

PHYSICOCHEMIE ET BIOGEOCHIMIE DES EAUX ET DES SEDIMENTS
A LA STATION D'AQUACULTURE DE LAYO
(LAGUNE EBRIE - COTE D'IVOIRE)

par

Daniel GUIRAL

Centre de Recherches Océanographiques
B.P. V 18 ABIDJAN (Côte d'Ivoire)

R E S U M E

Les eaux de la station d'aquaculture de Layo (lagune Ebrié Côte d'Ivoire) sous l'influence de l'Agnéby présentent une salinité maximale (5‰) au cours de la grande saison sèche. La composition ionique de ces eaux oligohalines correspond précisément à une eau marine très fortement diluée. Le régime hydrologique du fleuve qui conditionne l'évolution physico-chimique des eaux est lui-même dépendant avec un retard estimé à 10 jours du volume des précipitations. En période de crue du fleuve les eaux à la station sont très colorées (coloration brune liée à la présence de composés carbonés dissous) et fortement désaturées en oxygène. Les sels nutritifs en particulier azotés sont eux aussi apportés massivement au cours de cette période (concentration maximale en nitrates $32 \mu\text{mole.l}^{-1}$).

Les sédiments montrent une succession de couches d'origine et de condition de formation très diverses. La phase de sédimentation actuelle se traduit par un dépôt constitué de quartz d'origine fluviatile à faible charge organique détritique. De ce fait la consommation d'oxygène se réalise essentiellement au sein de la colonne d'eau avec une intensité qui est fonction de l'activité photosynthétique.

Le niveau actuel d'utilisation de ce milieu ne semble pas conduire à une péjoration des conditions écologiques bien qu'il soit possible de noter dès à présent des modifications du milieu sédimentaire :

- décapage de l'horizon superficiel lié à l'activité de bioturbation des poissons ;

- disparition de *Corbula trigona* par prédation des mâchoirons (*Chrysichthys* sp.).

Mots-clés : Matière organique, Minéralisation, Sels nutritifs, Sédimentologie, Milieux saumâtres tropicaux.

.../...

PHYSICAL, CHEMICAL AND BIOCHEMICAL FEATURES OF WATERS AND SEDIMENTS
IN THE AQUACULTURE POND OF LAYO
(EBRIE LAGOON, IVORY COAST)

A B S T R A C T

The aquaculture ponds of Layo are situated in the Ebrié lagoon, a tropical brackish lagoon in Ivory Coast. As directly influenced by riverine flows (Agneby river), their water salinities range between 0 and 5‰, owing to the rainy and dry season. The ionic composition of this water is similar to a diluted marine water and so, depends on the Agneby river flowing which correlate with the rains 10 days later.

During the rains, the pond water is brownish due to a great amount of dissolved organic carbon compounds. Moreover, this water has been characterized by a low dissolved oxygen tension and by a high concentration of nitrogen and phosphorus compounds, particularly nitrate with increased to $32 \mu\text{mole.l}^{-1}$.

Analysis of sediment show a stratification of different layers whose origin and formation are diversified. The upper layer is composed of quartz particles drained by the river water. As its organic detritus amount is very low, so, the oxygen consumption is essentially realized in the water column depending on the photosynthetic activity.

In conclusion, it seems that the intensive utilization of the fish ponds do not really disturb the ecological conditions. However in spite of this general view, a few perturbations in the sediments have been observed i.e., a disturbance of the sediment upper layer by the bioturbation activity of fishes, and an intensive predation of the autochthonous population of clams (*Corbula tri-gona*) by the cultured fishes (*Chrysichthys sp.*).

Key words : Organic Matter, Mineralization, Nutrients, Sedimentology, Tropical brackish water.

INTRODUCTION

Créée en 1976 et située dans la partie ouest de la lagune Ebrié (Fig.1a) la station expérimentale d'aquaculture de Layo a fait l'objet d'une étude sédimentologique et d'un suivi physico-chimique au cours d'un cycle annuel en 1980. Cette année a correspondu à la mise en exploitation des enclos qui, implantés en milieu naturel servent au grossissement de 2 espèces de mâchoirons (*Chrysichthys walkeri* et *nigrodigitatus*) et 2 espèces de tilapia (*Tilapia guineensis* et *heudeloti*). Les données ici présentées constituent donc des valeurs de référence qui permettront de déterminer l'impact ultérieur d'un élevage intensif sur l'évolution physico-chimique de cette station.

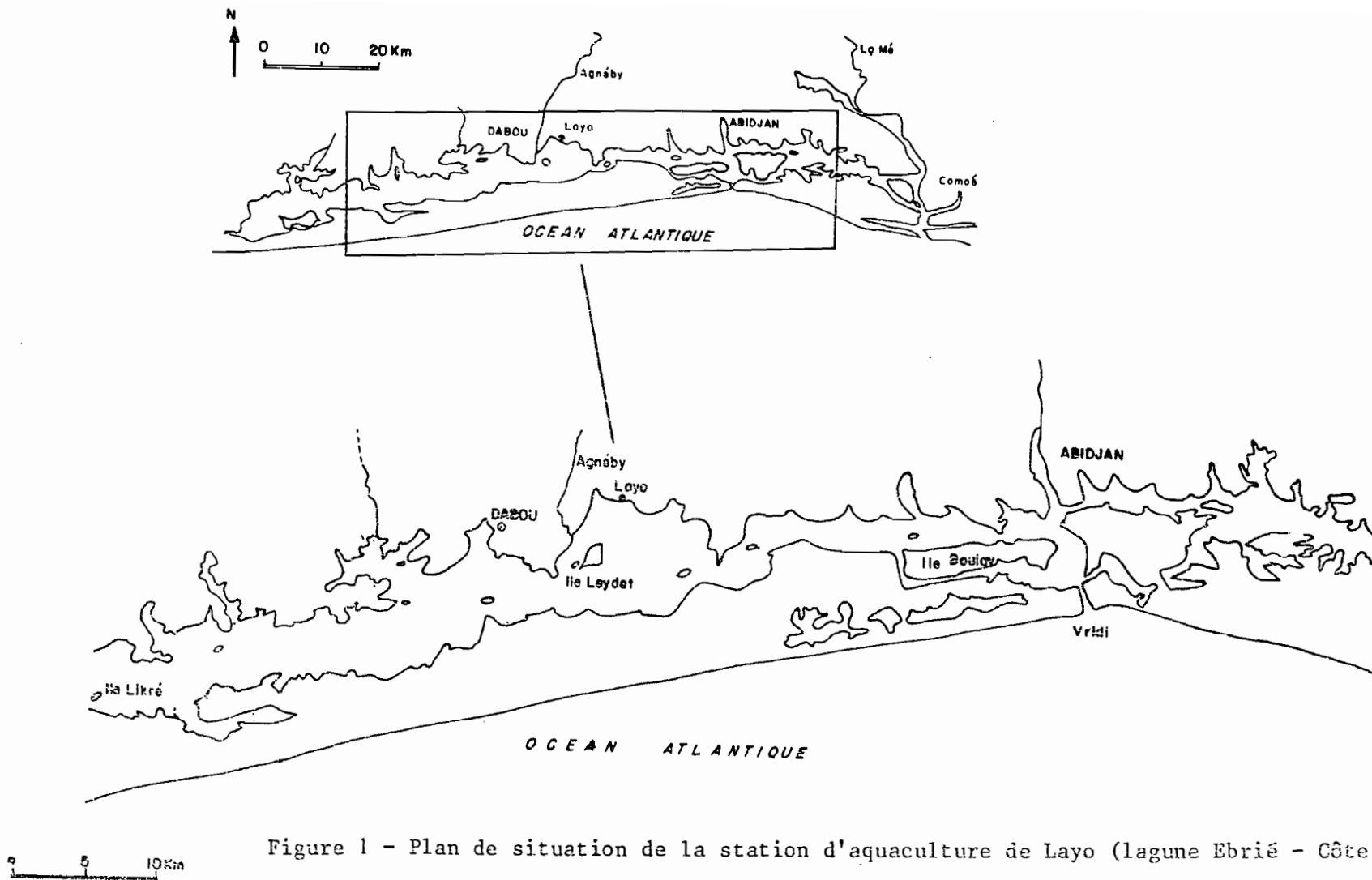


Figure 1 - Plan de situation de la station d'aquaculture de Layo (lagune Ebrié - Côte d'Ivoire).

Située à 45 km à l'ouest d'Abidjan et à 3 km de l'embouchure de l'Agnéby en lagune Ebrié (Fig.1a et 1b), la station de Layo est très largement influencée par le régime de ce fleuve. Afin de préciser cette dépendance, une étude annuelle réalisée en 1981 a porté sur les déterminations dans le fleuve et à Layo des concentrations en sels nutritifs et en ions majeurs.

Ces données sont complétées par celles du service hydrologique relatives aux débits journaliers à Agboville (ville distante d'une centaine de km de l'embouchure ; à ce niveau le bassin versant est estimé à 4.600 km² pour un bassin total de 8.900 km²).

