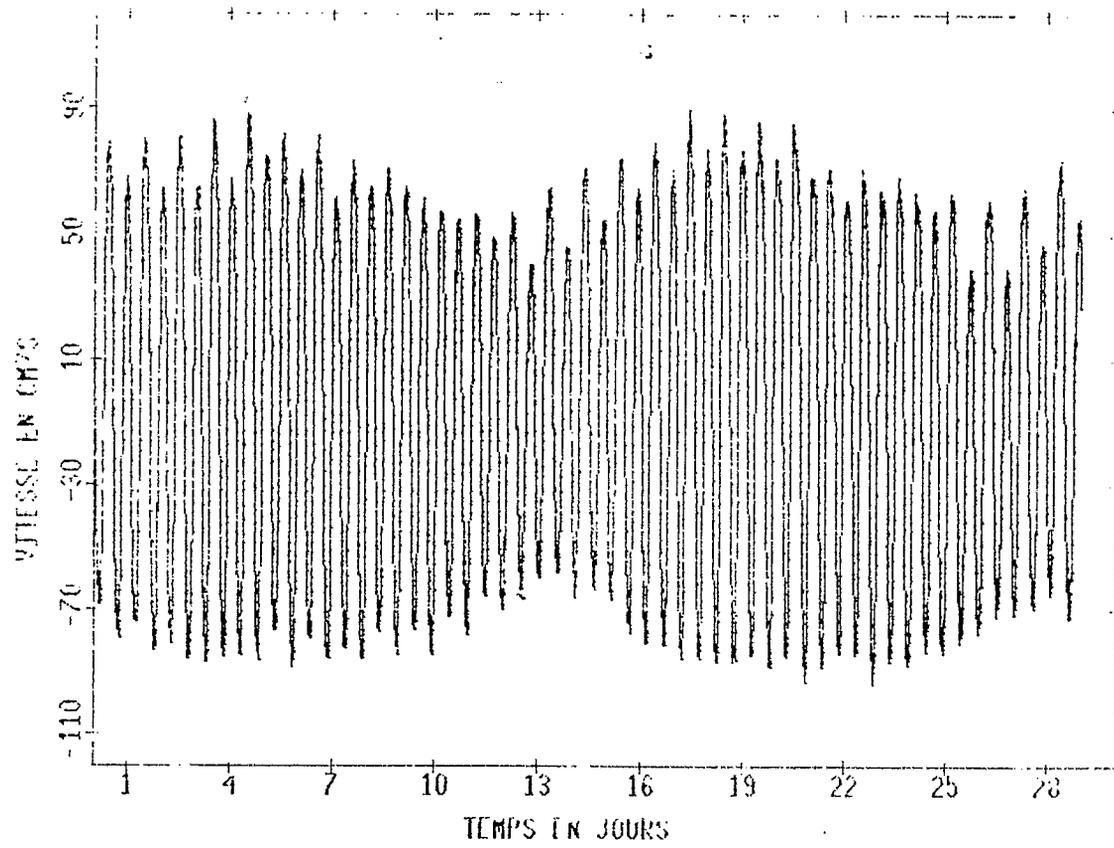


Fig. 3 - Enregistrements Aanderaa
période du 1703/85 à 11 H 55 au 15/04/85 à 11 H 35

