

LA LAGUNE ABY (COTE D'IVOIRE)
MORPHOLOGIE, HYDROLOGIE, PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

par

Jean-Marie CHANTRAINE¹

R E S U M E

Le dépouillement de données disparates anciennes et récentes aboutit à une première description d'ensemble de la lagune Aby. Le tracé de la carte bathymétrique vérifie l'existence de quatre subdivisions. Le volume total de la lagune est évalué à $1,6 \cdot 10^9 \text{m}^3$ et la profondeur moyenne à 3,8 m ; sa profondeur maximum atteint 17 m. L'établissement d'un bilan d'eau douce à partir des données hydrologiques et climatologiques, souvent incomplètes, estime l'importance du renouvellement de la couche 0-6 m : celui-ci est 3,5 fois plus fort dans le sud et l'est que dans le nord ; une stratification marquée limite largement les échanges d'eau au dessous de 6 m.

La répartition spatiale des paramètres physico-chimiques confirme l'existence de quatre zones différenciées par leur morphologie et leur situation par rapport aux débouchés des fleuves et à la communication avec l'océan. Les variations saisonnières reflètent l'influence alternée des apports d'eau douce en saison de pluies et de crues, et de l'intrusion marine - relativement faible - en saison sèche. La stratification verticale est effective pour tous les paramètres.

L'utilisation d'un modèle empirique de production primaire montre que la lagune Aby est dans l'ensemble plus productive que sa voisine Ebrié. Les valeurs les plus fortes, de l'ordre de $10 \text{gO}_2 \text{m}^{-2} \text{j}^{-1}$, se situent en saison sèche au nord et à l'est.

A B S T R A C T

The analysis of old and recent data lead to a first global description of the Aby lagoon. Its sharing into four areas is confirmed by the drawing of a bathymetrical map. The total volume is estimated : $1,6 \cdot 10^9 \text{m}^3$. The average and maximum depths are respectively 3,8 and 17 m. A fresh water balance provided with hydrological and climatological data is proposed. Only the upper layer (0-6m) is renewed, 3,5 times more in the south-east than in the north. A strong vertical stratification takes place and limits inlets and outlets under 6 m.

The morphology of the main basins and the location of continental and marine estuaries induce the space distribution of physical and chemical parameters. Their seasonal variations are conditioned by the alternative influence of fresh waters during the rain and flood period, and marine waters during the dry season. All parameters present the vertical stratification.

The use of an empirical model of primary production shows that the Aby lagoon is rather more productive than its neighbour Ebrié. The highest values (about $10 \text{gO}_2 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$) occur during the dry season in the north and east.

INTRODUCTION

Située entre les longitudes est 2°51' et 3°21" d'une part, et les latitudes nord 5°05' et 5°22' d'autre part, la lagune Aby est soumise à un contexte climatique comparable à celui qui règne sur la lagune Ebrié ⁽¹⁾. Elle n'est alimentée que par deux rivières importantes (rivières côtières coulant sous couvert forestier), alors que la lagune Ebrié reçoit, outre deux rivières de même type, un fleuve de type soudanien. Sa communication avec la mer, étroite et assez peu profonde, est gênée en outre par une zone deltaïque. L'influence marine à laquelle elle est soumise est bien moindre que celle subie par la lagune Ebrié par l'intermédiaire du canal de Vridi.

Nous verrons en première partie une synthèse des connaissances acquises à ce jour en matière de morphologie (une carte bathymétrique approchée est dressée) et d'hydrologie (un bilan d'eau douce est proposé). Il sera largement fait appel à des approximations et des extrapolations.

Le chapitre 2 fait suite *pro parte* à la note publiée en 1979 par Pagès *et al.*, dans les "Archives Scientifiques du C.R.O. d'Abidjan", et présente les variations spatio-temporelles des caractéristiques physico-chimiques ainsi que des compléments sur la production primaire. Il résulte de l'analyse des mesures effectuées en 39 stations régulièrement réparties, au cours de trois campagnes entreprises en 1979 aux trois saisons caractéristiques : février au plus fort de la saison sèche, juillet et octobre correspondant aux deux saisons des pluies et aux crues des fleuves. Le protocole d'échantillonnage et d'analyse chimique est déjà décrit (Pagès *et al.*, 1979).

(1) La situation climatique est décrite (Pagès *et al.*, 1979).

1 - MORPHOLOGIE

1.1. DESCRIPTION GENERALE

De forme notablement différente de la lagune Ebrié, la lagune Aby

est constituée de deux principaux bras principaux longs de 56 km d'est en ouest, et de 24,5 km du nord au sud. Sa plus grande largeur atteint 15,5 km dans le nord alors que la plus petite ne mesure qu'un peu plus d'un kilomètre dans l'est. On peut distinguer trois détroits larges de 4,5, 2 et 1,25 km qui délimitent les quatre subdivisions de la lagune : Aby-nord, Aby-sud, Tendo et Ehy (Fig.1). Remarquons que les deux premières n'ont pas reçu d'appellation propre. Cette distinction n'était pas véritablement nécessaire de par leur analogie de structure, mais elle existe cependant pour des considérations physico-chimiques et biologiques. Les lagunes Tendo et Ehy au contraire méritent largement cette différenciation au vu de leurs formes et répartitions bathymétriques. Les quatre zones ainsi définies sont soumises à des régimes hydrologiques distincts résultant de la combinaison d'influences marines, fluviales et atmosphériques variables. La portion ghanéenne de la lagune, peu importante, est mal connue, en particulier le diverticule situé au sud de la lagune Ehy, d'une dizaine de kilomètres carrés et de faible profondeur. Il n'a pas été tenu compte de cette excroissance dans le calcul des surfaces et des volumes.

1.2. SURFACES

Les surfaces ont été évaluées par découpage d'un calque de la carte I.G.N. au 1/50.000^e tracé sur papier homogène, puis par pesée.

Surface du plan d'eau	425,3 km ²
Surface des îles formant le delta	24,1 km ²
. Nanobaka	3,3
. Ngramaina	3,7
. Eso	14,7
. Autres îles ..	2,4
Surface des autres îles	0,6 km ²
Surface totale	<u>450,0 km²</u>

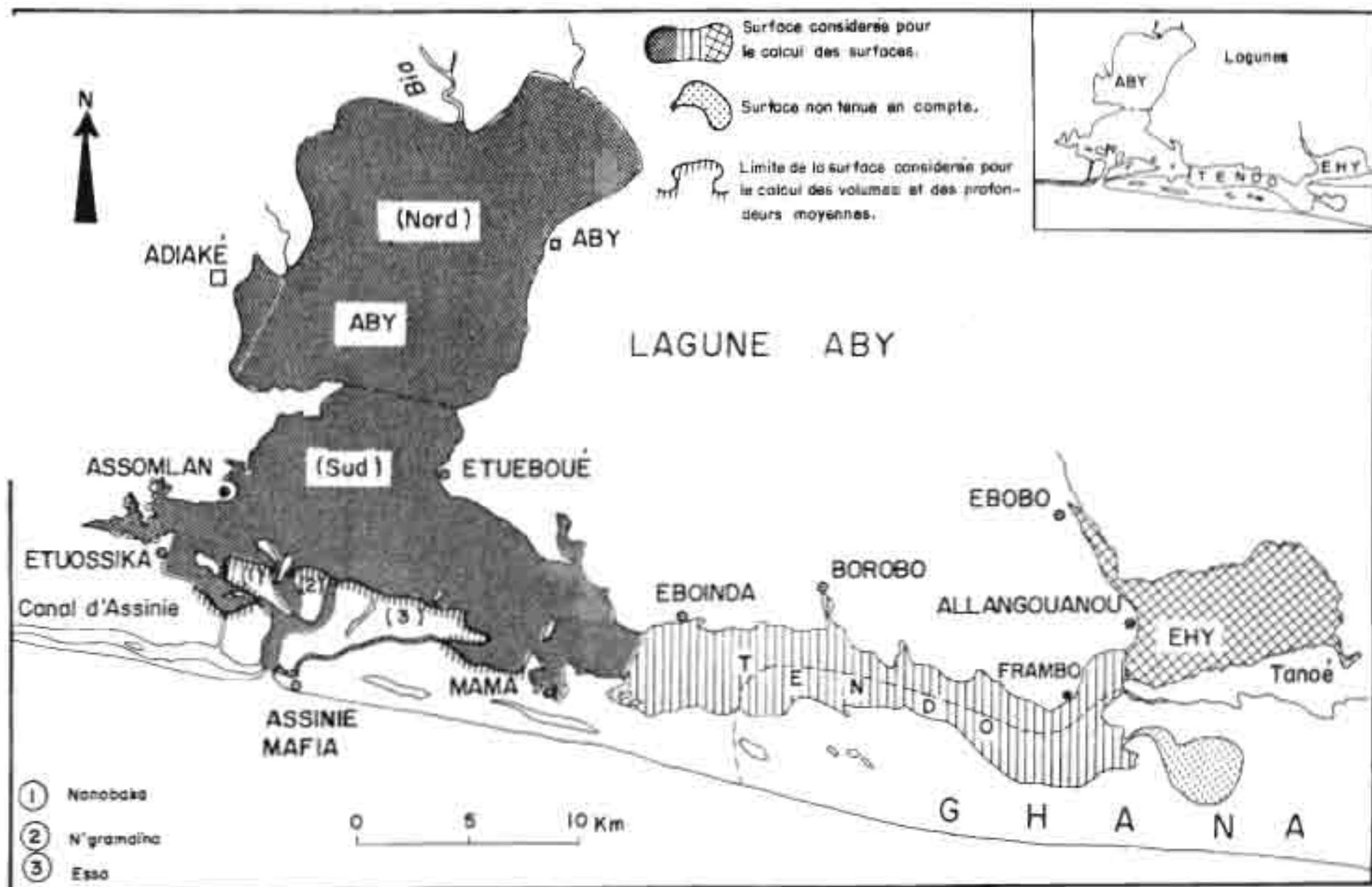


Figure 1 - La lagune Aby : ses subdivisions.

Les îles formant le delta ont été volontairement différenciées car elles forment un bloc compact et important. Si l'on considère alors la surface des îles proprement dites, qui est très faible, on remarque qu'elle ne représente qu'un peu plus de 0,1% de la surface totale (contre 11,5% pour la lagune Ebrié). Cette proportion devient 5,5% en tenant compte de la totalité des îles.

Notre estimation de la surface totale est en bon accord avec la valeur donnée par Pagès *et al.* (1979) : 424 km².

Compte tenu de la différenciation précédemment établie (cf. § 2.1), les surfaces des plans d'eau des différentes zones de la lagune Aby sont :

. Aby-Nord	166,3 km ²	(39%)
. Aby-Sud ⁽¹⁾	139,5 km ²	(33%)
. Tendo	73,7 km ²	(17%)
. Ehy	45,8 km ²	(11%)

1.3. CARTE BATHYMETRIQUE

Une première esquisse de la carte bathymétrique a été levée par Skubich (1979)⁽²⁾ à la lueur de données anciennes complétées par des mesures faites à l'échosondeur au cours des trois campagnes effectuées en 1979. Elle est encore imprécise, surtout dans les zones de hauts fonds et la partie ghanéenne. Cette carte est disponible au C.R.O. et notre intention n'est pas de l'inclure dans cette note, mais d'en tirer une carte, sans doute moins précise mais qui donne un bon aperçu de la distribution des profondeurs et de la situation des fosses et des hauts fonds (Fig.2).

(1) Signalons que cette surface a été réduite dans la suite de cet exposé à 132,4 km², excluant ainsi la zone purement deltaïque dont on n'a d'ailleurs que peu de données bathymétriques.

(2) Communication personnelle.

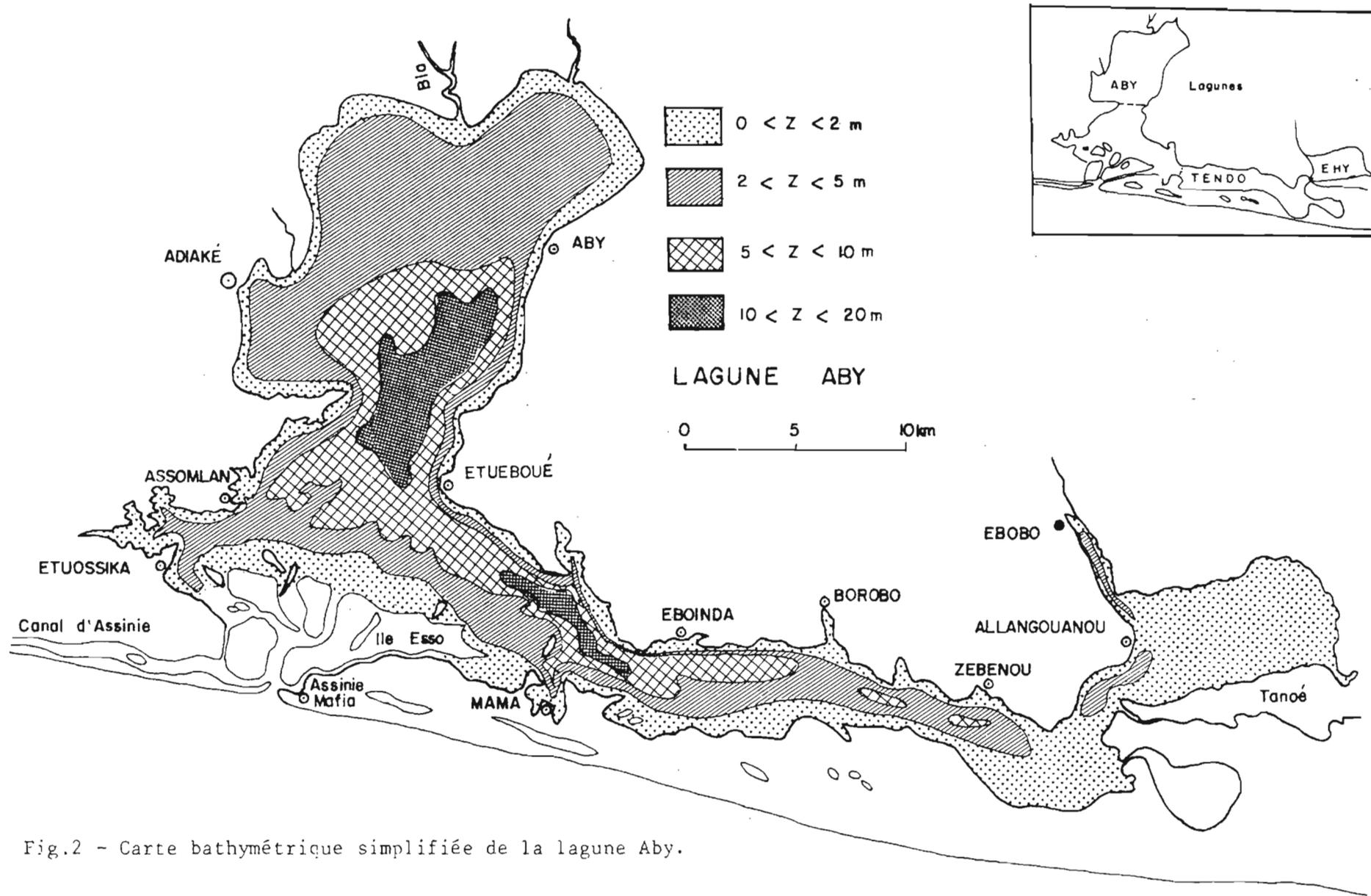


Fig.2 - Carte bathymétrique simplifiée de la lagune Aby.