1 - MATERIEL ET METHODES

1.1. PRELEVEMENTS

Les échantillons d'eau et les carottes de sédiments ont été prélevés à la station 1 (Fig.2) située à proximité des enclos mais dans une zone non directement perturbée par les travaux d'aménagement du centre d'aquaculture.

Cette station de faible profondeur (Z = 1,5 m) à 45 m de la rive a permis un prélèvement direct des échantillons.

L'eau pour les analyses a été recueillie dans des flacons en plastique à 50 cm sous la surface et conservée à basse température jusqu'au laboratoire.

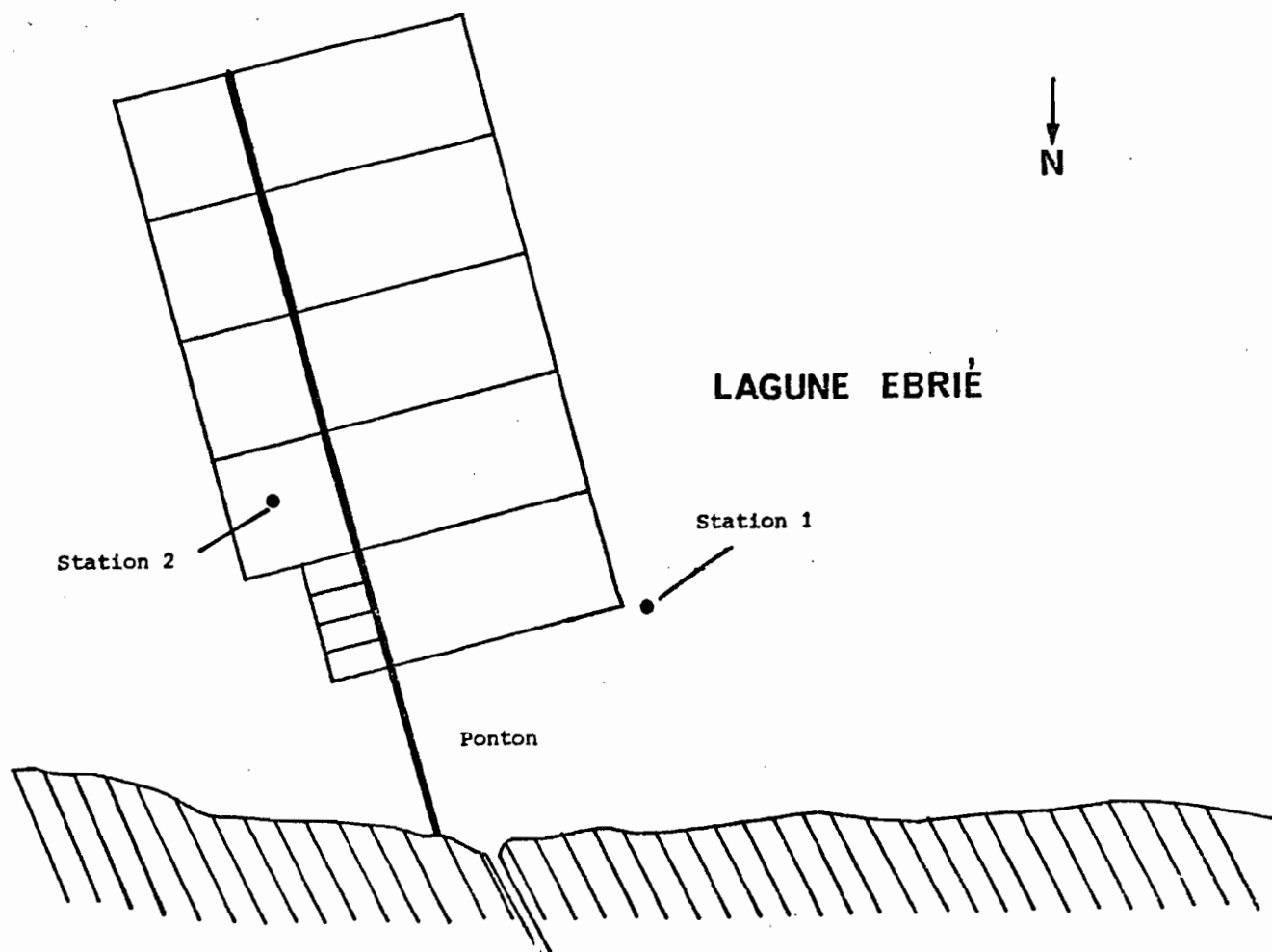
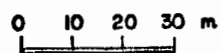
1.2. METHODOLOGIE D'ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DE L'EAU

La température a été déterminée in situ directement dans les flacons.

Les concentrations en oxygène ont été mesurées par la méthode de Winckler et en carbone minéral total par chromatographie en phase gazeuse (Oudot et Wauthy, 1978).

Les concentrations en NO₂⁻, NO₃⁻, NH₄⁺ et PO₄³⁻ ont été déterminés selon les protocoles recommandés par Strickland et Parsons (1968) à l'auto-analyseur Technicon (R).

Installation en lagune (enclos)



Installation au sol (étangs et bacs)

Figure 2 - Stations de prélèvements à Layo.

Sur le terrain le matériel particulaire est recueilli sur filtre de fibre de verre (préalablement grillés à 400°C) de porosité 0,45µ (Whatman) et conservé à -20°C. Le carbone et l'azote organique particulaire sont ensuite déterminés à l'analyseur CHN (Hewlett Packard 185 B).

Le carbone organique dissous après oxydation aux U.V. est transformé en CO₂ et fixé par du borax, le carbone minéral total est ensuite analysé comme précédemment. Les concentrations en carbone organique dissous sont alors déterminées par différence (comparativement à un échantillon non irradié).

1.3. METHODOLOGIE D'ANALYSE DES SEDIMENTS

- les concentrations en carbone total et carbone acido-soluble (HCl 2N), dans la pellicule de surface du sédiment ont été déterminées par oxydation au bichromate de potassium à chaud sur des échantillons préalablement séchés à l'étuve.

- les teneurs en eau ont été déterminées par différence de pesée après séchage à 60°C jusqu'à poids constant.

- les concentrations en chlorophylle a et phaeophytine sont dosées par mesure fluorimétrique (Holm Hansen et Riemann, 1978) après extraction acétonique et centrifugation du sédiment frais ressuyé. Les valeurs sont ensuite ramenées au poids sec déterminé sur une partie aliquote (Plante-Cuny, 1974).

- le sédiment après lavage et tamisage est observé à la loupe bino-culaire afin de déterminer la nature et les altérations du matériel minéral fournissant ainsi des informations sur l'origine et les conditions de formation des dépôts sédimentaires actuels.

- le carbone total est dosé par coulométrie après combustion dans l'oxygène et fixation du CO₂ par la baryte.

- l'azote après minéralisation et entraînement de l'ammoniac formé à la vapeur (méthode de Kjeldahl) est dosé colorimétriquement à l'autoanalyseur Technicon.

- techniques de fractionnement chimique de la matière organique sédimentaire (Fig.3).

Les sédiments frais sont décarbonatés avec HCl 2N à froid pendant 12 heures.

Après filtration et lavage à l'eau distillée le culot est extrait par un mélange de soude N/10 et de pyrophosphate de sodium à 1% (Kononova, 1966). Par centrifugation on obtient les composés humiques dans l'extrait. L'opération est poursuivie jusqu'à extraction complète et obtention d'une solution surnageante incolore. Les divers extraits sont ensuite rassemblés et les argiles en suspension floculées par l'adjonction de chlorure de sodium. Après centrifugation (7000 tours/mn - 15 mn) les acides humiques sont précipités à pH 2,0 et séparés par centrifugation des acides fulviques (composés humiques acido solubles). Le culot résiduel de l'extraction basique est ensuite hydrolysé par HCl 6N pendant 6 heures à reflux. La fraction hydrolysée est récupérée par centrifugation. Le culot après rinçage et séchage est alors broyé et le carbone résiduel dosé par oxydation au bichromate de potassium en milieu sulfurique concentré.