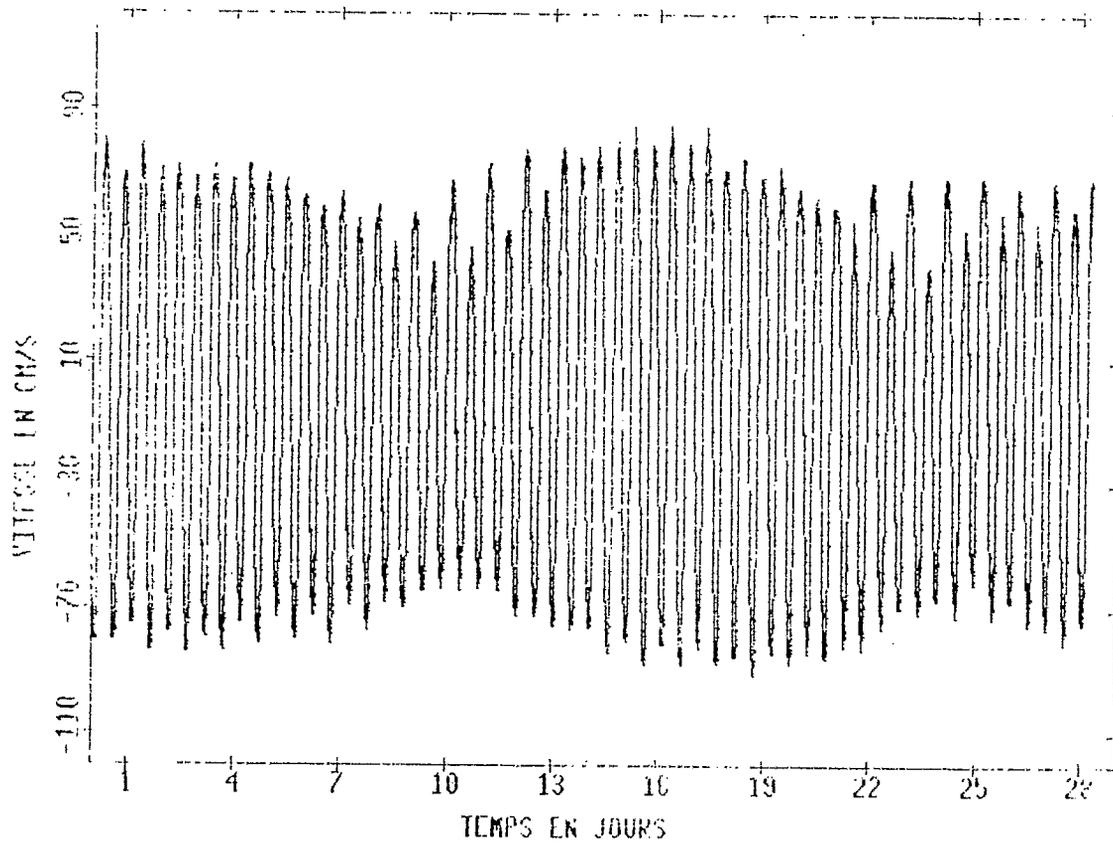


Fig. 4 - Enregistrements Aanderaa
période du 17/04/85 à 15 H 01 au 15/05/85 à 22 H 15