Il se dégage de cette carte les traits marquants suivants :

- l'existence de deux "fosses" de profondeurs atteignant 16 et 17 m, toutes deux situées dans la lagune Aby *sensu stricto*.

- il n'y a pas de profondeur supérieure à 10 m en lagune Tendo.

- la lagune Ehy est très homogène et constituée dans sa presque totalité par des hauts fonds (profondeur moyenne = 1,5 m).

- on assiste dans le temps à un relèvement très important des fonds dans la zone située sous le panache de la Bia : les profondeurs relevées fin 1978 et début 1979 sont inférieures d'environ 2 m à celles de 1964, mesurées elles aussi en saison sèche, et ce dans le triangle Bia-Aby-Adiaké. Par contre, un comblement par la Tanoé paraît difficile à prouver. Le dépôt des alluvions semble se faire de façon diffuse.

- l'action des marées occasionne un transport de sable qui pénètre dans la lagune par les chenaux deltaïques et dont la progression vers le nord est perturbée par le jeu de deux courants principaux : l'un dû à la Bia dirigé vers le sud qui contre cette avancée, et l'autre provoqué par la Tanoé dirigé vers l'ouest et qui produit une série de dunes identiques à celles observées en estuaire.

Remarquons que l'on observe un relèvement général moyen du niveau d'eau de la lagune, d'une trentaine de centimètres en saison des crues par rapport à la saison d'étiage (observation 1979).

1.4. VOLUMES

A partir de la carte bathymétrique de Skubich, il a été possible, moyennant certaines approximations, de mesurer les surfaces délimitées par les isobathes 0-2m, 2-3m, ..., et par là, calculer les volumes d'eau présents dans chaque couche, pour ainsi aboutir au volume total d'eau de chaque zonaire (en saison sèche).

Volume Aby-nord	....	725	. 10 ⁶ m ³	(45%)
Volume Aby-sud	.....	624	. 10 ⁶ m ³	(39%)
Volume Tendo	.....	189	. 10 ⁶ m ³	(12%)
Volume Ehy	.....	71	. 10 ⁶ m ³	(4%)
Volume total	.....	1609	. 10 ⁶ m ³	contre 2650 en lagune Ebrié.

Les pourcentages en volume diffèrent de ceux calculés pour les surfaces. Pour visualiser cette disparité, nous avons tracé pour chaque cuvette, un profil morphologique en calculant pour chaque cuvette les volumes partiels cumulés en fonction de la profondeur (Fig.3). On remarque l'analogie de structure des lagunes Aby-nord et sud et leur nette différence avec les deux autres.

1.5. PROFONDEURS MOYENNES

Le calcul des surfaces et des volumes nous conduit à celui des profondeurs moyennes :

Profondeur moyenne Aby-nord .	4,4 m	
Profondeur moyenne Aby-sud ..	4,7 m	
Profondeur moyenne Tendo	2,6 m	Aby total : 3,8 m
Profondeur moyenne Ehy	1,5 m	

Ces profondeurs moyennes diffèrent notablement. Celle d'Ehy représente le tiers et celle de Tendo environ la moitié de la profondeur moyenne d'Aby, Aby-nord et Aby-sud n'étant pas sensiblement différentes à ce point de vue comme nous l'avons déjà signalé.

2 - BILAN D'EAU DOUCE

Nous tenterons dans ce chapitre d'évaluer les différents transferts d'eau par les voies fluviales et atmosphériques (précipitations et évaporation), pour les comparer au volume propre de la lagune et obtenir ainsi une estimation du renouvellement des eaux. Il aurait été intéressant de compléter ce bilan par l'intervention des entrées et sorties d'eau de mer comme l'a fait Variet (1978) pour la lagune Ebrié, mais nous ne possédons pas les éléments nécessaires à ce calcul : hauteurs d'eau, entrées et sorties de sel. Notons en outre que nous n'avons aucune donnée relative aux infiltrations. Ce calcul est incomplet mais ouvrira la voie du bilan total.

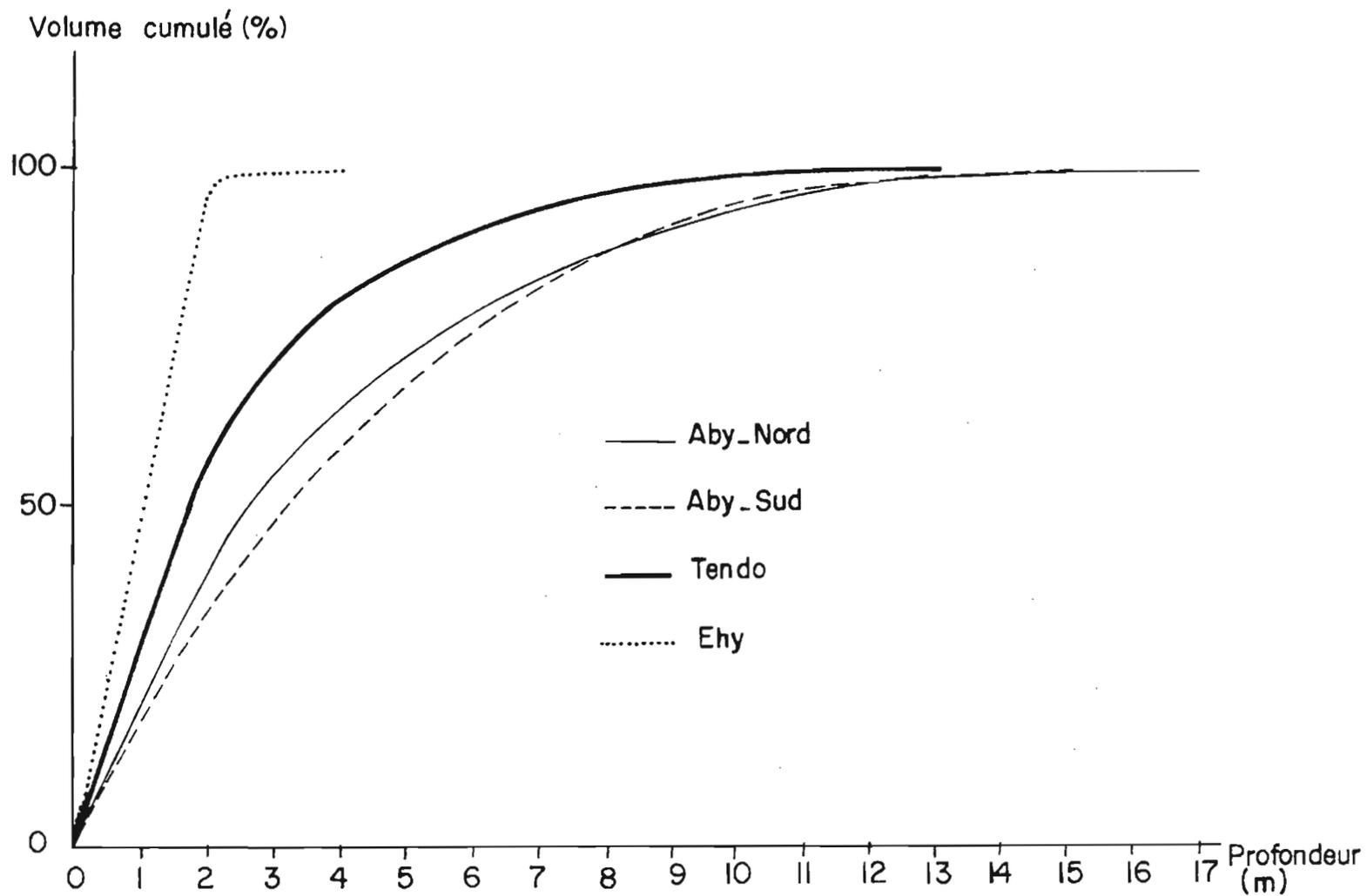


Fig.3 - Volumes partiels cumulés de chaque cuvette de la lagune Aby en fonction de la profondeur.

2.1. LES RIVIERES

Les bassins d'alimentation de la lagune Aby sont uniquement sous influence climatique de type équatorial de transition, ce qui se traduit par un alignement du régime hydrologique des rivières sur le régime pluviométrique. Ce régime fluvial est caractérisé par deux crues annuelles d'importances comparables et non une seule crue par an comme c'est le cas pour les fleuves de type soudanien.

2.1.1. La Bia et la Tanoé.

Les modules mensuels et annuels ont été obtenus à partir de données assez disparates. Ils pourront donner toutefois, moyennant certaines approximations et/ou extrapolations, un assez bon reflet de la réalité. Les tableaux 1 et 2 rassemblent toutes les données connues à ce jour. Les modules de la Bia ont été calculés à partir des hauteurs d'eau lues à Bianouan⁽¹⁾, pas toujours très sûres, transformées en débits par une courbe provisoire de tarage faite en 1979, et qui ont été ensuite rapportés au débouché en lagune au prorata des surfaces des bassins versants. Ils couvrent la période 1963-1979. Ceux de la Tanoé proviennent des hauteurs d'eau lues à Alenda et d'une courbe de tarage⁽²⁾ établie sur plusieurs années. Ils couvrent la période 1956-1965. Il n'y a donc qu'un faible recoupement avec les années connues de la Bia. Nous tenterons par la suite de raccorder les chiffres moyens en tenant compte du fait que les mesures de la Tanoé correspondent à une période de plus forte pluviosité.

(1) Données communiquées par le Ministère des Travaux Publics, Division des Ressources en Eaux de Surface (D.R.E.S.), à Abidjan.

(2) Données communiquées par le Dr. Whyte de l'Université Legon à Accra (Ghana). Alenda se trouve à une vingtaine de kilomètres du débouché en lagune. Le coefficient d'extrapolation doit être très proche de un. Cependant, il est difficile d'affirmer que toute l'eau de la Tanoé alimentant la lagune transite par Alenda. En effet nous avons nous-mêmes constaté dans le sud-est de la lagune Ehy et en période de crue un afflux d'eau provenant du sud très certainement dû au débordement de la Tanoé de son lit. De plus la zone située à l'est de la lagune Ehy est un vaste marécage, et aux dires des populations, l'eau de ce marécage circulerait tantôt dans le sens est-ouest et tantôt en sens contraire. Par là les volumes d'eau apportés en lagune à partir des données d'Alenda seraient sous-estimés.

MOIS ANNEE	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module moyen annuel	Volume écoulé (10 ⁹ m ³)
1956	(30,9)	(21,6)	(32,9)	140	97,5	343	193	24,3	64,9	211	158	69,5	(115,5)	(3,65)
1957	21,2	6,22	4,51	14,3	103	256	340	103	129	268	(182)	170	(134,1)	(4,23)
1958	19,3	14,1	1,19	44,8	124	261	68,5	~ 0	~ 0	45,0	71,5	36,8	(57,1)	(1,80)
1959	36,7	26,3	38,8	75,6	236	322	382	101	95,0	325	291	119	171,6	5,41
1960	48,0	32,6	43,0	162	-	-	-	166	80,0	238	170	71,5	((141,5))	((4,46))
1961	30,4	22,2	29,2	60,3	59,6	221	357	195	63,2	233	144	55,3	123,4	3,89
1962	26,4	16,2	36,6	57,1	130	303	339	(172)	(45,7)	225	270	176	150,6	(4,75)
1963	46,9	33,0	54,9	62,4	97,6	233	364	340	317	380	297	61,2	191,4	6,04
1964	25,7	17,8	43,6	49,8	138	242	261	73,5	54,3	59,9	62,4	60,0	90,9	2,87
1965	23,8	25,7	44,1	51,9	74,8	255	359	190	162	287	173	48,2	141,9	4,48
Moyenne	30,9	21,6	32,9	71,8	118	271	296	136	101	227	182	86,7	131,2	4,14
Estimation moyenne 1973-1979	19,2	13,4	20,4	44,6	73,1	168	184	84,7	62,8	141	113	53,8	81,5	2,57

Tableau 1 - Modules moyens (m³/s) mensuels et annuels de la Tanoé de 1956 à 1965. Modules estimés pour la période récente : 1973 à 1979.