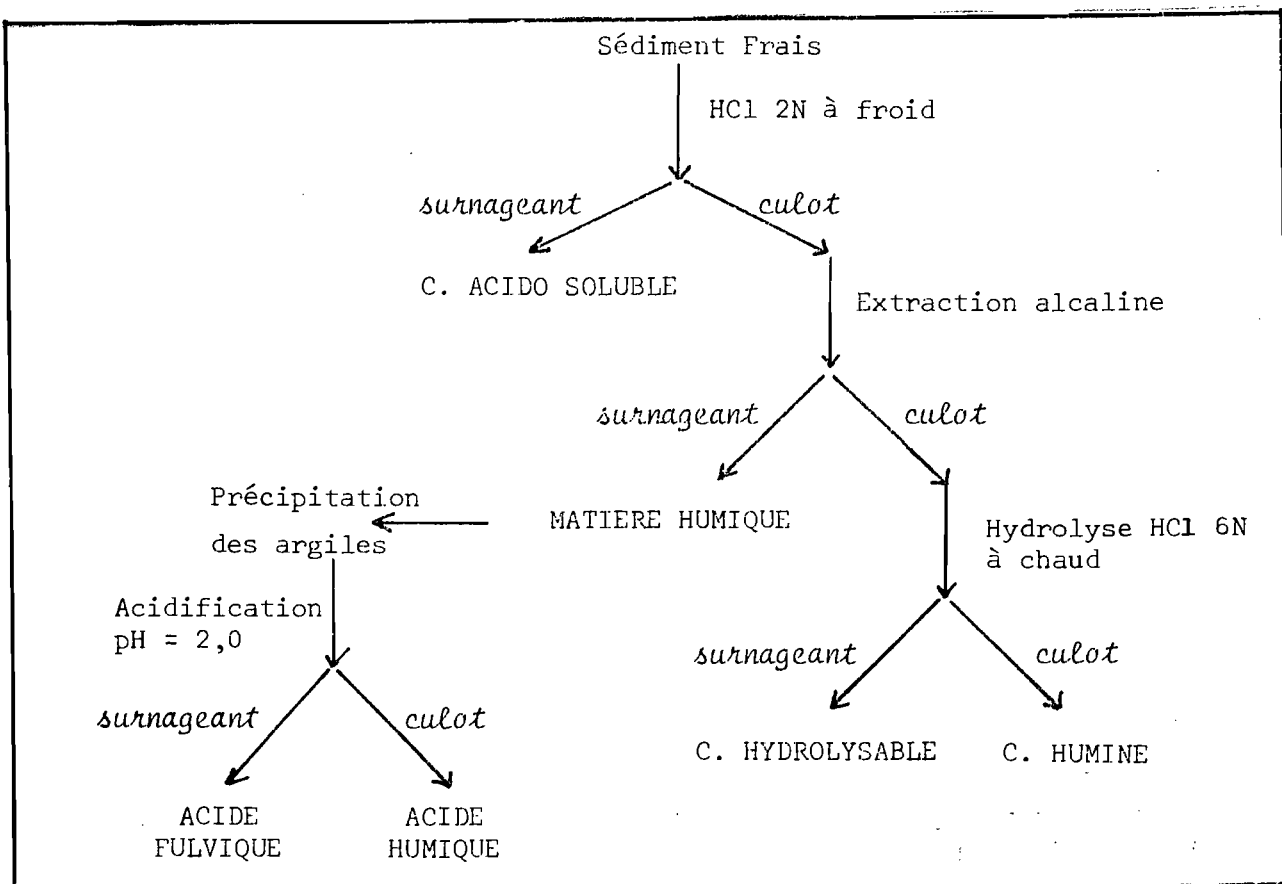


Figure 3 - Technique de fractionnement chimique de la matière organique sédimentaire.

1.4. METHODOLOGIE D'ETUDE DES RELATIONS EAU-SEDIMENT

L'eau et le sédiment sont prélevés à l'aide d'un tube en PVC de 1 m de long et 5,5 cm de diamètre enfoncé d'une dizaine de cm dans le sédiment. Après fermeture par un bouchon de la partie haute, le tube est arraché du fond et un second bouchon est introduit à la base de la carotte (l'ensemble restant sous l'eau pour cette opération). L'eau est ensuite immédiatement siphonnée par tranches successives de 20 cm. Sur ces divers échantillons les concentrations initiales en O_2 et CO_2 ainsi que celles des ions NO_3^- , NO_2^- et PO_4^{3-} sont déterminées.

De la même manière, une colonne d'eau et une colonne d'eau plus sédiment sont prélevées et mises en incubation à l'obscurité pendant 24 heures à la température du milieu. En fin d'incubation les 2 colonnes sont sous-échantillonnées par strate de 20 cm et les concentrations déterminées comme pour la colonne initiale.

2 - RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. EVOLUTION SAISONNIERE DES DIVERS PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

2.1.1. Salinité, oxygène et composition ionique.

Les salinités (Tab.I) caractéristiques d'un milieu oligohalin sont toujours faibles, la valeur maximale (5‰) étant observée fin février au cours de la grande saison sèche. La valeur minimale en juillet (inférieure à 0,1‰) correspond à la fin de la grande saison des pluies et de la crue de l'Agnéby.

Les concentrations en oxygène présentent une évolution comparable à celle observée pour la salinité. Croissantes au cours de la saison sèche (dépassant début mai la valeur de saturation), elles chutent lors de l'arrivée des eaux de crue de l'Agnéby. Au cours de cette période les eaux restent fortement désaturées, puis à partir de la mi-juillet et jusqu'à la fin de l'année les valeurs se stabilisent autour de concentrations équivalentes à 65% du taux de saturation.

Date	16.1	13.2	5.3	27.3	8.5	20.5	28.5	4.7	30.7	28.8	18.9	15.10	13.11	31.12
Température °C	28,9	30,0	30,7	31,0	31,2	28,3	30,0	27,0	27,3	27,5	28,2	29,5	29,7	30,2
S‰	1,28	3,24	4,28	5,00	4,40	3,42	1,16	0,07	1,58	1,80	n.d.	0,46	0,31	0,30
O ₂ mg/l	5,60	6,77	6,76	7,34	8,23	4,41	3,79	4,71	6,11	6,68	6,62	5,40	5,04	4,96
Pourcentage de saturation	67	87	88	97	107	55	48	56	74	81	n.d.	67	63	62

Tableau I - Evolution saisonnière de la température, de la salinité
et de l'oxygène dissous à la station 1 (Layo, 1980).

n.d. (valeurs non déterminées)

L'évolution de ces paramètres traduit le rôle prépondérant joué par l'Agnéby dans le fonctionnement physico-chimique du milieu. Nous nous sommes donc attachés à préciser les caractéristiques hydro-géologiques de ce fleuve. L'Agnéby présente un bassin versant entièrement situé en zone forestière, secteur subombrophile du domaine guinéen (Girard *et al.*, 1971) et est caractérisé par un régime hydrologique fortement dépendant du régime des précipitations. Ce régime est défini comme équatorial de transition avec deux périodes de crues d'inégale importance, la première généralement la plus forte en juin-juillet, et la seconde en octobre-novembre. Le volume total moyen écoulé (calculé pour les 17 dernières années) est estimé à $0,9 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ (Durand et Chantraine, 1982) ; les valeurs minimales et maximales observées étant respectivement de $2,3 \cdot 10^9$ (1968) et $0,1 \cdot 10^9$ (1981). Pour les deux années plus particulièrement étudiées (1980-1981), il est possible de montrer un décalage de 10 jours entre précipitations et volumes décadaires écoulés à Agboville (Fig.4 et 5). En effet, les coefficients de corrélation sont de 0,360 (1980) et 0,481 (1981), alors que les coefficients de corrélation retard pour $t = 10$ jours sont maximums et hautement significatifs (1980 $r_s = 0,529$; 1981 $r_s = 0,683$; seuil de signification de r pour $\alpha = 1\%$ 0,418, $N = 34$).

La composition ionique moyenne des eaux de l'Agnéby (Chantraine, comm. pers.) (prélevées à ≈ 25 km de son débouché en lagune) reste très stable au cours d'un cycle annuel ainsi qu'à un degré moindre les contributions respectives des divers ions

$$\begin{aligned} \Sigma \text{ anions } & 0,64 \pm 0,30 \text{ me l}^{-1} \quad (11 \text{ analyses}) \\ \Sigma \text{ cations } & 0,53 \pm 0,16 \text{ me l}^{-1} \quad (13 \text{ analyses}) \end{aligned}$$

Le bicarbonate constitue l'anion le plus abondant (45 à 55%), viennent ensuite les chlorures (30 à 35%) et les sulfates (Fig.6a). Pour les cations le sodium est toujours dominant (45 à 55%) avec cependant des fluctuations inverses à celles notées pour le calcium représentant entre 15 et 25%. Les ions Potassium et Magnesium sont peu abondants et sensiblement équivalents (10 à 20%). Comparativement aux eaux de l'Agnéby la station d'aquaculture de Layo présente en moyenne une eau 100 fois plus minéralisée reflétant sa double origine, marine et continentale. Compte tenu de la très faible charge minérale apportée par l'Agnéby, la composition ionique correspond très précisément à celle de l'eau de mer (l'Agnéby n'intervenant que comme facteur de dilution) (Fig.6b).

$$\begin{aligned} \Sigma \text{ anions } & 64,20 \text{ me l}^{-1} \\ \Sigma \text{ cations } & 67,23 \text{ me l}^{-1} \end{aligned} \quad (\text{valeurs moyennes calculées à partir de 5 prélèvements})$$