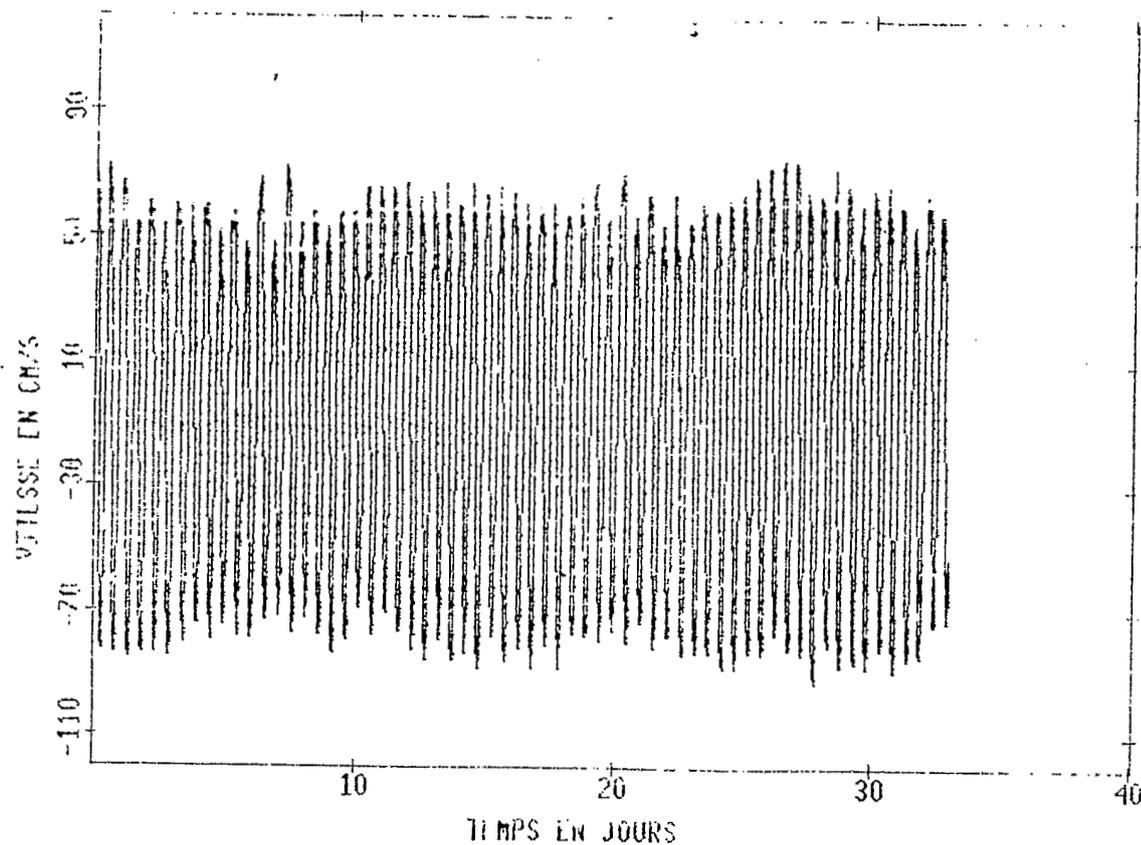


Fig. 5- Enregistrements Aanderaa
période du 05/06/85 à 12 H 35 au 08/07/85 à 11 H 45

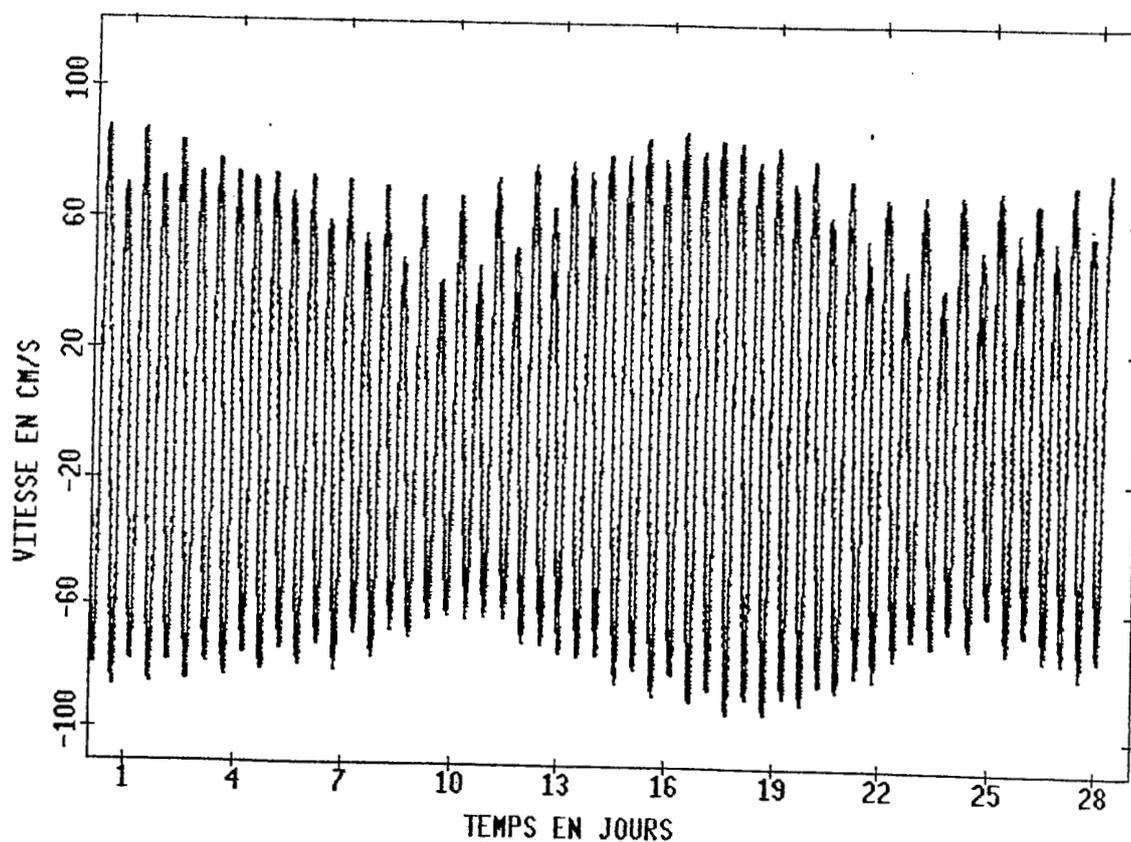


Fig. 6- Reconstitution du courant à Ziguinchor par analyse harmonique
période du 17/04/85 à 15 H 01 au 15/05/85 à 22 H 15

enregistrement ———

calcul harmonique - - - - -