ANNEE	MOIS												Module		Volume		
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	moyen annuel	a	b	a	b
1963	9,71	5,05	29,3	16,2	41,7	97,6	213	170	121	190	85,8	15,8	83,6	119,2	2,64	3,76	
1964	13,6	5,64	15,7	19,0	47,3	99,4	95,9	37,1	15,7	23,4	14,2	23,0	34,3	48,9	1,08	1,54	
1965	(15)	3,51	(19,1)	10,0	27,6	(84)	88,9	(45)	76,8	61,6	54,6	(37)	(43,8)	62,4	(1,38)	(1,97)	
1966	(1,79)	(0,87)	(0,20)	54,4	15,6	65,4	(153)	59,7	83,5	119	61,1	(22)	(53,3)	76,0	(1,68)	(2,40)	
1967	4,17	3,11	2,79	8,92	31,3	74,3	109	10,3	22,2	36,6	13,8	4,05	26,9	38,4	0,85	1,21	
1968	2,07	2,71	4,17	13,8	34,2	124	157	221	229	220	124	37,1	97,7	139	3,08	4,39	
1969	15,8	7,01	9,11	62,0	52,1	101	78,5	23,1	13,3	29,1	77,5	8,67	39,8	56,7	1,25	1,79	
1970	2,96	2,28	18,9	53,1	47,6	72,8	55,1	8,92	19,9	66,2	91	10,5	37,5	53,4	1,18	1,69	
1971	2,82	0,49	4,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1972	-	-	-	-	-	-	105	-	-	-	-	2,20	-	-	-	-	
1973	0,99	0,52	0,58	4,46	1,54	19,1	18,7	31,9	116	83,7	33,1	2,36	26,1	37,2	0,82	1,17	
1974	1,23	0,87	17,5	32,4	36,1	30,3	71	34,7	56,5	40,4	40,4	10,5	40,8	40,8	1,00	1,43	
1975	2,37	1,49	1,40	7,51	27,2	55,9	114	25,6	9,28	48,6	17,9	12,0	27,2	38,8	0,86	1,22	
1976	1,51	2,17	11,3	6,17	29,0	127	92,6	26,7	11,7	19,4	45,8	8,34	31,8	45,3	1,00	1,43	
1977	2,02	1,52	1,25	0,58	6,30	35,1	11,7	1,66	5,82	64,9	8,23	2,18	11,8	16,9	0,37	0,53	
1978	0,47	0,25	3,11	14,6	18,7	69,4	9,43	2,55	7,09	45	18,9	0,98	15,9	22,6	0,50	0,71	
1979	0,34	0,51	0,50	1,50	17,2	53,0	67,8	24,7	99,6	146	57,5	10,4	40,1	57,1	1,26	1,80	
Moyenne	a	4,80	2,37	8,70	20,3	28,9	73,9	90,0	48,2	59,2	83,1	49,6	12,5	40,1	57,2	1,27	-
	b	6,84	3,38	12,4	28,9	41,2	105	128	68,7	84,4	118	70,7	17,8	-	57,2	-	1,80
Moyenne 1973-1979	b	1,82	1,49	7,26	13,7	27,7	79,4	70,4	26,0	62,4	94,2	45,2	8,10	26,4	37,6	0,83	1,19

Tableau 2 - Modules moyens (m³/s) mensuels et annuels de la Bia de 1963 à 1979. Moyennes de la période récente 1973-1979. a : à Bianouan ; b : au débouché en lagune.

La figure 4 représente les modules moyens mensuels de la Bia et de la Tanoé, ainsi que les précipitations à Aboisso, point où la pluviométrie est certainement très proche de celle des bassins versants des deux rivières. L'examen de cette figure appelle quelques commentaires :

- tout d'abord la caractéristique essentielle des rivières de ce type, à savoir l'existence de deux crues par an d'importances comparables, et même pratiquement identiques pour la Bia.

- un débit toujours plus fort de la Tanoé par rapport à la Bia.

- un profil des débits calqué sur celui des pluies avec un retard d'environ trois semaines (crue de juin-juillet), sans retard pour la crue d'octobre-novembre.

Nous avons calculé en outre les volumes d'eau apportés annuellement par les deux rivières, et représenté sur la figure 5 leurs variations sur la période 1956-1979. On remarque que la Tanoé est plus importante que la Bia (4,12 km³ en moyenne contre 1,80), mais soulignons que les moyennes sont calculées pour des périodes qui se recouvrent à peine (1963, 1964 et 1965). Nous avons tenté de contourner cet écueil par comparaison de la Bia et de la Mé qui obéissent toutes deux à des régimes pluviométriques comparables et que l'on connaît bien sur la période 1963-1979. Nous avons trouvé une bonne corrélation entre leurs volumes annuels :

$$V_{\text{Bia}} = 1,23 V_{\text{Mé}} + 0,04 \quad (V \text{ en km}^3) \quad \text{avec } n = 14 \quad \text{et } r = 0,95$$

Nous pouvons ainsi, grâce aux mesures effectuées de 1957 à 1965 sur la Mé, estimer les valeurs probables de la Bia sur la même période, c'est à dire celle où les modules de la Tanoé sont connus. Nous avons trouvé comme volume moyen apporté par la Bia 2,0 km³. Celui de la Tanoé étant alors 4,2 km³, le rapport Tanoé/Bia est chiffré à 2,1. En faisant l'hypothèse d'une relation analogue hautement probable entre les volumes apportés par les deux rivières⁽¹⁾, on peut, connaissant le volume moyen de la Bia (1,2 km³ pour la période récente 1973-1979), en déduire celui de la Tanoé pour la même période, soit 2,5 km³. C'est ce chiffre ainsi modulé que nous retiendrons pour établir le bilan d'eau douce actuel.

(1) Voir sur la figure 5 la similitude des variations pour les années 1963, 1964 et 1965 pour lesquelles le rapport Tanoé/Bia est respectivement égal à 1,6, 1,9 et 2,3. Ces chiffres sont en assez bon accord avec la valeur 2,1 estimée.

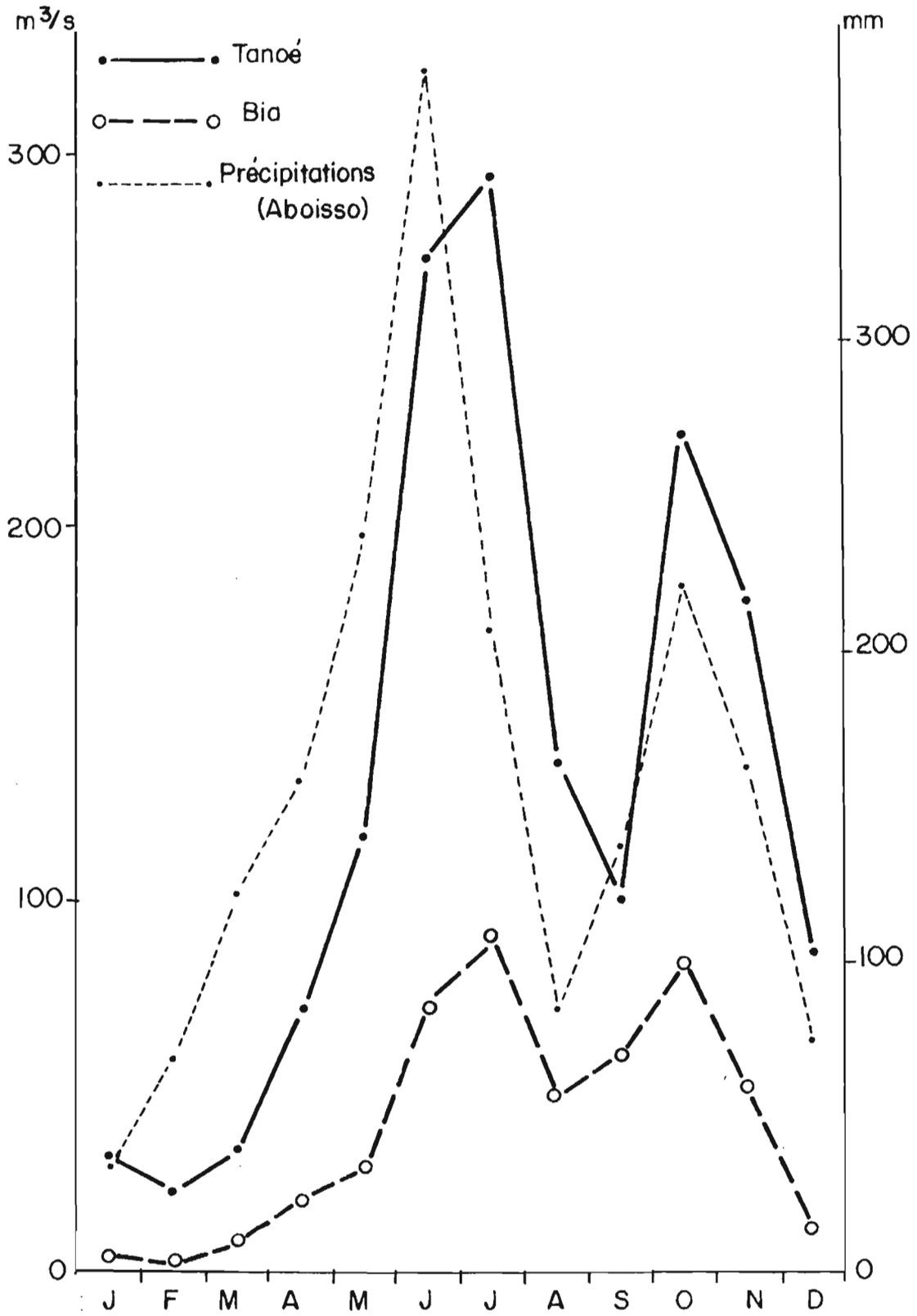


Fig.4 - Hydrogramme moyen de la Bia (1963-1979) à Bianouan et de la Tanoé (1956-1965) à Alenda. Précipitations à Aboisso (1954-1979).

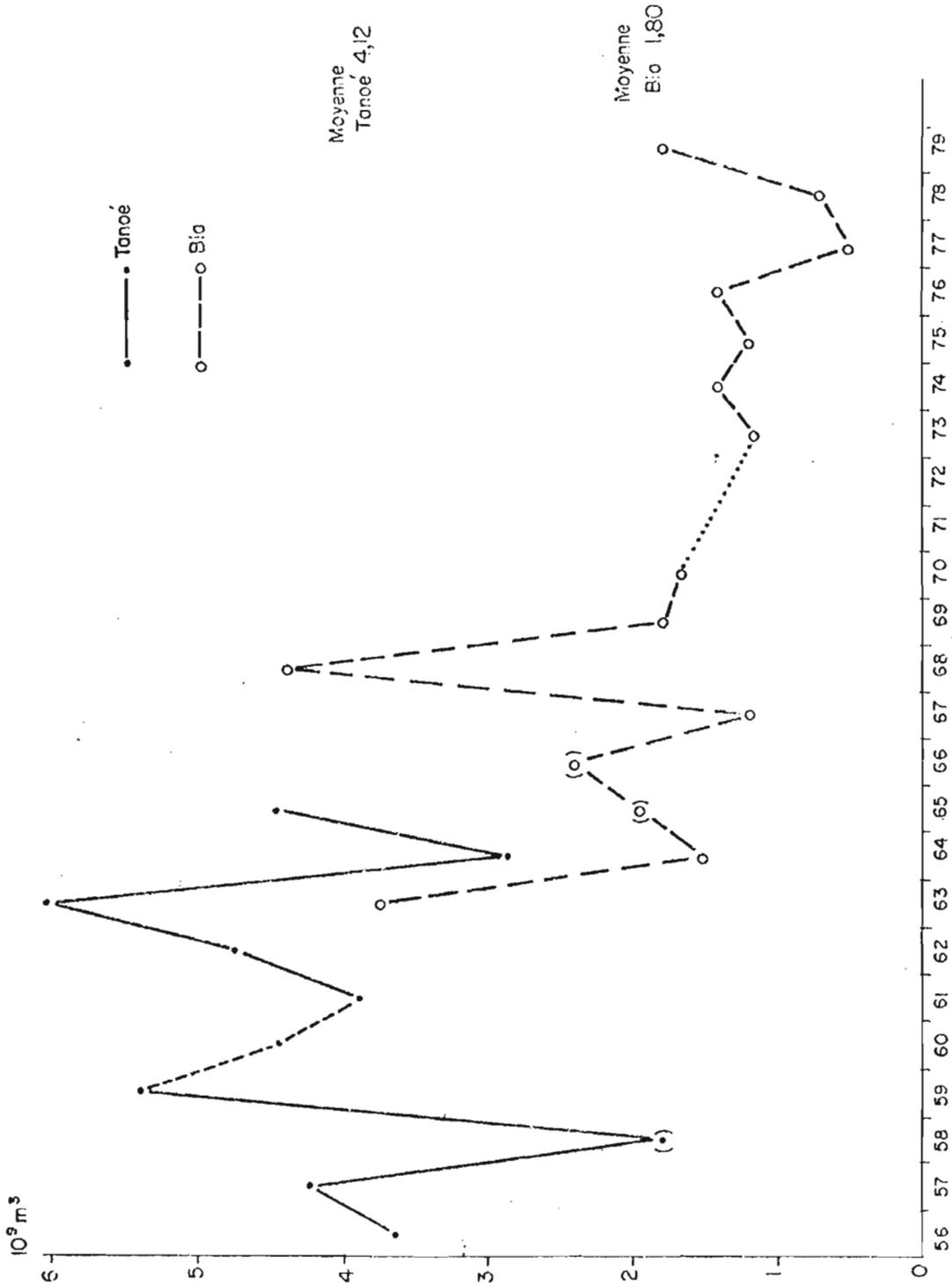


Figure 5 - Evolution interannuelle des volumes d'eau apportés à la lagune Aby par la Bia et la Tanoé. Les points entre parenthèses signifient que les données sont incomplètes et que le module a été extrapolé.

2.1.2. Les petits bassins versants.

L'évaluation des apports par les petites rivières a été faite en utilisant la pluviométrie moyenne à Adiaké (voir 1.2.2.), la surface estimée des bassins versants correspondants (350 km²) et un coefficient d'écoulement égal à 0,1⁽¹⁾. Les variations saisonnières de ces apports sont reportées sur le tableau 3.