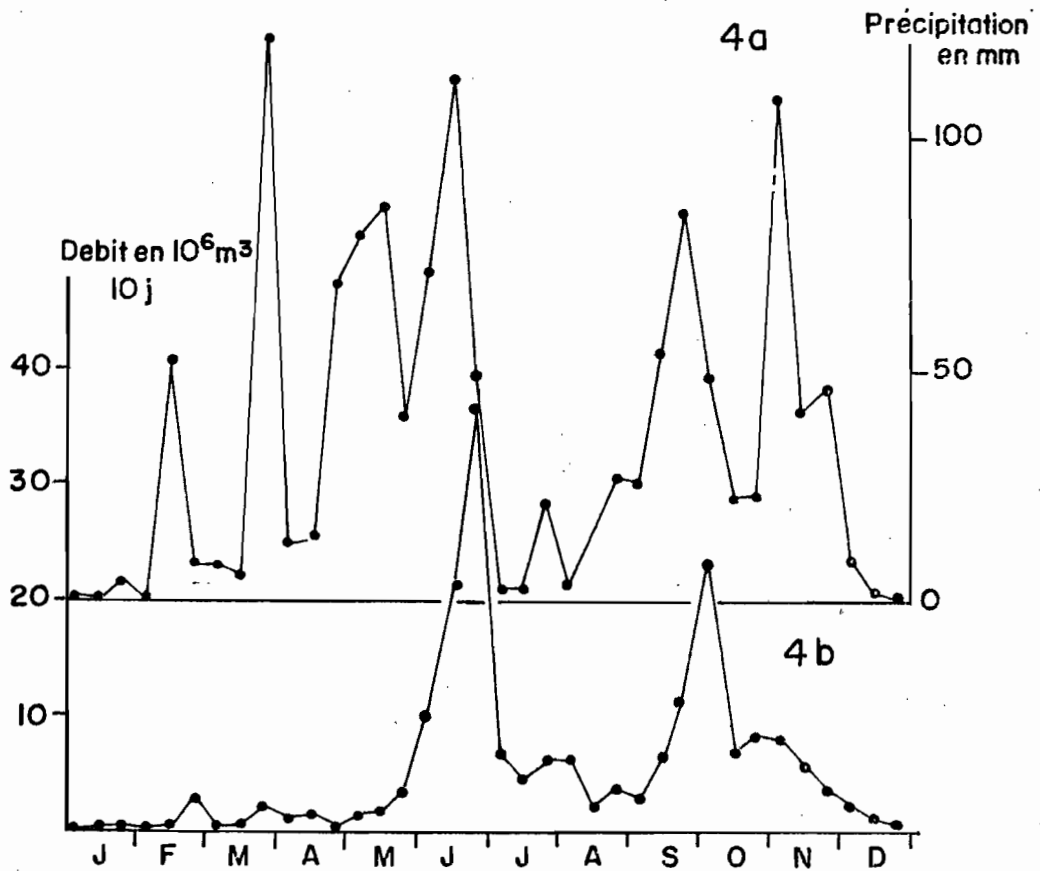


Figure 4 - Comparaison des précipitations (a) et des hydrogrammes (b) décadaires à Agboville (1980).

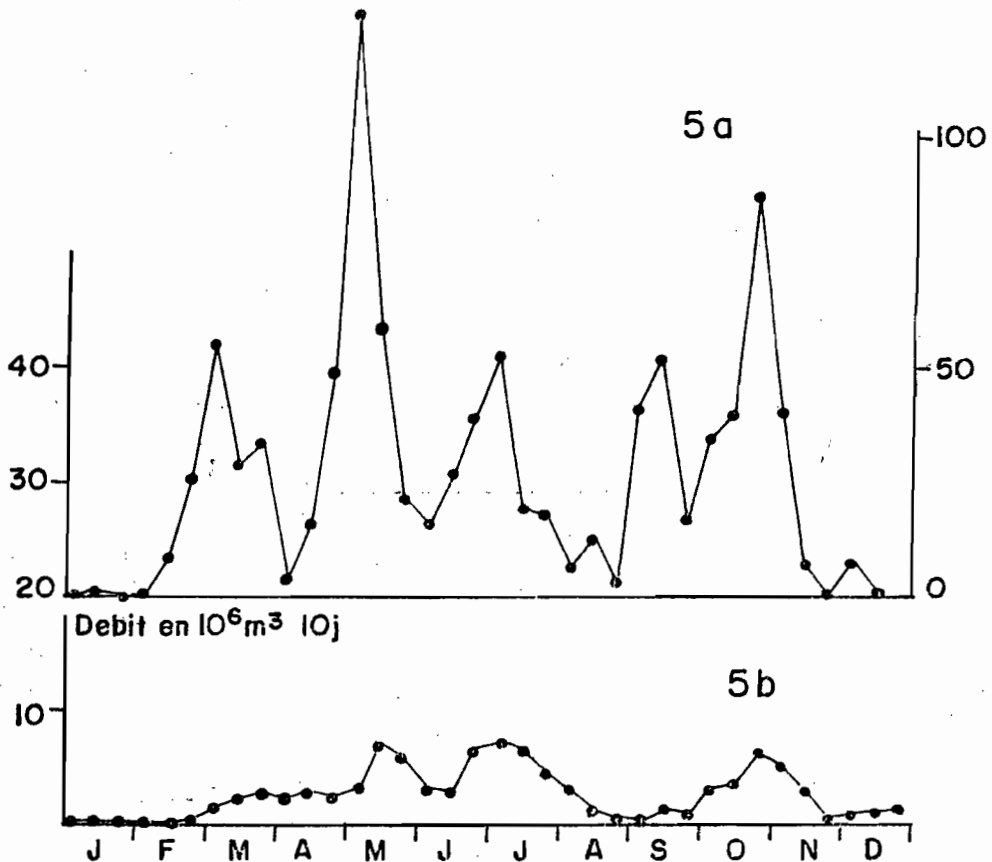
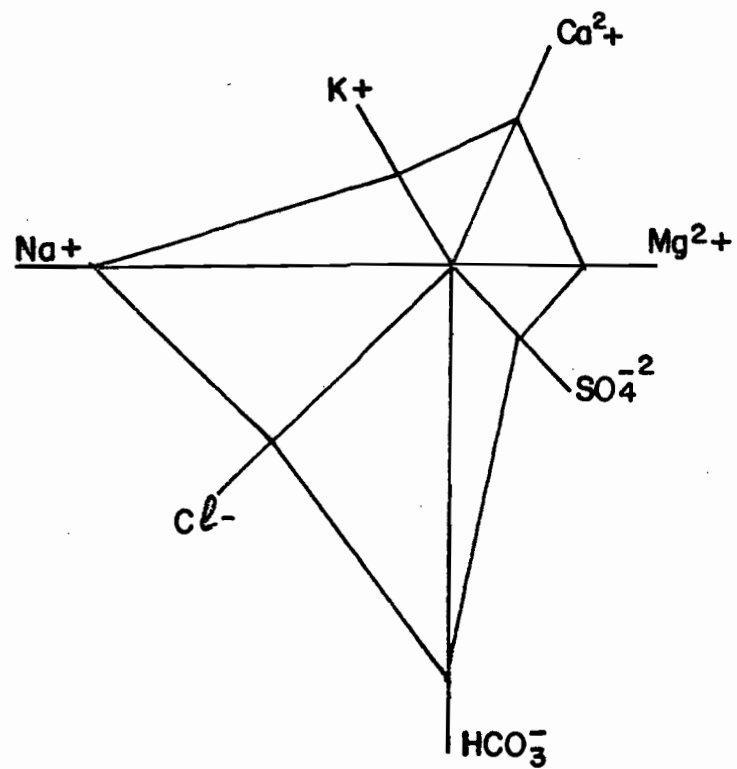
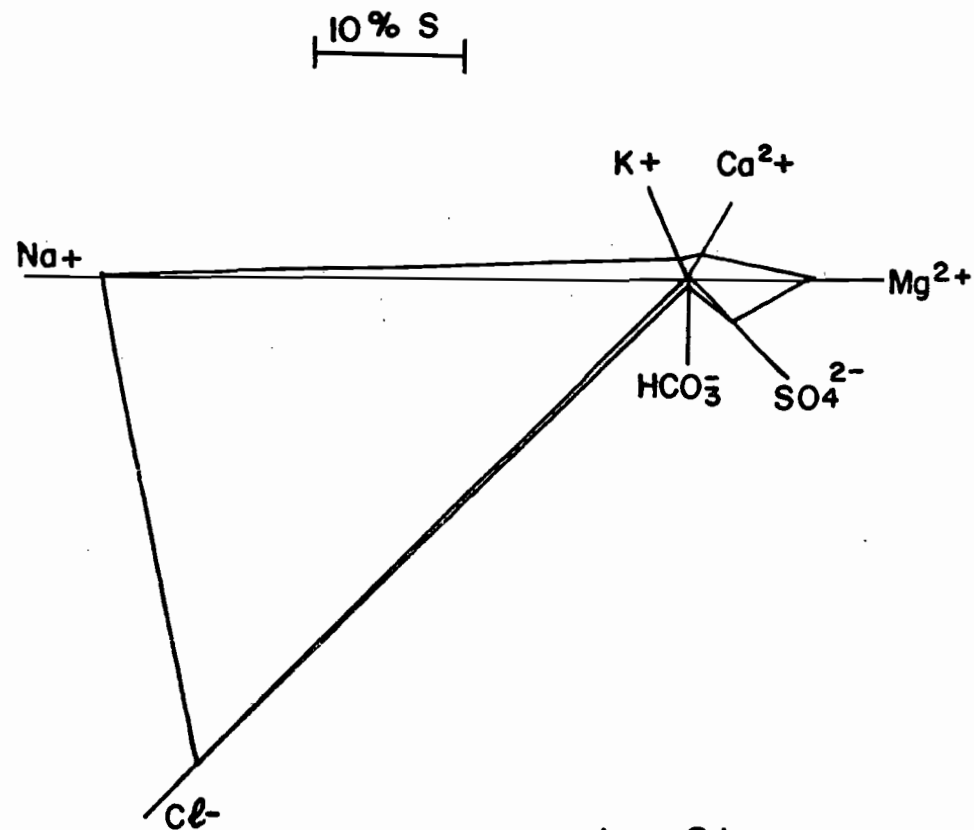


Figure 5 - Comparaison des précipitations (a) et des hydrogrammes (b) décadaires à Agboville (1981).