2.2. LES PRECIPITATIONS

Nous avons tenu compte de deux zones (nord et sud) pour l'estimation des apports par voie météorique. La zone nord représentée par Adiaké dont nous connaissons la pluviométrie moyenne sur la période choisie 1973-1979. La zone sud représentée par Frambo dont les mesures sont encore trop peu nombreuses (observations commencées en 1977), mais dont nous avons pu dresser en profil pluviométrique vraisemblable (Fig.6). Le total annuel à Adiaké atteint 2013 mm, soit sensiblement la même lame d'eau qu'à Abidjan, alors qu'il ne tomberait que 1420 mm à Frambo dans notre estimation⁽²⁾. Les variations annuelles sont répertoriées dans le tableau 3.

(1) Valeur utilisée par Varlet pour la lagune Ebrié.

(2) Cette estimation est basée sur la comparaison des pluviométries de Jacquville et Dabou sur la lagune Ebrié, géographiquement très proches et dont le rapport des hauteurs d'eau reçue est de 0,836 en faveur de Dabou située plus au nord et de l'autre côté de la lagune. Nous avons évalué la pluviométrie de Frambo pour 50% à l'aide des données connues et pour 50% en la chiffrant à 0,836 fois celle d'Adiaké qui est située plus au nord.

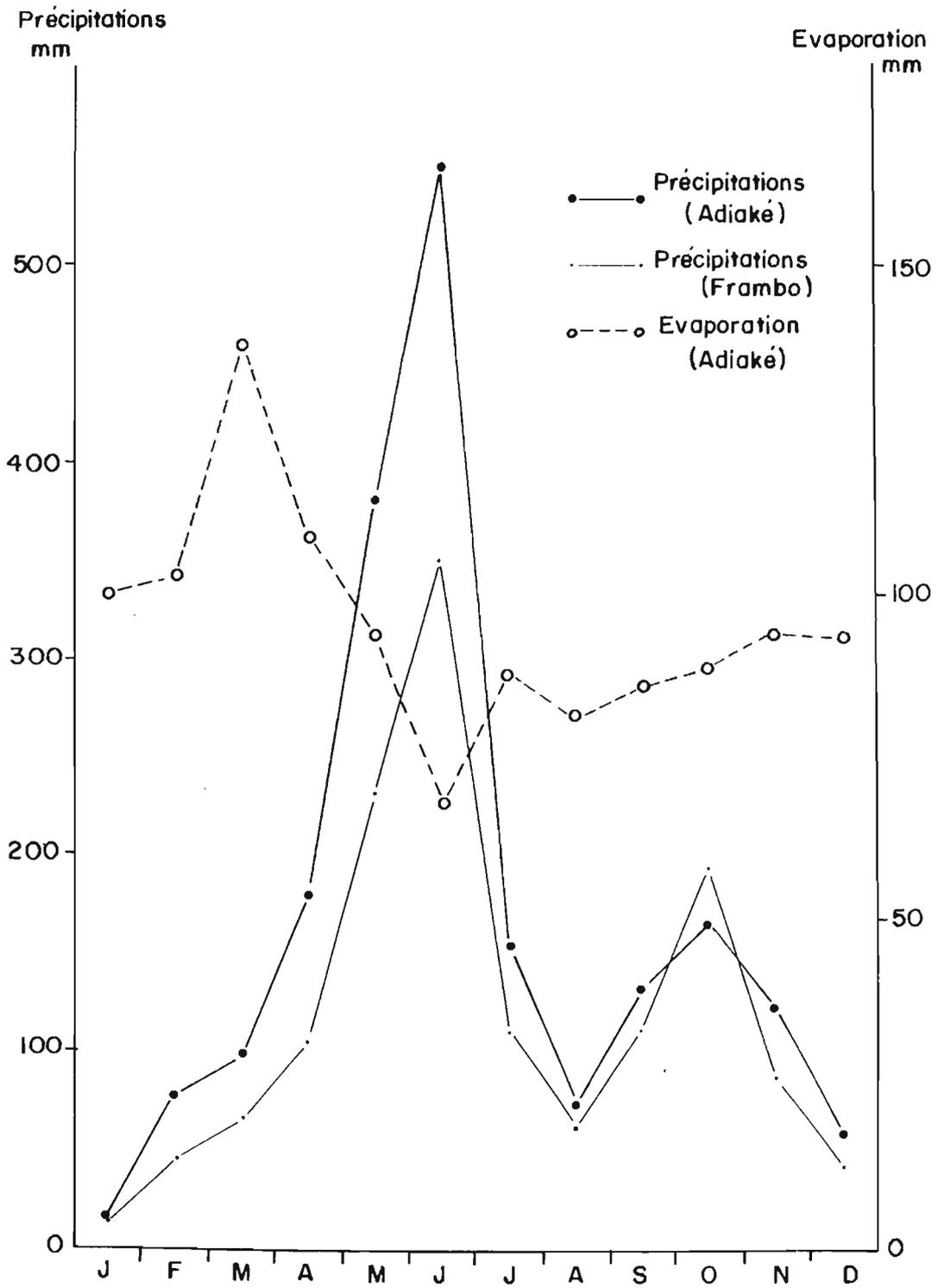


Fig.6 - Diagrammes : - Pluviométrie d'Adiaké (1973-1979) et de Frambo (estimation).
- Evaporimétrie d'Adiaké (1964-1965-1978-1979).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total annuel
Précipitations (73-79) ADIAKE (P_A)	15,3	79,0	98,5	180,2	362,9	550,5	153,8	74,7	132,7	165,2	121,7	58,3	2012,8
Précipitations (73-79) FRAMBO (P_F) (estimation)	13	47	66	106	232	353	110	63	112	193	86	41	1422
mm Evaporation ADIAKE (E_A)	-100	-103	-137	-109	-94	-68	-88	-81	-86	-89	-94	-93	-1142
$P_A - E_A$ ADIAKE	-84,7	-24,0	-38,5	71,2	288,9	482,5	65,8	-6,3	46,7	76,2	27,7	-34,7	870,8
$P_F - E_A$ FRAMBO	-87	-56	-71	-3	138	285	22	-18	26	104	-8	-52	280
$(P_A - E_A) \times 1/2$ Surface Aby	-18,0	-5,1	-8,2	15,1	61,4	102,6	14,0	-1,3	9,9	16,2	5,9	-7,4	185,2
$(P_F - E_A) \times 1/2$ Surface Aby	-18,5	-11,9	-15,1	-0,6	29,3	60,6	4,7	-3,8	5,5	22,1	-1,7	-11,1	59,5
$\Sigma (P-E) \times 1/2$ Surface Aby	-36,5	-17,0	23,3	14,5	90,7	163,2	18,7	-5,1	15,4	38,3	4,2	-18,5	244,7
$10^6 m^3$ BIA (73-79) débouché en lagune	4,9	3,6	19,5	35,5	74,2	205,7	210,1	80,6	161,7	252,2	117,1	21,7	1186,8
TANOE (73-79) débouché en lagune (estimation)	50,5	35,2	53,7	117,3	192,2	441,8	483,3	222,7	165,1	370,7	296,8	141,5	2570,8
Petites rivières	0,5	2,8	3,4	6,3	13,4	19,3	5,4	2,6	4,6	5,8	4,3	2,0	70,4
Apports totaux	19,4	24,6	53,3	173,6	370,5	830,0	717,5	300,8	346,8	667,0	422,4	146,7	4072,7
$10^6 m^3$ BIA + TANOE	55,4	38,8	73,2	152,8	266,4	647,5	693,4	303,3	326,8	622,9	413,9	163,2	3757,6
% Apports totaux nets (% du volume total Aby)	1,2	1,5	3,3	10,8	23,0	51,6	44,6	18,7	21,6	41,5	26,3	9,1	253,2

Tableau 3 - Apports moyens d'eau douce en lagune Aby pendant la période 1973-1979.

2.3. L'EVAPORATION

Les seules données dont nous disposons sont celles de l'évaporimètre Piche à Adiaké pour les années 1964, 1965, 1978 et 1979. Nous les avons reliées à la hauteur d'eau évaporée par une relation linéaire en comparant les valeurs de l'évaporimètre Piche (Adiopodoumé, moyenne de 1948 à 1979) aux chiffres donnés par Varlet pour l'évaporation dans la zone Ebrié-ouest. La relation s'écrit :

$$\text{Evap. (mm)} = 2,0 \text{ Piche}_{(\text{mm})} + 4,3 \quad (r = 0,91 ; n = 12)$$

Nous avons appliqué cette relation à Adiaké. Un tel procédé n'est sans doute pas très licite mais c'est le seul moyen actuel d'approcher l'évaporation en lagune Aby. Celle-ci atteindrait 1142 mm annuellement contre 1243 mm en moyenne pour la lagune Ebrié. Ses variations sont reportées sur le tableau 3 et représentées sur la figure 6. Elle est maximum en mars et minimum en juin comme l'on pouvait s'y attendre. La différence - précipitations moins évaporation - est négative pendant les périodes sèches : de décembre à mars, et en août.

2.4. LE BILAN

Le régime hydrique des fleuves et lagunes est étroitement lié au climat régnant. Celui-ci est en Côte d'Ivoire éminemment variable d'une année à l'autre. Par conséquent, il est délicat de parler de moyennes sans écarts types. Pourtant notre propos ici n'est pas d'étudier les régimes hydrologiques dans le détail, mais de fixer les idées quant à l'ordre de grandeur des volumes d'eau mis en jeu.

De par la variabilité du climat, il s'ensuit une variabilité du régime des crues. Par exemple pour la Bia, la crue la plus forte connue (1968) a été huit fois plus importante que la plus faible (1977). Aussi nous avons choisi d'utiliser la moyenne des années récentes (1973 à 1979), période relativement stable d'un point de vue hydrologique, pour établir le bilan hydrique.

Il ressort de l'examen du tableau 3 que la plus grosse part des apports (92%) sont fournis par l'ensemble des deux rivières principales, les pluies diminuées de l'évaporation ne représentant que 6% et les petites rivières à peine 2%. La figure 7 représente schématiquement les proportions des différents apports. En lagune Ebrié, ces pourcentages sont respectivement 94,3 et 3%. Ces chiffres sont tout à fait comparables.

Nous avons jugé plus explicite un hydrogramme (Fig.3) représentant d'une part l'apport net d'eau douce et d'autre part l'apport dû aux deux fleuves. On se rend bien compte de la prépondérance des fleuves sauf en janvier et février où l'évaporation est très importante (69 et 64% des apports bruts sont évaporés). On a également chiffré pour chaque mois les apports nets en pourcentage du volume total de la lagune. Celle-ci reçoit en juin-juillet un volume d'eau pratiquement égal au sien propre, et au total dans l'année 2,5 fois ce même volume. Le renouvellement des eaux est donc moins important qu'en lagune Ebrié, laquelle reçoit annuellement 4,5 fois son volume dont 2 fois en octobre-novembre pendant la crue de la Comoé.

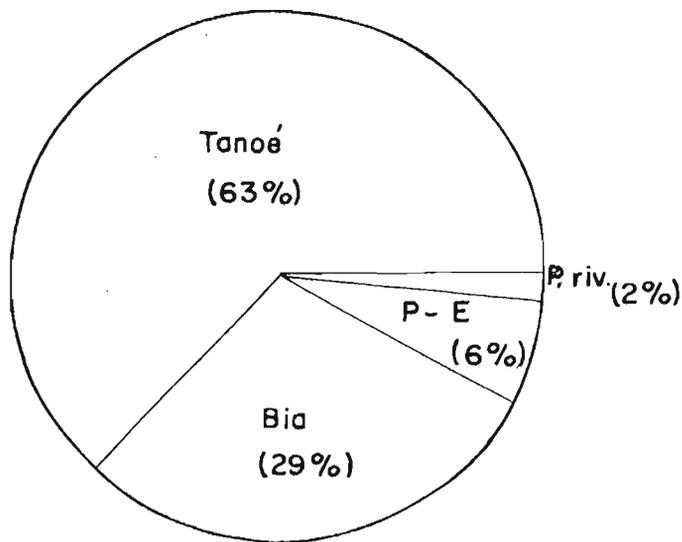


Fig.7 - Bilan annuel d'eau douce en lagune Aby pour la période récente (1973-1979). Proportions des différentes entrées.