Agneby (6a)

$$S_{\text{Agneby}} = 1,2 \text{ mel}^{-1}$$



Layo 6 b

$$S_{\text{Layo}} = 131,4 \text{ mel}^{-1}$$

Figure 6 - Composition chimique des eaux de l'Agneby (6a) et de la station d'aquaculture de Layo (6b).
(Représentation graphique établie d'après les pourcentages des ions exprimés en milliéquivalent par litre).

S : Somme des cations et anions.

2.1.2. Formes minérales et organiques du carbone dans les eaux (Tab.II).

Les concentrations en carbone minéral total comprises en général entre 200 et 300 $\mu\text{atg.l}^{-1}$ ne montrent pas de variations saisonnières nettes ; de plus celles-ci sont indépendantes de celles observées pour la salinité et l'oxygène. Cette forme minérale représente en moyenne 15% du carbone total.

Les composés organiques dissous, formes majeures du carbone dans les eaux de Layo présentent à l'opposé une évolution saisonnière très importante caractérisée par des concentrations fortes lors de la crue de l'Agnéby et des concentrations faibles lors de la grande saison sèche correspondant à la période d'étiage du fleuve. Cet enrichissement observé en période de crue correspond à un apport de composés organiques hydrosolubles se traduisant par une coloration très brune des eaux liée très certainement à la présence de composés acido-humiques en solution d'origine tellurique (Gelbstoff).

Date	13.2	5.3	27.3	8.5	28.5	4.7	30.7	28.8	18.9	15.10	13.11	31.12
C ^{min} minéral Total	240	258	291	70	175	208	223	268	282	576	267	237
C organique dissous	n.d.	n.d.	753	895	138	951	970	1079	2005	1845	1355	n.d.
C organique particulaire (en $\mu\text{atg.l}^{-1}$)	n.d.	n.d.	1437	636	n.d.	252	47	107	202	83	80	41

Tableau II - Evolution saisonnière des concentrations en carbone minéral et organique dans les eaux (station 1 Layo, 1980).

(*) : Valeur moyenne de 4 dosages
 n.d.: Valeurs non déterminées

A l'opposé, le carbone particulaire montre des concentrations maximales au cours de la saison sèche. En dehors de cette période les valeurs déterminées au cours des périodes de crue sont sensiblement plus élevées. Ce matériel particulaire caractérisé par un rapport carbone sur azote élevé supérieur à 10 (ex : le 4 juillet 15,7, 18 septembre 13,7) correspond donc essentiellement à des particules d'origine détritique entraînées lors de la crue. Pour les autres périodes, la relation établie par Lemasson *et al.* (1981) pour l'ensemble de la lagune conduisant à des rapports C/N inférieur à 10,0 peut s'appliquer à nos données.

2.1.3. Evolution saisonnière des concentrations en sels nutritifs (NO_3^- , NO_2^- et PO_4^{3-}) (Tab.III).

Les concentrations en azote minéral sous forme d'ions nitrates et nitrites dans les eaux de Layo montrent une même évolution saisonnière (coefficient de corrélation de rang $r_s = 0,636$) de forte amplitude caractérisée par des concentrations élevées lors des crues (les concentrations maximales étant observées lors de la première crue). Les phosphates suivent aussi la même évolution avec des valeurs maximales lors de la seconde crue d'octobre.

Date	16.1	13.2	5.3	27.3	8.5	28.5	4.7	30.7	28.8	18.9	15.10	13.11
NO_3	4,04	10,20	0,31	2,02	24,35	32,48	14,16	5,29	14,92	7,06	12,12	22,53
NO_2	0,15	0,34	0,20	0,06	0,25	1,80	0,52	0,31	2,30	0,62	1,56	0,58
PO_4	0,26	0,31	0,55	0,24	0,56	2,57	2,63	0,86	0,90	1,01	3,19	1,95

Tableau III - Evolution saisonnière des concentrations en sels nutritifs dans les eaux (station 1 Layo, 1980). Valeurs exprimées en $\mu\text{mole.l}^{-1}$

Afin d'interpréter plus précisément ce rythme évolutif nous avons analysé en 1981 les fluctuations saisonnières (Tab.IV) caractérisant les 2 sources d'apport de sels nutritifs à la lagune (apport par les eaux de l'Agnéby et apport direct par les précipitations). Les concentrations en nitrates dans l'eau de l'Agnéby sont en moyenne élevées ($\bar{x} = 15,24 \mu\text{atg.l}^{-1}$) avec des valeurs nettement plus basses au cours de la grande saison sèche et sensiblement équivalentes tout le reste de l'année. A l'opposé les concentrations en PO_4^{3-} ($\bar{x} = 0,87 \mu\text{atg.l}^{-1}$ $\sigma = 0,46$) et NH_4^+ ($\bar{x} = 4,66 \mu\text{atg.l}^{-1}$ $\sigma = 3,65$) fluctuent très largement indépendamment des saisons donc du débit du fleuve.

A partir de données bibliographiques fournissant des valeurs moyennes calculées à partir de mesures réalisées de 1970 à 1973 (Pagès et Lemasson, 1982) il est possible d'estimer les apports à la lagune en sels nutritifs par les eaux de pluies. Les concentrations en PO_4^{3-} et NH_4^+ ne montrent pas de variations en fonction des 2 saisons de pluies alors que pour les nitrates on observe des valeurs minimales au cours de la première saison des pluies.

Mois	Pluie (mm)	Volume mensuel écoulé (10 ⁶ m ³)	Concentration eau de pluie (*)			Concentration dans l'eau du fleuve			Quantités reçues au sol			Quantités apportées par l'Agnéby à la lagune		
			PO ₄ ³⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	PO ₄ ³⁻ -P	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N
			μmole l ⁻¹			μmole l ⁻¹			μatg.m ²			10 ³ atg.mois		
J	1	0,77	5,05	42,9	28,6	/	/	0,93	5,0	42,9	28,6	/	/	0,72
F	34	0,93	1,58	32,1	17,9	/	/	12,7	53,7	1091,4	608,6	/	/	11,81
M	119	6,93	4,74	28,6	10,7	0,52	3,71	5,7	564,1	3403,4	1273,3	3,6	25,7	39,5
A	69	8,14	1,26	25,0	32,1	0,49	1,52	1,9	86,9	1725,0	2214,9	4,0	12,4	15,5
M	207	16,93	5,47	12,9	8,6	0,68	15,5	/	1132,3	2670,3	1780,2	11,5	262,4	/
J	82	13,66	3,58	10,0	19,3	1,02	13,3	8,5	293,6	820,0	1582,6	14,0	181,7	116,1
J	90	18,65	2,94	12,9	6,4	0,68	45,8	3,7	264,6	1161,0	576,0	12,8	854,2	69,0
A	24	5,69	4,32	15,7	23,5	0,98	16,5	9,0	103,7	376,8	564,0	5,6	93,9	51,2
S	112	3,53	2,63	25,0	15,0	0,47	14,8	2,6	294,6	2800,0	1680,0	1,7	52,2	9,2
O	163	13,39	2,84	33,6	9,3	0,43	13,9	1,7	462,9	5476,8	1515,9	5,8	186,1	22,8
N	48	9,02	2,74	40,0	19,3	1,59	11,2	2,7	131,5	1920,0	926,4	14,3	101,0	24,3
D	8	3,69	4,00	33,6	11,4	1,79	16,2	1,8	32,0	268,8	91,2	6,6	59,8	6,6
Total annuel	957	101,33							3424,9	21756,4	12841,7			

Tableau IV - Concentrations et quantités de PO₄-P, NO₃-N et NH₄-N, reçues au sol (pluie) et dans la lagune (Agnéby) en 1981.