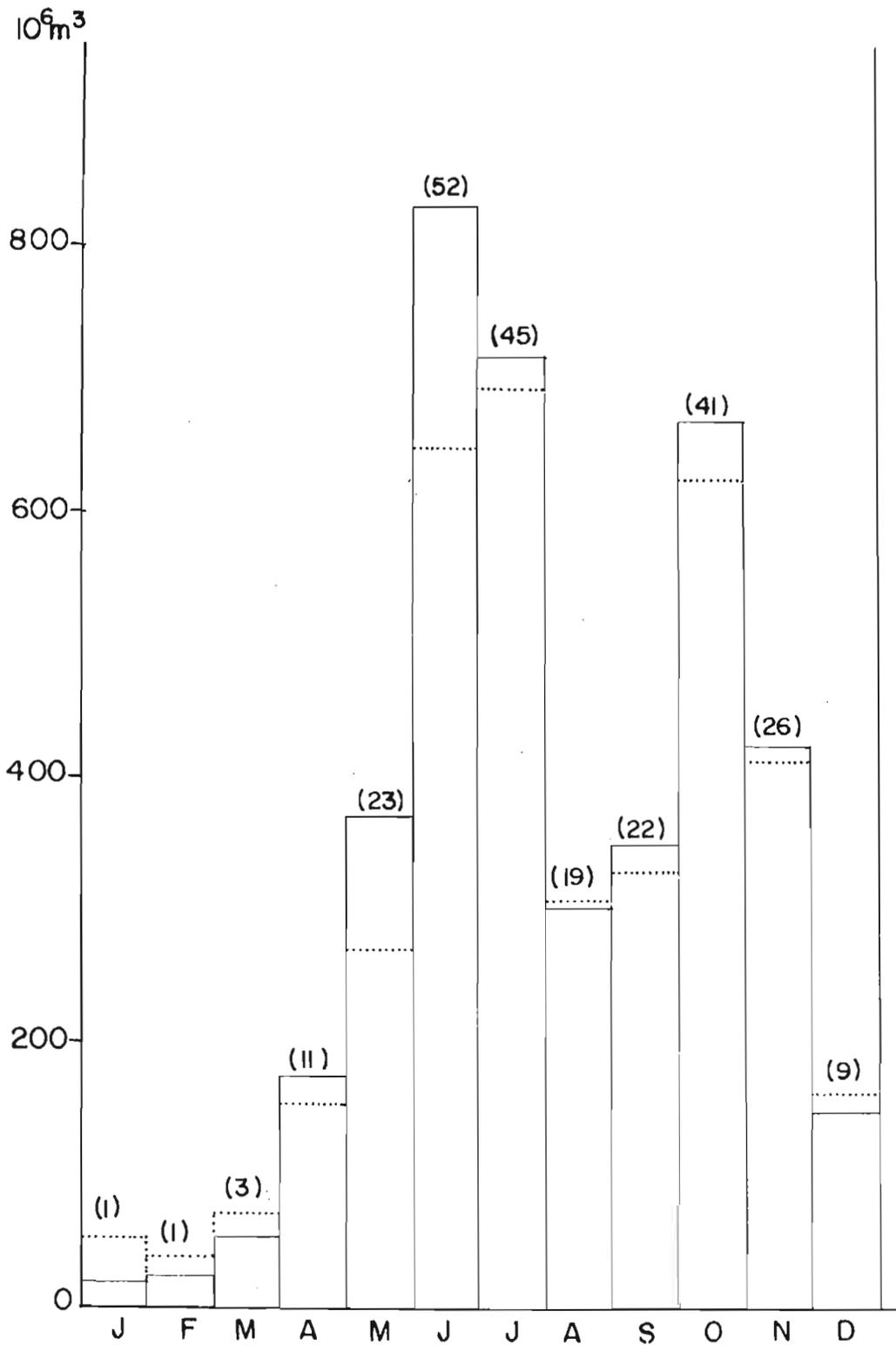


Fig.3 - Apport net d'eau douce à la lagune Aby : variations saisonnières. Entre parenthèses pourcentage du volume de la lagune. En pointillé contribution de l'ensemble Bia + Tanoé.

En réalité les eaux "profondes" de la lagune Aby sont très peu renouvelées à cause d'une stratification stable (en température et en salinité) de l'eau. Seule la couche des 6 premiers mètres semble être renouvelable. Nous avons donc refait ce dernier calcul en ne prenant en considération que cette épaisseur d'eau et en scindant la lagune en deux zones d'égales surfaces, l'une sous influence de la Bia et l'autre sous celle de la Tanoé (Fig.9, partie supérieure). En effet ces deux zones sont très distinctes quant à la profondeur moyenne, donc au volume d'eau renouvelable. Le calcul des volumes correspondants donne environ 0,80 km³ pour le nord-ouest (zone B) et 0,48 km³ pour le sud-est (zone T), soit 1,7 fois moins. La Tanoé apportant 2,1 fois plus d'eau que la Bia, on en conclut que la zone T est sous une influence fluviale 3,5 fois plus forte que la zone B. Nous retrouverons par ailleurs, cette dissemblance dans l'étude des paramètres physico-chimiques. La partie inférieure de la figure 9 représente la répartition saisonnière du rapport V/V₀ du volume d'eau fluviale apportée au volume de la tranche des six premiers mètres de chaque zone. En fixant raisonnablement à 0,1 la limite du rapport au-dessous de laquelle la zone est hydrologiquement stable, on détermine les périodes de stabilité de chaque zone :

- de décembre à avril et en août pour la zone B
- de janvier à mars seulement pour la zone T.

CONCLUSION

Maintes fois nous avons au cours de cette étude comparé les paramètres morphologiques et hydrologiques des lagunes Aby et Ebrié, cette dernière étant un point de référence largement connu. Ainsi ont été mises en évidence leurs similitudes et leurs originalités. Ce premier pas contribue à la connaissance physique de base de cet écosystème qui, aux dires des ichthyologues et au même titre que la lagune Ebrié, pourrait jouer un rôle économique de premier ordre.

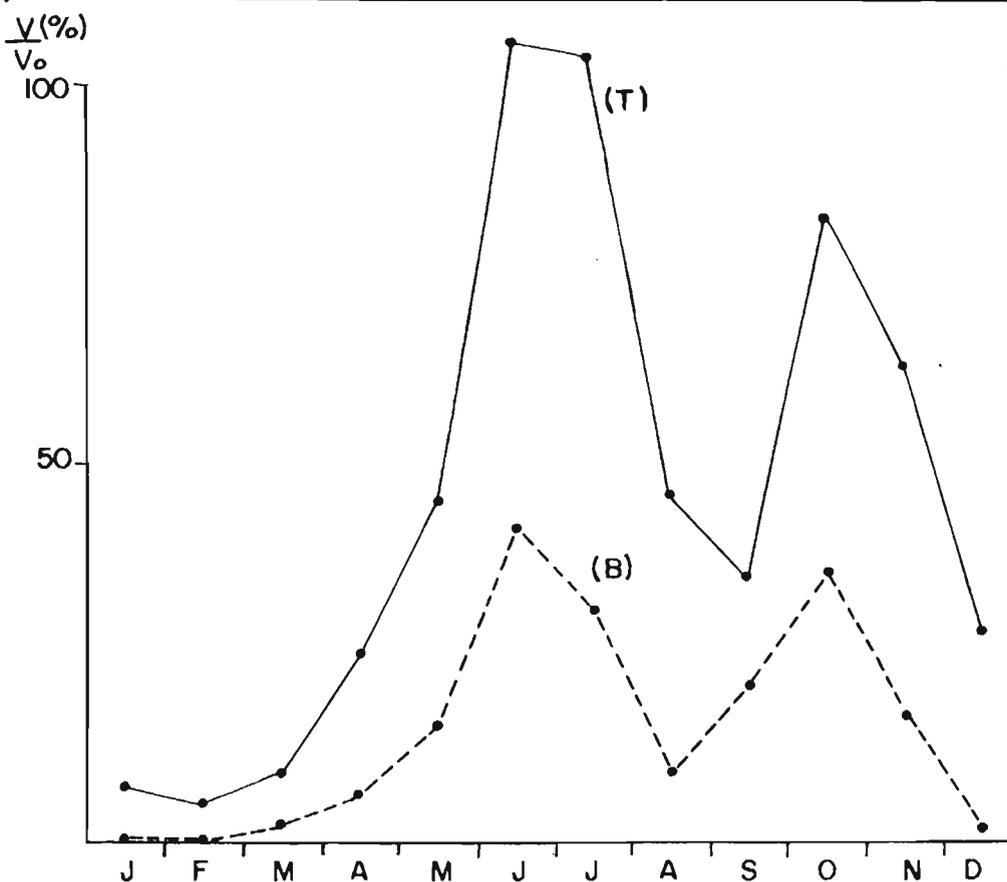
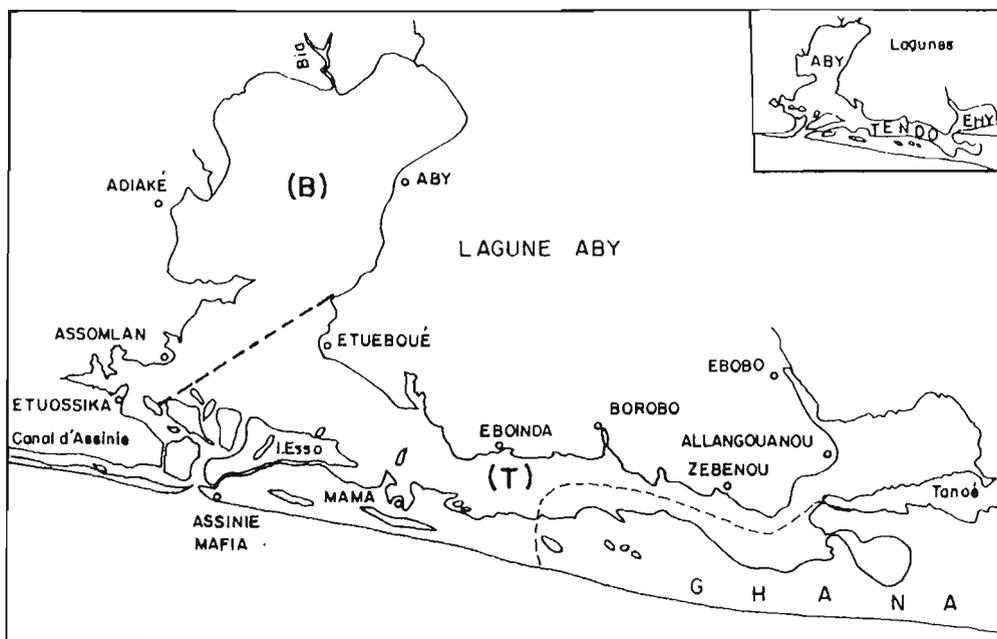


Fig.9 - Partie supérieure : zones d'influence de la Bié et de la Tanoué. Partie inférieure : répartition saisonnière du volume d'eau apporté par le tributaire par rapport au volume renouvelable de chaque zone.

3 - PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX

Toutes les données brutes ont été synthétisées sous forme de cartes et de diagrammes, traduisant ainsi de façon simple et globale les variations saisonnières et spatiales (horizontalement et verticalement). La figure 10 indique les subdivisions géographiques de la lagune ainsi que la localisation des stations visitées. Celles-ci sont régulièrement réparties dans toute la lagune, excepté la portion ghanéenne qui ne représente qu'un faible pourcentage de la surface totale.

3.1. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DE SURFACE

Le tableau 4 rassemble les valeurs moyennes et écarts types des paramètres correspondant aux différentes subdivisions de la lagune et aux trois saisons étudiées.

3.1.1. Température (Fig.11)

Le dépouillement des mesures de température aurait pu être rendu délicat par le fait que les relevés ont été effectués à différentes heures de la journée, mais les variations nycthémerales, de l'ordre de 1°C en pleine eau⁽¹⁾, sont inférieures aux variations spatiales et saisonnières. En février les températures s'échelonnent de 28 à 32°C, atteignant un maximum dans les zones les moins exposées aux vents et un minimum à l'extrême est sous l'influence directe de la Tanoé dont le débit en février est environ 10 fois plus fort que celui de la Bia, celle-ci ne perturbant donc pas les températures à son arrivée en lagune.

(1) Nous n'avons pas pu nous attarder à réaliser des stations fixes au cours d'une journée. Cependant des mesures de variations nycthémerales de la température ont été réalisées en lagune Ebrié dans une zone soumise à l'influence directe de la Comoé. En saison d'étiage l'amplitude thermique maximum moyenne était de 0,9°C, et inférieure à 0,5°C en saison de crue où toute la zone est de la lagune est balayée par une masse d'eau sans cesse renouvelée.

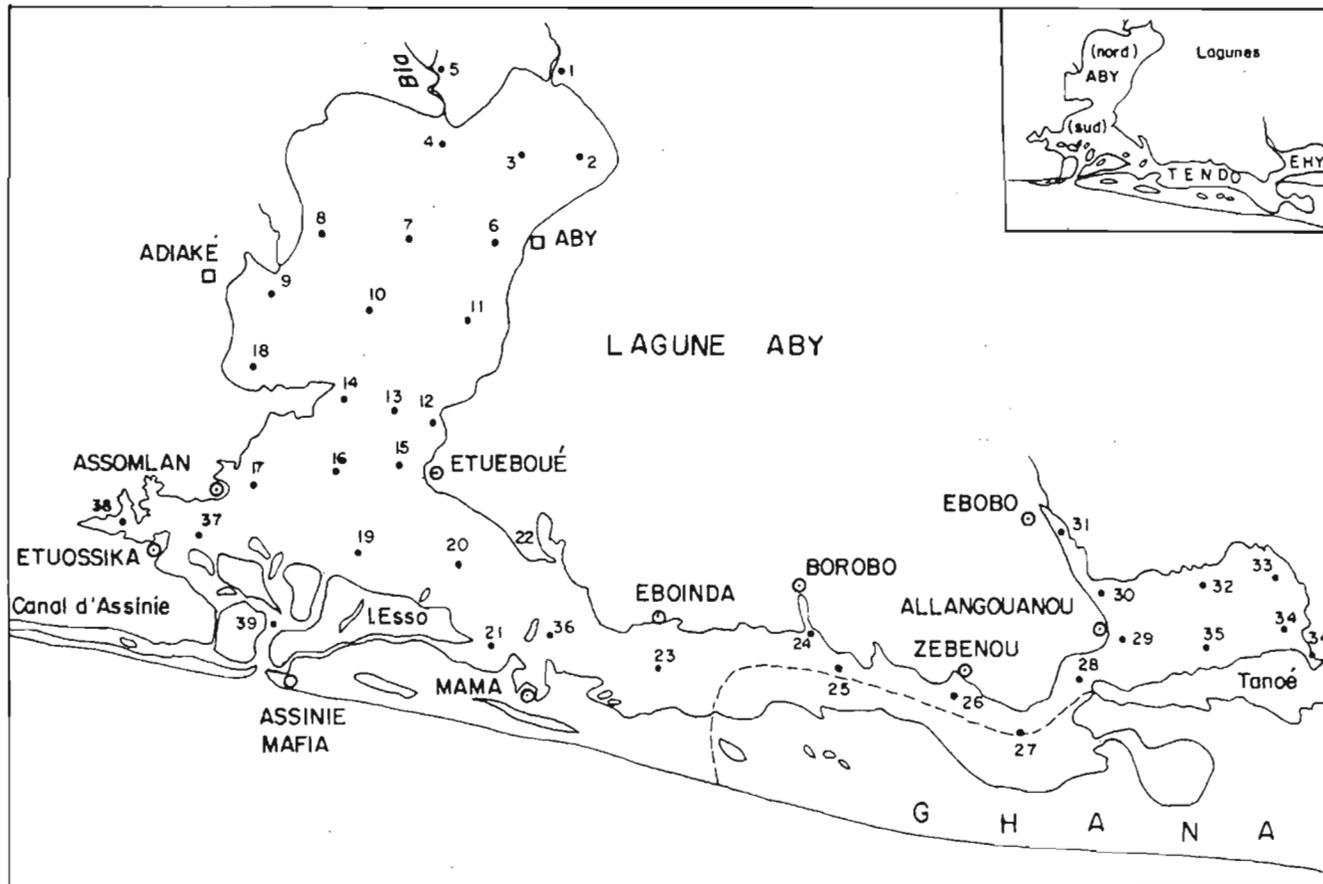


Fig.10 - Emplacement des points de prélèvement en lagune Aby.

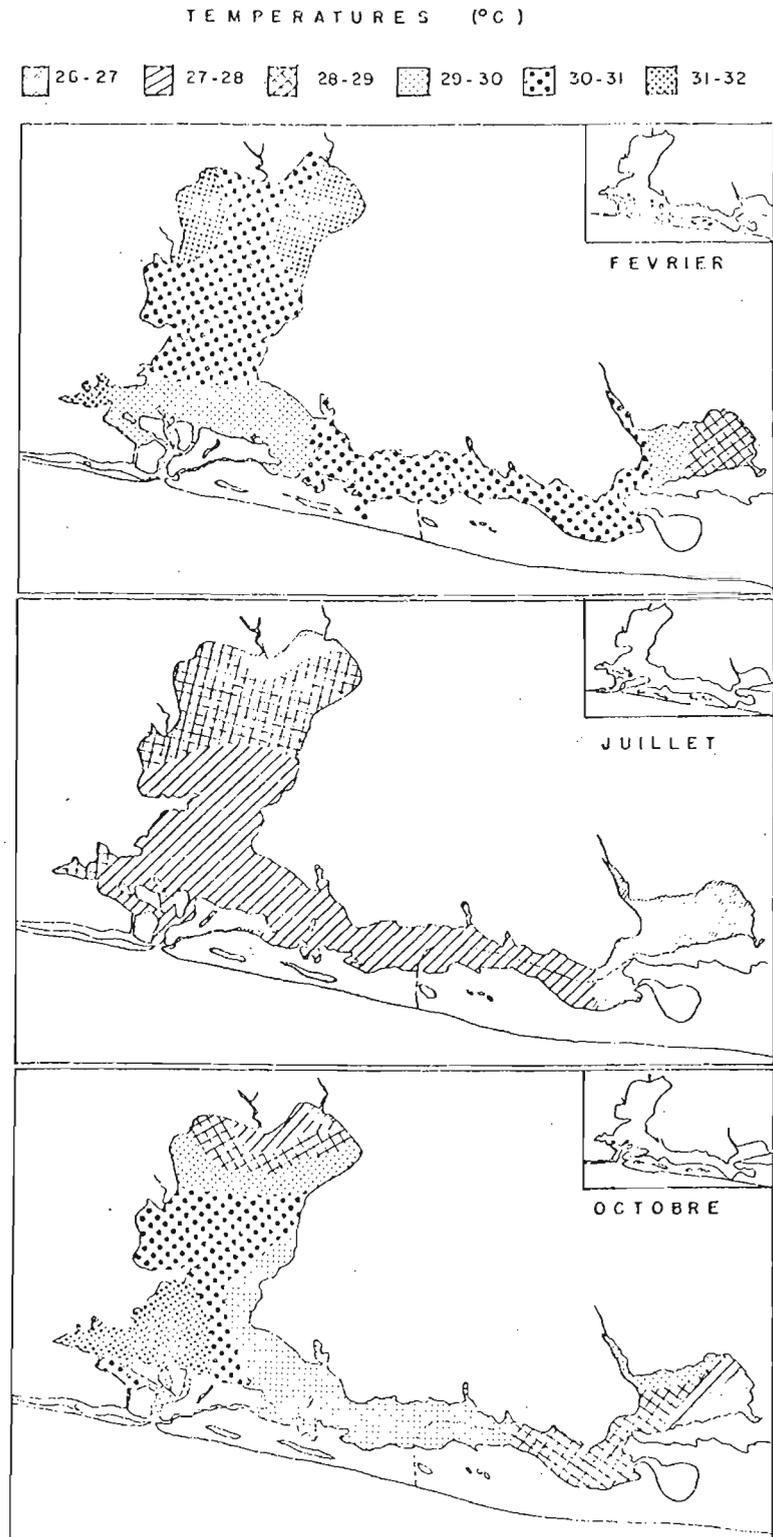


Figure 11 - Variations spatio-temporelles de la température de surface en lagune Aby.

	T°C			S‰			D.S. cm			Chl. "a" mg/m ³			P.P. gO ₂ m ⁻² j ⁻¹			PO ₄ ³⁻ µatg/l			
	F	J	O	F	J	O	F	J	O	F	J	O	F	J	O	F	J	O	
ABY nord	30,7	28,0	30,1	3,9	1,2	0,3	95	80	75	47	26	14	10,3	5,2	3,2	1,00	0,46	0,8?	m
	0,7	0,6	0,8	1,2	0,6	0,2	25	15	10	17	10	6	2,3	2,0	0,9	0,50	0,18	-	σ
ABY sud	30,1	27,7	30,1	6,1	1,5	0,3	120	90	80	30	23	12	8,1	5,0	2,9	1,03	0,65	0,7?	m
	0,5	0,3	1,1	2,6	0,8	0,2	15	10	10	11	7	4	2,0	1,5	1,0	0,54	0,32	-	σ
TENDO	30,3	27,3	28,8	1,9	0,1	0,0	85	55	70	27	20	9	5,8	3,0	1,9	0,74	0,37	1,16	m
	0,3	0,5	0,8	1,5	0,1	0,0	25	20	10	4	7	6	1,0	0,7	1,1	0,45	0,14	0,50	σ
EHY	29,5	26,7	28,9	0,0	0,0	0,0	45	40	80	110	40	15	10,7	4,4	2,8	1,07	0,18	1,13	m
	0,8	0,3	1,5	0,0	0,0	0,0	20	10	10	32	30	17	3,9	2,4	2,8	0,43	0,09	0,60	σ

Tableau 4 - Variations saisonnières en 1979 des paramètres physico-chimiques des différentes zones de la lagune Aby : moyennes et écarts-types.

F : février ; J : juillet ; O : octobre.

A la grande saison des pluies, centrée sur juin, la température s'abaisse en moyenne de presque 3°C mais le gradient spatial reste à peu près identique à celui de février. On note cependant une légère homogénéisation et l'influence froide plus marquée des deux fleuves dont les débits sont maximums. En octobre, à la petite saison des pluies, on observe un réchauffement moyen de 2°C dû à celui de l'air. Un gradient plus prononcé s'installe car bien que les débits des fleuves soient élevés, les eaux se réchauffent plus vite au contact de l'air qu'en juillet.

3.1.2. Salinités.

L'influence marine maximum en saison sèche crée un gradient du delta ($S = 10\%$) aux embouchures des fleuves ($S = 0\%$), qui s'affaiblit au fur et à mesure que la saison des pluies et des crues s'installe, pour s'annuler complètement en octobre où la lagune est, en surface, parfaitement homogène et dessalée (Fig.12).

3.1.3. Transparence.

Les minimas sont observés en toutes saisons à l'embouchure des fleuves notamment la zone sous influence de la Tanoé dont les eaux sont peut-être plus turbides que celles de la Bia, mais où l'on rencontre les profondeurs les plus faibles (0 à 2m), certainement responsables d'une certaine remise en suspension des sédiments. Les maximas au contraire sont concentrés dans les lagunes Aby (sud) et Tendo (ouest) où l'influence marine est la plus forte. En octobre, la répartition est beaucoup plus homogène, de valeur moyenne 0,75 m, comme celle des salinités (Fig.13).

3.1.4. Chlorophylle.

C'est en février que les concentrations en chlorophylle "a"⁽¹⁾ sont les plus élevées, 53 mg/m³ en moyenne, comme on s'y attendait en pleine saison sèche, pouvant même atteindre un maximum de 145 mg/m³ en lagune Ehy. Cette richesse diminue brutalement au moment du renouvellement des eaux, pour tomber à une valeur moyenne de 27 en juillet et 13 en octobre (Fig.14).

(1) Il s'agit de la chlorophylle "a" pure, i.e. corrigée des pigments dégradés.

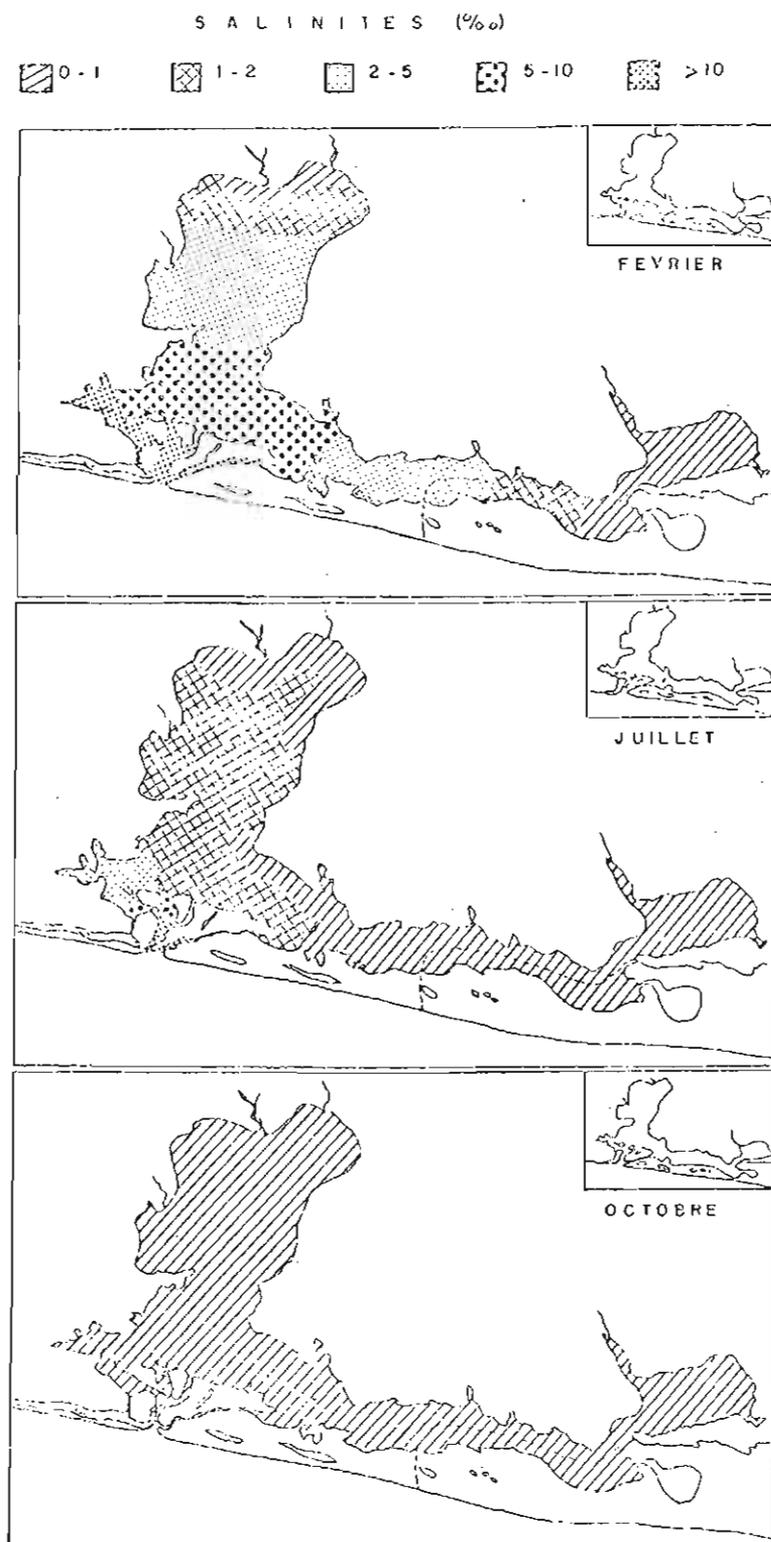


Figure 12 - Variations spatio-temporelles de la salinité de surface en lagune Aby.