(*) Données moyennes (1970-1973)

Laboratoire de Pédologie de l'ORSTOM à Abidjan.

Quantité mensuelle reçue au sol

Quantité mensuelle apportée par l'Agnéby

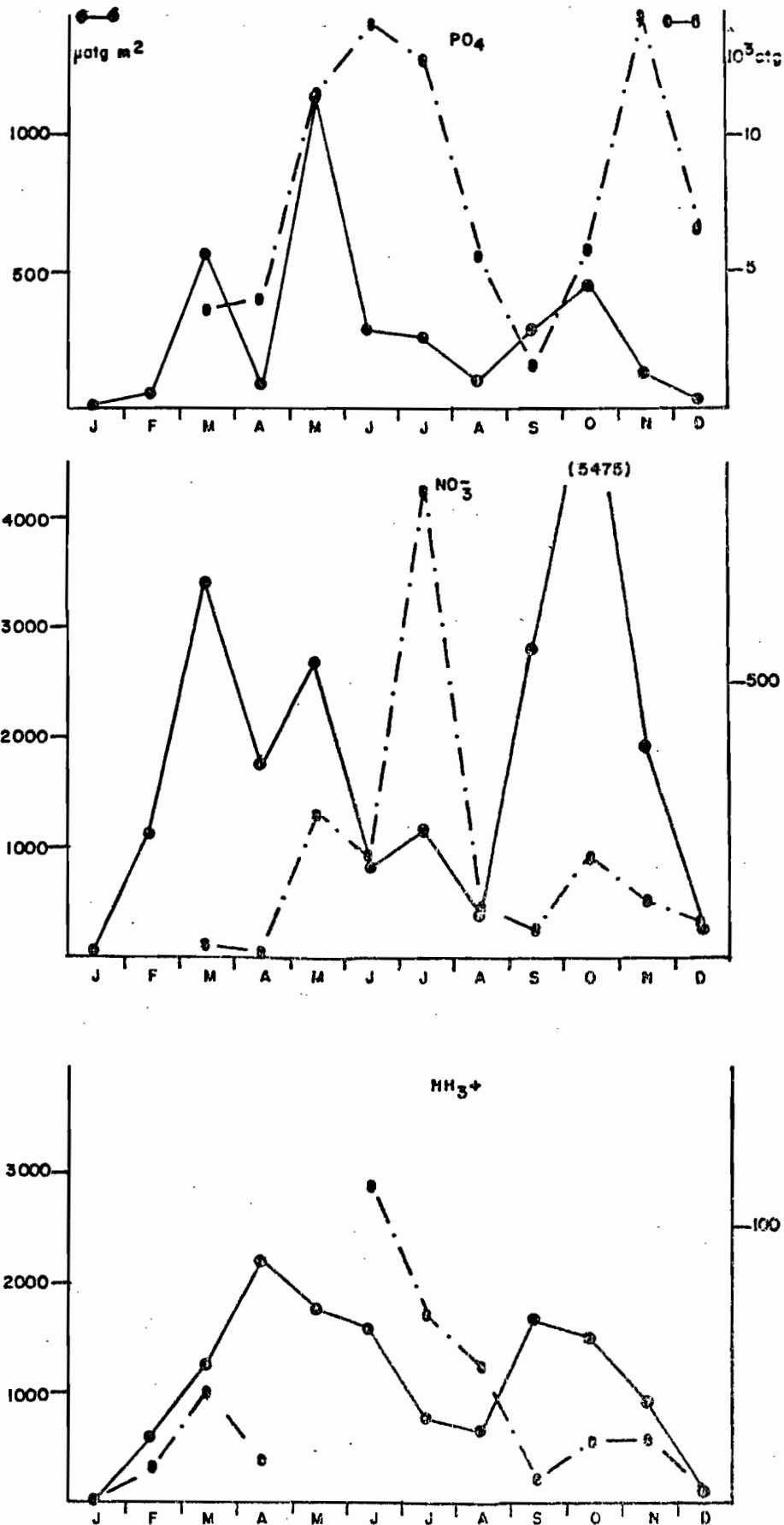


Figure 7 - Comparaison mensuelle entre les quantités de sels nutritifs reçues au sol par la pluie et celles apportées par l'Agnéby (1981).

En 1981, la comparaison mensuelle entre les quantités reçues au sol et celles apportées par l'Agnéby (Fig.7) montre une liaison instantanée pour les nitrates et retard pour les phosphates (retard estimé à 1 mois). Pour l'ammoniaque il n'est pas possible de mettre en évidence un tel type de relation.

1981, année à pluviosité très déficitaire (les crues n'ont pratiquement pas été marquées) ne peut être en toute rigueur utilisée pour une interprétation directe des événements observés en 1980. Cependant à la suite de cette étude il est possible de conclure que les fortes valeurs observées en période de crue sont consécutives à un apport de sels nutritifs par les eaux de ruissellement. De plus les concentrations pour les ions phosphates et nitrates sont liées aux concentrations dans l'eau de pluie ainsi qu'au volume des précipitations.

2.2. PRESENTATION DU MILIEU SEDIMENTAIRE ET MATIERE ORGANIQUE SEDIMENTAIRE

2.2.1. Présentation du milieu sédimentaire (carotte St 1 27.03.1980).

Les sédiments de Layo présentent une stratification verticale très nette caractérisée :

- par un horizon superficiel (0-2 cm) sableux grossier contenant quelques débris coquilliers plus ou moins altérés,

- par une couche intermédiaire (2-8 cm) constituée d'un ensemble minéral hétérogène de quartz et de concrétions sphériques (ocre rouge à noire),

- enfin à partir de 10 cm d'une alternance régulière de niveaux tourbeux noirs très riches en débris ligneux peu altérés et de niveaux sablo-limoneux compact de couleur gris pâle.

L'observation macroscopique (x 500) des grains de quartz de l'horizon 0-2 cm (grains subanguleux luisants avec exceptionnellement quelques traces d'altération pédogénétique) témoigne d'un transport fluvial court des sédiments de surface. Cette sédimentation actuelle a recouvert d'anciens niveaux caractérisés par la présence d'ovoïdes minéralisés d'un diamètre compris entre 250 et 500 μ . Ces ovoïdes luisants semblent très semblables à ceux du plateau continental de Côte d'Ivoire décrits par Martin (1972). Dans le sédiment ces ovoïdes sont associés à des grains de quartz très profondément

cariés souvent en partie ferruginés attestant d'une évolution pédogénétique de ces éléments détritiques.

A partir de -10 cm la succession des strates organiques tourbeuses et sablolimoneuses (très riches en particules micacées) semble traduire les diverses fluctuations de niveaux enregistrées par la lagune. A chaque régression lagunaire les rives mises à nu ont certainement été rapidement recolonisées par une végétation très dense à caractère hydromorphe conduisant au développement d'une épaisse litière très peu minéralisée. Ce type de végétation occupe les rives actuelles et correspond à une tourbière à "raphias". Une phase de sédimentation fine a fossilisé les anciens niveaux tourbeux qui peuvent être ainsi interprétés comme des paléorivages.

2.2.2. Matière organique sédimentaire (carotte St. 1).

La répartition du matériel organique au sein des sédiments (Tab.V) est conditionnée par cette succession de types sédimentologiques. L'horizon superficiel d'origine fluviatile présente des concentrations en carbone organique relativement élevées compte tenu de l'importance de la phase minérale grossière de ce sédiment. Lié à une bonne pénétration de la lumière (hauteur d'eau 1,50 m) cet horizon est colonisé par une flore benthique abondante qui se traduit par des concentrations en phaeopigments élevées et par une part importante au sein de ceux-ci de chlorophylle a active. Une faune benthique dense mais peu diversifiée exploite cette biomasse algale. Le peuplement malacologique est constitué d'une manière quasi exclusive de l'espèce *Corbula trigona* qui par leur sécrétion bysogène réalise une agrégation très importante de la matière minérale du sédiment.

L'horizon (2-8 cm) présente des concentrations en composés carbonés et en phaeopigments inférieures de moitié à celles notées pour l'horizon précédent. Dans la partie supérieure (2-4 cm) les concentrations en azote sont comparables à celles observées pour le sédiment fluviatile mais elles diminuent ensuite très rapidement attestant d'une bonne activité minéralisatrice. C'est aussi à ce niveau que les potentiels d'oxydoréduction les plus bas ont été observés, ainsi que les valeurs de pH les plus fortes. Des taches noires diffuses ont été notées sur l'ensemble de ce niveau pouvant être l'indication d'une activité sulfatoréductrice.

La strate inférieure étudiée (8-14 cm) révèle des concentrations très importantes en composés carbonés liées à l'existence des lits tourbeux. Le rapport C/N supérieur à 20 indique une nature essentiellement ligneuse de ces débris végétaux enfouis très appauvris en azote.

Il n'existe pratiquement plus de chlorophylle a fonctionnelle à ce niveau. Les sédiments superficiels compte tenu de leur forte densité ne peuvent être remis en suspension et maintiennent de ce fait les niveaux sous jacents en état de confinement permanent.