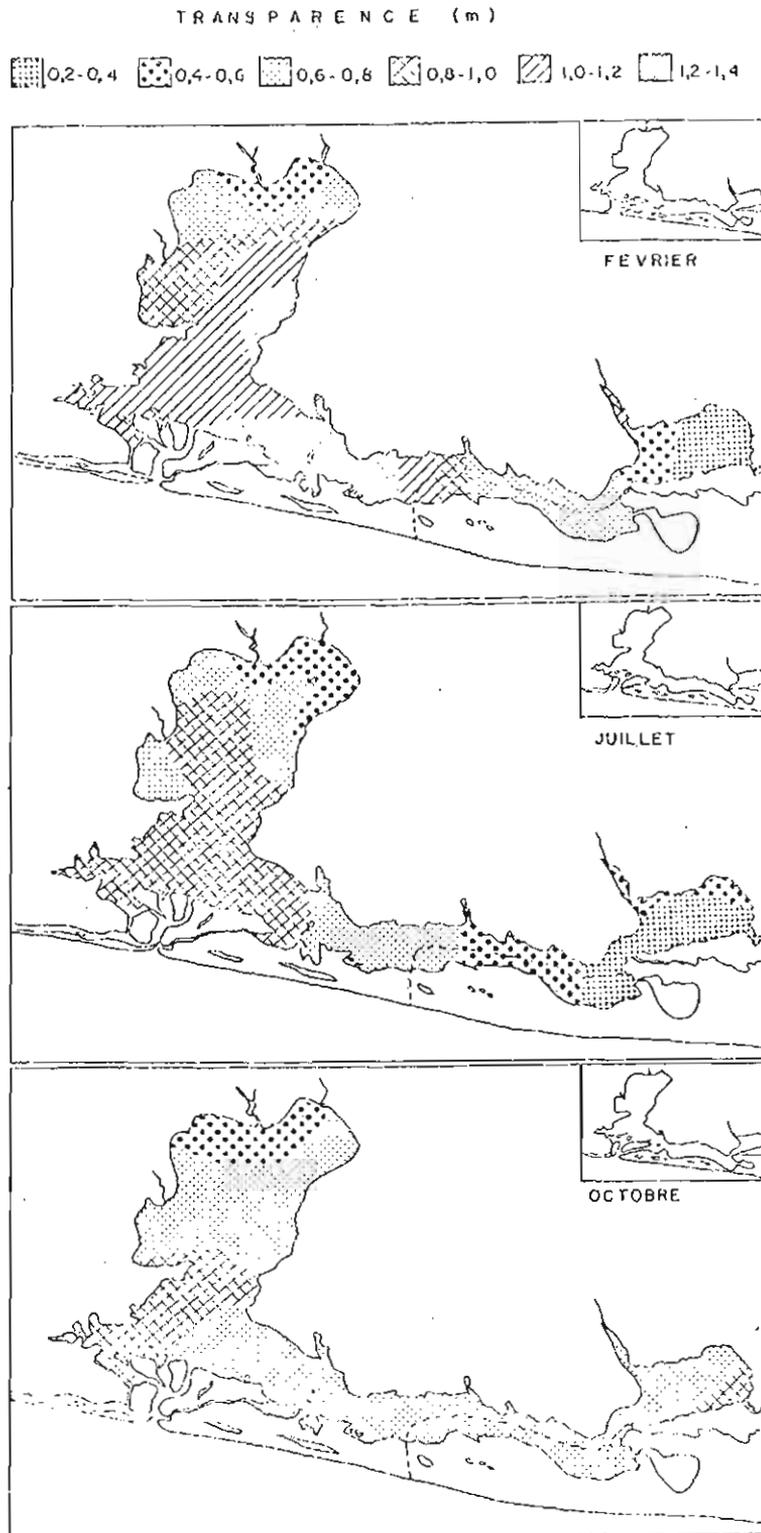


Figure 13 - Variations spatio-temporelles de la transparence en lagune Aby.

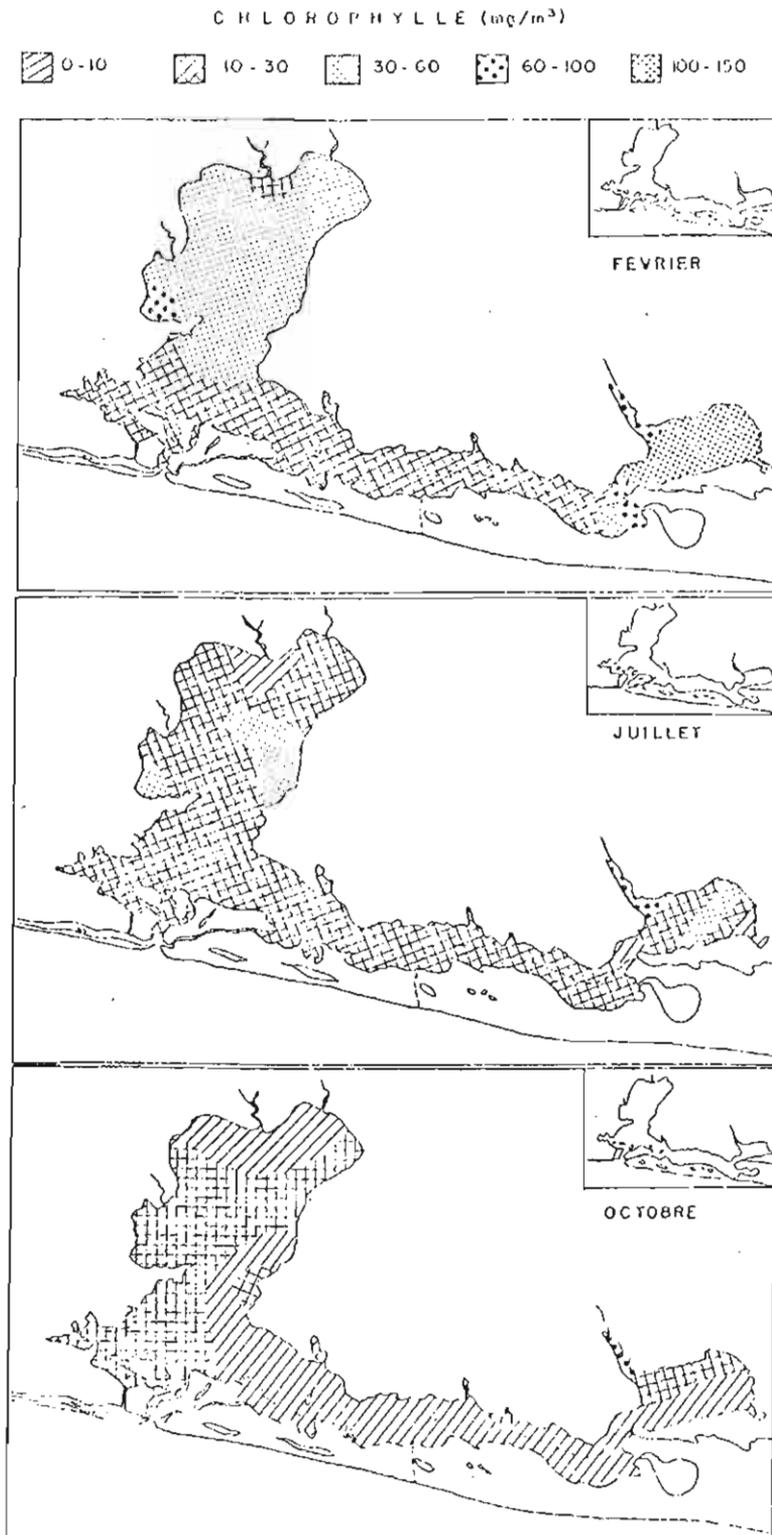


Figure 14 - Variations spatio-temporelles de la chlorophylle de surface en lagune Aby.

3.1.5. Production primaire.

Nous n'avons pas effectué de mesures de production mais nous avons tenté d'en évaluer un ordre de grandeur. En effet, si l'on fait l'hypothèse que le modèle empirique de Dufour (1981), établi sur la lagune Ebrié, est valable sur la lagune Aby, ce qui est très probablement le cas, ces deux lagunes ayant des caractéristiques physico-chimiques assez voisines, on peut chiffrer cette production à partir de la concentration de surface en chlorophylle "a" et de la transparence mesurée au disque de Secchi. La relation de Dufour s'écrit :

$$\Sigma A \text{ (gO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}) = 0,420 \quad \text{Chl "a" (mg} \cdot \text{m}^{-3}) \cdot T_{(m)} \quad 0,828$$

Le calcul aboutit au tracé de la figure 15. La répartition spatio-temporelle reflète assez bien celle de la chlorophylle. La production est maximum en février, plus forte dans les zones abritées qu'en pleine eau, et aussi peut-être à proximité d'agglomérations dont les rejets enrichissent le milieu.

3.2. PROFILS VERTICAUX

Les variations des paramètres physico-chimiques en profondeur sont représentées sur la figure 16. Elles se rapportent à un point fictif, moyenne de l'ensemble des points de mesure. Ce procédé peut paraître hardi puisqu'il assimile la lagune à un seul point, mais se justifie lorsqu'on sait que la profondeur moyenne est faible (3,8m) et que l'eau n'est pas stratifiée pendant les premiers mètres. Le seul paramètre qui peut donner une idée erronée est la chlorophylle car la lagune Ehy est de beaucoup la plus riche. Nous avons pourtant retenu cette description car elle illustre clairement les variations en profondeur et selon les saisons.

3.2.1. Température.

La colonne d'eau se trouve très stratifiée en saison sèche de par la forte température extérieure et des apports d'eau pratiquement nuls. Cette stratification disparaît en juillet où les eaux superficielles sont chassées

par des apports très abondants, pour renaître en octobre où, bien que les apports soient encore importants, l'air ambiant parvient à rechauffer la couche de surface.

3.2.2. Salinité.

Une forte stratification permanente existe. Au-dessous de 6 m la salinité (de 18 à 22‰) est constante toute l'année, ce qui tend à prouver que les eaux de fond ne sont jamais renouvelées. Cette hypothèse semble être confirmée par le fait qu'en toute saison, on ne trouve pas d'oxygène dans cette strate alors que l'hydrogène sulfuré y est présent. La zone de transition oscille entre 4 et 6 m de profondeur de février à octobre.

3.2.3. Densité.

Nous avons cru bon de représenter également le profil des densités⁽¹⁾ de l'eau lues sur des tables à partir de la température et de la salinité. Ce dernier facteur l'emporte sur le premier, ce qui impose pour le profil obtenu d'être pratiquement calqué sur celui des salinités. La forme du profil montre la stabilité de la stratification en toute saison.

3.2.4. Oxygène dissous.

La stratification de l'eau entre 4 et 6 m se reconnaît. En surface, les pourcentages de la saturation atteignent 80% et même 100% en saison sèche où la production primaire est la plus intense. La couche inférieure, au-dessous de 6 m, est anoxique toute l'année.

(1) On a utilisé le "sigma" des océanographes : $\sigma = 1000 (d-1)$ où d est la densité.

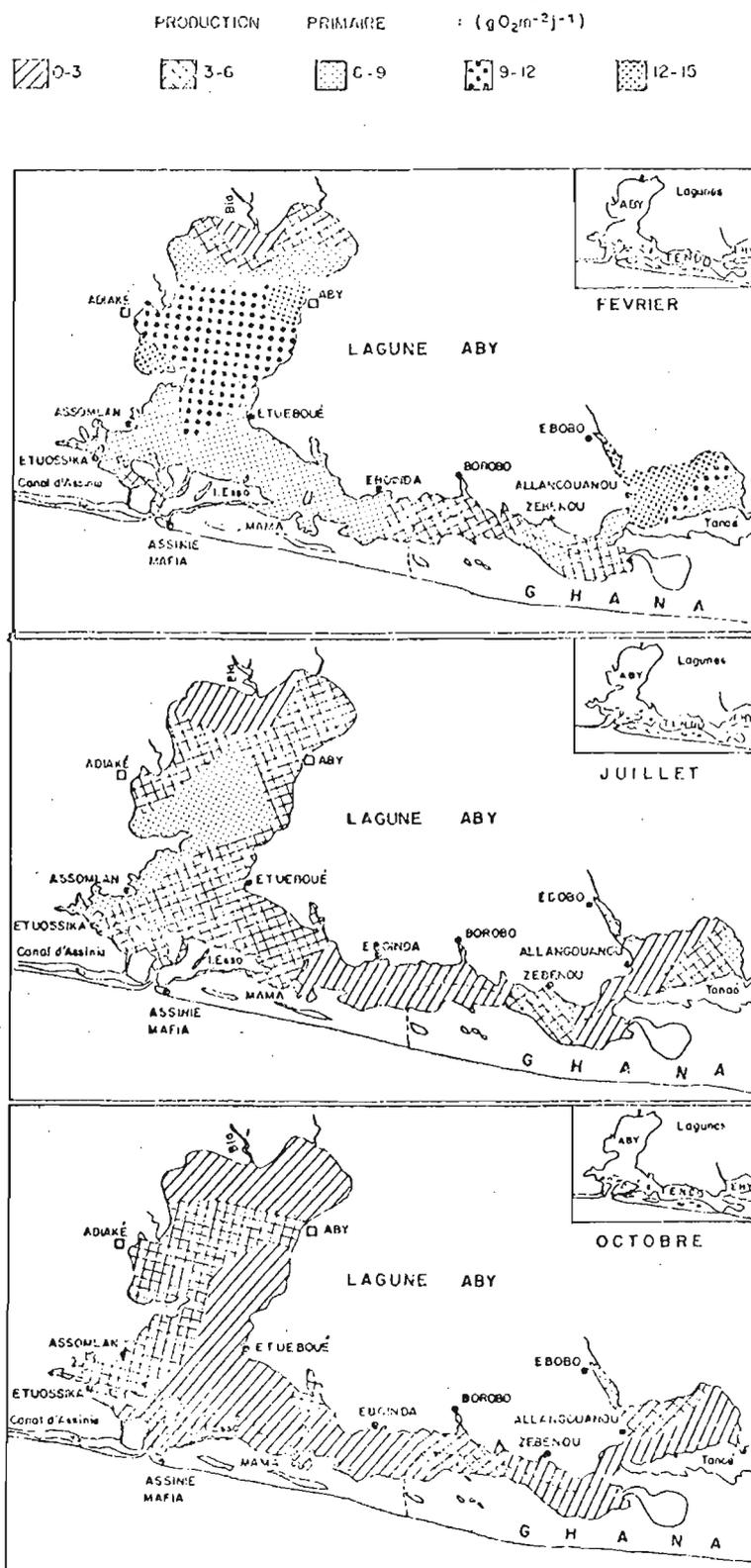


Figure 15 - Variations spatio-temporelles de la production primaire en lagune Aby.

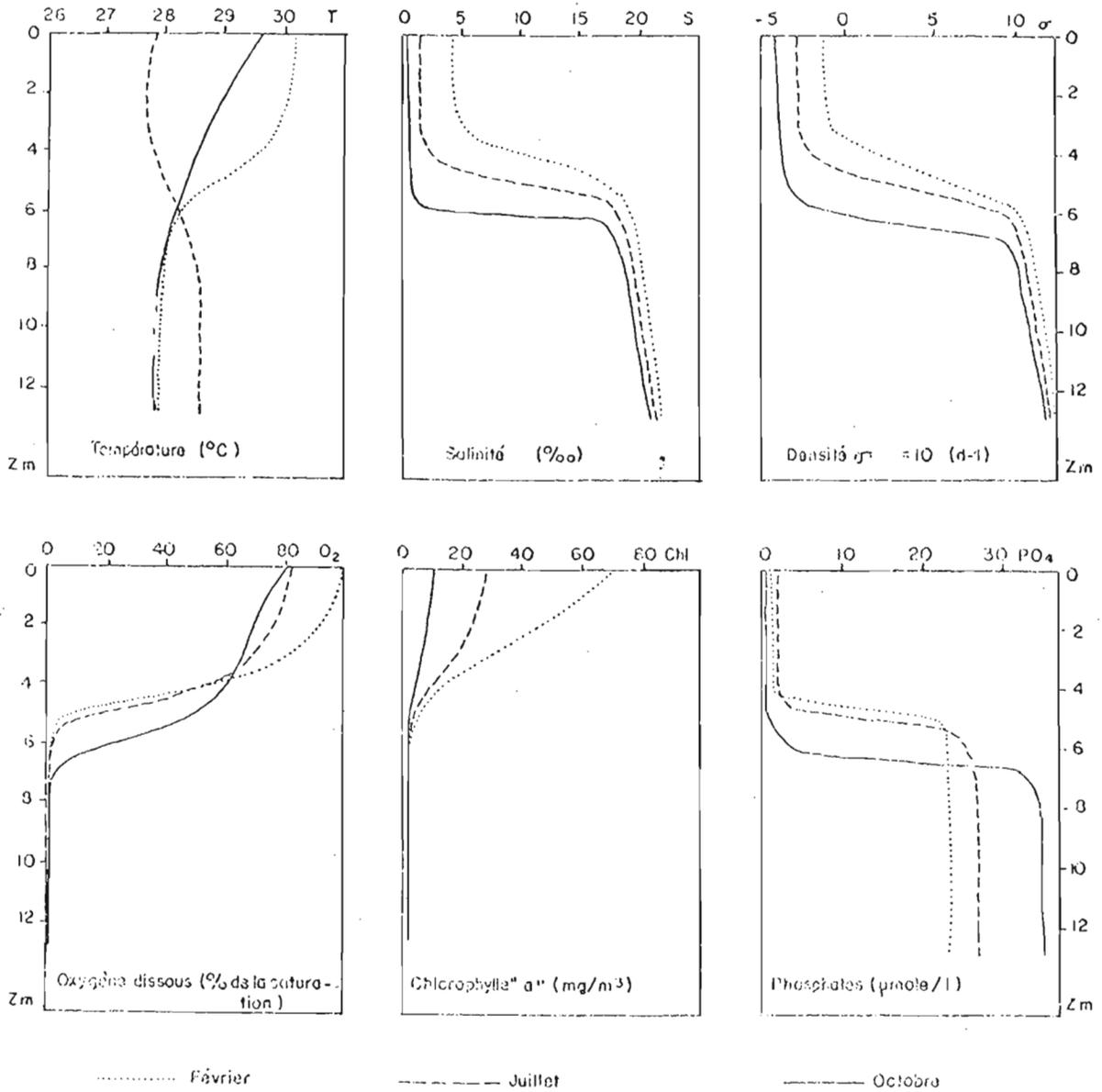


Figure 16 - Profils verticaux moyens de température, salinité, densité, oxygène, chlorophylle et phosphate de la lagune Aby.

3.2.5. Chlorophylle.

En surface les concentrations sont en février de l'ordre du double de celles de juillet, elles-mêmes également doubles de celles d'octobre. En effet les eaux fluviales apportées sont très pauvres en phytoplancton. En profondeur l'hydrogène sulfuré engendre un environnement réducteur et empêche le développement de la quasi totalité des végétaux chlorophylliens ⁽¹⁾.

3.2.6. Phosphate minéral dissous.

Ce paramètre ne figurait pas dans les variations spatiales car celles-ci n'étaient pas nettes, et de plus, nous manquions de données. La situation évolue peu au cours de l'année. En surface les teneurs sont faibles, comprises entre 0,5 et 1,3 $\mu\text{atg/l}$ en lagune Aby *sensu stricto*, plus faibles encore en lagunes Tendo et Ehy où elles peuvent descendre jusqu'à 0,2 en juillet. Mais en profondeur, elles sont très fortes (atteignant 35 $\mu\text{atg/l}$ en octobre) car d'une part rappelons que les eaux ne sont pas renouvelées, et d'autre part le complexe formé à partir de PO_4^{3-} et de fer notamment, retourne en solution en milieu réducteur.

Au cours de ce chapitre, nous avons avancé que l'eau de fond n'était jamais renouvelée, ce qui n'est effectif qu'en première approximation. En effet, on observe une oscillation verticale saisonnière de la zone de transition entre les eaux de fond et de surface. Les profils de salinité (et de densité), d'oxygène et de phosphates montrent que cette zone se situe entre 4 et 5 mètres en février, pour atteindre 6 m en octobre. Ceci peut s'expliquer par un entraînement partiel de la couche profonde par les eaux de crue et, au cours de la saison sèche, une diffusion lente mais réelle des substances dissoutes vers le haut : sels, phosphates et hydrogène sulfuré, ce dernier consommant l'oxygène, et ce, malgré un calme probable de la zone de transition pendant cette période. Gardons en vue en effet que toute portion de la lagune, pour si fermée qu'elle soit, reste toujours un système ouvert où des échanges s'opèrent. Par exemple, l'absence d'oxygène en eau profonde peut s'expliquer par le fait que dès qu'une molécule pénètre dans le milieu réducteur, elle est aussitôt utilisée

(1) Certaines cyanophycées sont capables de supporter de tels milieux.

pour l'oxydation des substances réduites et inversement, dès qu'une molécule d'hydrogène sulfuré entre dans le domaine oxydant, elle se transforme en dérivés oxygénés. En définitive, le flux d'entrée de l'un de ces constituants est compensé par un flux de sortie équivalent.

CONCLUSION

Nous avons dans cette deuxième partie moins systématiquement comparé la lagune Aby à sa voisine Ebrié⁽¹⁾ car d'une part, elles présentent trop de dissemblances et aussi trop de similitudes, et d'autre part les données concernant la première sont moins nombreuses et moins régulièrement réparties dans le temps.

Remarquons, cependant, que si en lagune Ebrié les zones anoxiques et chargées en phosphates existent, elles ne sont pas centrales comme en lagune Aby mais marginales : baie d'Abouabou dont les eaux de fond ne sont jamais renouvelées à cause du seuil qui barre son entrée ; baie de Biétri qui supporte les pollutions les plus diverses. Il est remarquable que près du quart du volume total de la lagune Aby est constitué d'eau dépourvue d'oxygène.

Malgré cela, une comparaison des deux systèmes au regard de la production primaire peut être faite. Les concentrations en chlorophylle les plus fortes sont atteintes en lagune Ehy en février (teneurs égales à 2,5 fois le maximum enregistré en lagune Ebrié, celui-ci par contre en juillet). Cependant les chiffres de production calculés à l'aide du modèle de Dufour ne reflètent pas ces différences puisqu'ils sont du même ordre de grandeur pour les deux régions concernées. En lagune Ehy, la faible transparence atténue l'importance du facteur chlorophyllien. La figure 17 indique les variations de cette production pour chaque zone des deux lagunes. La lagune Aby dans l'ensemble, suit des variations parallèles à celles des secteurs I, II, III et IV⁽²⁾ de la lagune Ebrié, c'est à dire décroissantes de février à octobre, avec des valeurs

(1) Ce n'est pas là le propos premier de cette note.

(2) Se reporter à Pagès *et al.* (1979) pour la localisation de ces secteurs.

à peu près deux fois supérieures. Une exception cependant pour les secteurs V et VI : ceux-ci sont les plus productifs comparés aux autres secteurs Ebrié et aussi à la lagune Aby, mais surtout présentent la particularité d'atteindre le maximum en juillet. L'observation des profils suggère plutôt une inhibition en février qui ne semble pas exister en lagune Aby tout au moins au vu de ces profils.

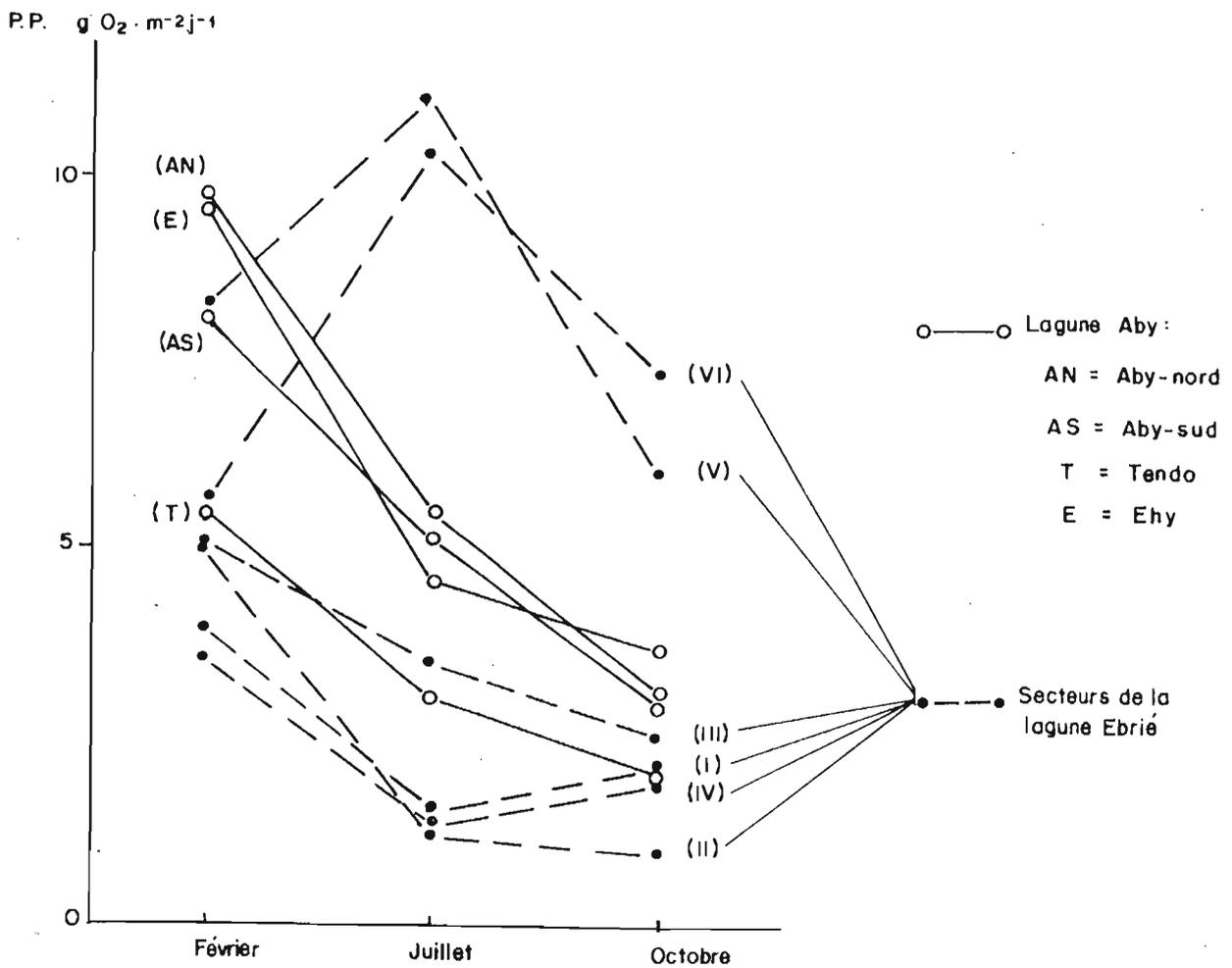


Fig.17 - Variations saisonnières théoriques de la production primaire dans les lagunes Ebrié et Aby.

La description de la lagune Aby au cours du cycle 1979 est très semblable à celle de Pagès *et al.* correspondant aux années 1974, 1975 et 1976. Le volume moyen d'eau douce apporté en lagune à cette période est en moyenne de 30% inférieur à celui relatif à 1979. Bien que cette différence soit faible pour en tirer une conclusion, il semble pourtant que la lagune Aby apparaisse comme un milieu très stable à l'échelle interannuelle. Les eaux de fond ne sont pratiquement pas renouvelées contrairement à celles de surface qui sont repoussées chaque année pendant les crues en glissant sur la masse d'eau inférieure plus lourde. On peut regretter qu'il n'y ait pas eu de mesures effectuées en 1977, année hydrologiquement très déficitaire puisque les apports correspondants étaient de trois fois inférieurs à ceux de 1979.

Remerciements :

Tous ceux qui ont de près ou de loin participé à l'élaboration de ce document, et ils sont nombreux, ne peuvent être cités ici. Je les en remercie néanmoins.

BIBLIOGRAPHIE

- DUFOUR, P , 1981 - Modèles semi-empiriques de la production phytoplanctonique en milieu lagunaire tropical (Côte d'Ivoire).
Acta Oecologica (à paraître).
- PAGES, J., LEMASSON, L. et DUFOUR, Ph., 1979 - Eléments nutritifs et production primaire dans les lagunes de Côte d'Ivoire : cycle annuel.
Arch. Sc. Centre Rech. Océanogr. Abidjan, 5 (1) : 1-16, 44 fig.
- VARLET, F., 1978 - Le régime de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire) : traits physiques essentiels.
Trav. et Doc. ORSTOM, n°83, ORSTOM, Paris. 164 p., 110 fig.