Niveaux (cm)	Teneur en sédiment	Fraction minérale < 60 μ %	pH	Redox	C mg.g ⁻¹	N mg.g ⁻¹	C/N	Chl a	Phaéophytine μ g.g ⁻¹ v.s.
0.2	69	47,0	6,86	-115	13,84	0,85	16,28	3,54	4,57
2.4	78	60,0	7,41	-190	7,73	0,80	9,66	1,64	2,18
4.6	80	59,0	7,60	-175	7,43	0,33	22,64	0,49	1,00
6.8	78	40,0	7,40	-155	12,29	0,53	23,19	0,21	0,76
8.10	70	2,0	7,09	- 50	18,55	0,78	23,78	0,04	0,32
10.12	65	1,5	6,88	- 80	24,06	0,80	30,08	/	/
12.14	69	1,0	/	/	13,79	0,53	26,02	0,03	0,25

Tableau V - Analyses physico-chimiques des sédiments de la station 1 de Layo (27.03.1980).

Le fractionnement de la matière organique sédimentaire par extraction acide (composés hydrolysables) et alcaline (matières humiques) permet d'étudier les processus d'évolution de la matière au cours de son enfouissement (Tab.VI). Ces analyses mettent clairement en évidence l'opposition existant entre les couches superficielles et les couches internes du sédiment où prédominent respectivement en surface les formes carbonées hydrolysables et en profondeur les formes non extractibles (humine liée aux argiles et à la matière particulaire). En surface la matière organique présente toutes les caractéristiques d'une matière peu évoluée (richesse en composés hydrolysables et en chlorophylles) n'ayant subi qu'une faible activité minéralisatrice biochimique et microbienne. Ceci découle du temps de sédimentation très bref du matériel organique détritique. A l'opposé les niveaux profonds ont subi une longue évolution se traduisant par une diminution des composés hydrolysables et d'un enrichissement non seulement pondéral mais relatif des composés carbonés liés et particulés.

Les acides humiques représentent une part relativement constante de la matière organique sédimentaire et ceci quel que soient les niveaux considérés. Les humus des niveaux 0-4 cm après purification et dialyse ont été chromatographiés sur gel de Dextrane G 100. Deux fractions sont ainsi séparées. La première exclue correspond à des composés de poids moléculaire supérieur à 100.000, la seconde correspond à des composés de poids moléculaire compris entre 1.000 et 100.000. Dans les sédiments de Layo la fraction retenue (Fig.8) correspond à 65% des composés humiques. De couleurs brun rouge les acides humiques purifiés de Layo de faible poids moléculaire s'apparentent à des acides humiques bruns généralement observés dans les dépôts lagunaires et fluviatiles (Gadel, 1974). Cette faible polymérisation observée pour les niveaux superficiels est généralement interprétée comme la conséquence de processus d'humification se déroulant en milieu oxydant (condition hydrodynamique active et granulométrie grossière) qui favorisent l'élimination biochimique et bactérienne des composés solubles.

Niveau	C. Total	C. Hydrolysable		C. Matière Humique		C. lié et particulé	
	(a)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
0.2	13 840	10 995	79	1 470	11	1 375	10
2.4	7 730	5 630	73	1 155	15	945	12
4.6	7 470	5 400	72	785	11	1 285	17
6.8	12 290	8 070	66	635	5	3 585	29
8.10	18 550	8 836	48	1 055	6	8 660	47
10.12	24 060	9 906	41	2 120	9	12 035	50
12.14	13 790	4 270	31	1 400	10	8 120	59

Tableau VI - Fractionnement chimique de la matière organique sédimentaire.

(a) en $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ sédiment sec
 (b) en % du C_{Total} .

2.2.3. Evolution saisonnière des concentrations en carbone organique à l'interface eau-sédiment.

Les diverses valeurs enregistrées à l'interface eau-sédiment en fonction du temps ne présentent au cours d'un cycle annuel que de très faibles variations (Tab.VII).

□ Bleu Dextran G

□□□□ Echantillon

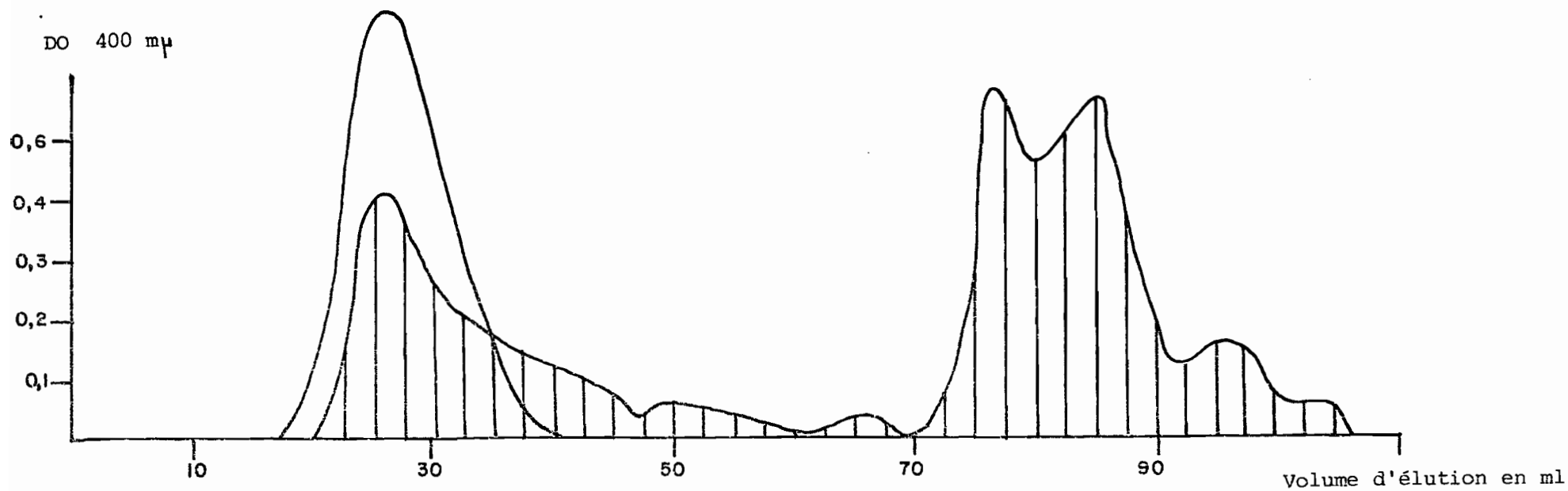


Figure 8 - Fractionnement des acides humiques extraits des sédiments superficiels (0-4 cm) de Layo sur gel de Dextrane G 100.

La fraction acido-soluble (extraite par HCl 2N à chaud) pouvant être assimilée à des composés carbonés facilement métabolisable et de ce fait susceptibles de minéralisations biochimiques et bactériennes rapides, représente une part importante du stock sédimentaire et confirme le caractère peu évolué de la matière organique détritique sédimentant. Les concentrations plus élevées observées au cours de la grande saison sèche coïncidant à des rapports Cas/CnH significativement plus faibles déterminent une période de sédimentation plus active. Pour les autres périodes de l'année les concentrations en Cas restent sensiblement proportionnelles au C_{Total}. De ce fait, il n'est pas possible de discerner à partir de nos observations de périodes à activité minéralisatrice plus intense qui se traduirait par un enrichissement relatif de la fraction Cas.

Date	5/3	8/5	28/5	4/7	30/7	28/8	18/9	15/10	13/11	31/12
Carbone acido soluble (Cas) mg. g de VS	0,4	0,6	1,2	1,0	1,0	1,1	1,0	1,5	1,1	0,9
Carbone non Hydrolysable (CnH) mg. g de VS	4,4	3,7	2,1	2,4	2,4	3,4	2,6	3,3	2,6	2,4
Cas/CnH	0,09	0,16	0,57	0,41	0,41	0,32	0,38	0,45	0,42	0,38

	\bar{X}	σ
Cas	0,98	0,29
CnH	2,93	0,70
$\overline{\text{Cas}/\text{CT}}$	0,25	

Tableau VII - Evolution annuelle (1980) des concentrations en carbone organique à l'interface eau-sédiment (station 1).

2.3. RELATION EAU-SEDIMENT AU COURS D'UNE INCUBATION DE 24 H A L'OBSCURITE (Tab.VIII)

2.3.1. Modifications enregistrées lors de l'incubation de la colonne d'eau seule.

Les quantités d'oxygène consommées par l'ensemble des communautés phyto et zooplanctoniques et bactériennes sont sensiblement proportionnelles

aux concentrations initiales en oxygène au sein du milieu (Fig.9). Bien que ne disposant que d'un nombre limité d'observations, l'équation reliant quantité respirée et concentration initiale apparaît être de type linéaire. Cette liaison laisse supposer que l'oxygénation du milieu est en grande partie conditionnée par sa richesse biologique. L'activité des organismes photosynthétiques conduit à un enrichissement de l'eau en oxygène à la lumière et à l'obscurité à une consommation d'autant plus forte que l'enrichissement a été important. Au cours de l'incubation il est aussi possible de montrer un relargage de phosphore ainsi que de nitrite et d'une matière moins systématique de nitrates. Les quantités excrétées sont apparemment indépendantes des autres paramètres enregistrés.

Date	5/3	27/3	8/5	28/5	4/7	30/7	28/8	18/9	15/10	13/11	31/12
O ₂ initial mg.l ⁻¹	6,76	7,34	8,23	3,79	4,71	6,11	6,68	6,62	5,40	5,04	4,96
mgO ₂ consommé l ⁻¹ 24h ⁻¹	1,74	1,82	2,54	n.d.	0,90	1,05	1,42	0,86	1,03	1,54	1,44
µmole PO ₄ relargué (+) l ⁻¹ 24h ⁻¹	5,39	n.d.	4,39	3,68	2,59	0,30	0,65	0,50	0,06	0,41	n.d.
µmole NO ₂ relargué (+) l ⁻¹ 24h ⁻¹	0,49	n.d.	0,12	0,55	0,09	0,04	0,26	0,04	0,11	0,05	n.d.
µmole NO ₃ relargué (+)	2,91	n.d.		1,47			0,43	0,40	0,55	2,28	n.d.
Assimilé (-) l ⁻¹ 24h ⁻¹		n.d.	4,21		0,23	0,33					n.d.

Tableau VIII - Consommation d'oxygène et excrétion ou assimilation de sels nutritifs au cours d'une incubation de 24 h à l'obscurité d'échantillons d'eau prélevés à la station 1 Layo (1980).

n.d. (non déterminé).

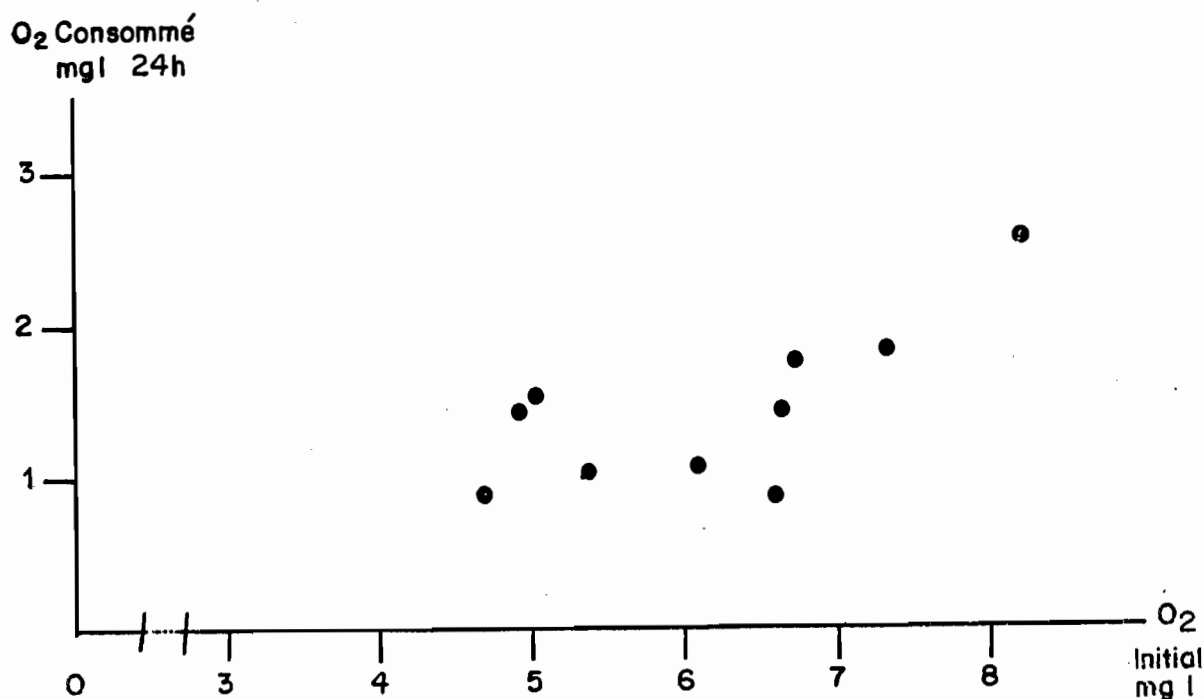


Figure 9 - Quantité d'oxygène consommée en 24 h en incubation à l'obscurité en fonction de la concentration initiale (Layo, 1980).

2.3.2. Modifications enregistrées lors de l'incubation de la colonne d'eau plus sédiment.

La consommation moyenne d'oxygène par le sédiment (Tab.IX) est la moitié de celle observée pour la colonne d'eau seule (sédiment : $0,61 \text{ mg l}^{-1}$, eau : $1,43 \text{ mg l}^{-1}$ de O_2 pour 24 h).

En utilisant comme coefficient respiratoire la valeur de 0,85 (Sorokin et Kadota, 1972), il est possible d'estimer la quantité de carbone oxydé correspondant à la différence des concentrations d'oxygène observée entre la colonne d'eau seule et d'eau plus sédiment après 24 heures d'incubation à l'obscurité. A partir de l'ensemble de nos observations la quantité moyenne de C organique minéralisée en voie aérobie est égale à $178 \text{ mg C m}^2 \text{ 24H}^{-1}$. Parallèlement l'augmentation des concentrations en carbone minéral fournit une estimation de l'activité minéralisatrice globale du sédiment. Cette valeur est égale à $207 \text{ mg C m}^2 \text{ 24H}^{-1}$. La comparaison entre ces deux estimations indique une minéralisation essentiellement par voie aérobie (85%) à l'interface eau-sédiment. Ce résultat est en accord avec les caractéristiques morphologiques et sédimentologiques de la station suivie à Layo (faible profondeur, bonne oxygénation des eaux liée à sa situation près de la rive et nature granulométrique sableuse grossière

des fonds). Connaissant la densité du sédiment dans le premier cm (sédiment frais 17,55 kg.m².cm sédiment sec 12,91 kg.m².cm) ainsi que sa concentration moyenne en C organique (3,91 mg g⁻¹ de sédiment sec) il est possible de déterminer la quantité totale de carbone organique pour un volume de 1 m².cm de sédiment frais. De la comparaison de cette valeur avec la quantité minéralisée par 24 heures à l'obscurité il ressort que 0,4% du carbone organique total est minéralisé quotidiennement à l'interface eau-sédiment à Layo.

L'ensemble de ces résultats bien que global fournit cependant a posteriori une justification au choix du site de Layo comme centre d'aquaculture. En effet, l'activité minéralisatrice du sédiment conditionnée par sa nature essentiellement minérale grossière s'opère principalement par voie aérobie à l'interface eau-sédiment. De ce fait les processus biogéochimiques de condensation et d'humification et les activités bactériennes anaérobies qui conduisent à l'émission de composés minéraux réduits (NH₄⁺, H₂S) sont limités.

Les activités respiratoires les plus importantes sont observées au sein de la colonne d'eau. Les plus fortes consommations liées à une densité d'organismes planctoniques élevée sont compensées en phase claire par une activité photosynthétique elle aussi plus élevée si les conditions d'éclairément ne sont pas limitantes. Le corollaire de cette dernière observation réside dans la possibilité de situation de "crise" lors d'une inhibition de l'activité photosynthétique (Guiral et Chantraine, 1983).

Date	5/3	27/3	8/5	28/5	4/7	30/7	28/8	18/9	13/11	31/12
Dégagement CO ₂ mg. l ⁻¹	0,21	0,55	2,87	0,62	1,38	n.d.	n.d.	0,69	n.d.	0,33
Consommation O ₂ mg. l ⁻¹	0,81	0,26	0,95	n.d.	0,76	0,74	0,30	1,05	0,34	0,28

Tableau IX - Consommation d'oxygène et dégagement de CO₂ associés à la respiration sédimentaire en phase obscure de l'interface eau-sédiment (Layo Station 1, 1980).

n.d. (non déterminé).

2.4. PREMIERS RESULTATS RELATIFS A L'IMPACT SUR LE MILIEU SEDIMENTAIRE
D'UN ELEVAGE AQUACOLE INTENSIF

Un carottage a été effectué dans un enclos empoissonné (station 2, Fig.2) depuis 6 mois avec des mâchoirons et des tilapias auxquels est distribué quotidiennement une alimentation industrielle sous forme de granulé (farine de céréales et de poissons).

Le prélèvement ainsi que les déterminations ont été réalisés selon le même protocole que celui précédemment décrit pour la carotte St 1.

L'effet directement observable de l'empoissonnement est l'absence totale au sein des enclos de *Corbula trigona*. Cette disparition est à mettre en relation avec le régime alimentaire des mâchoirons essentiellement malacophages. Cette prédation se répercute directement sur le sédiment qui comparativement à celui du milieu lagunaire ne présente plus de structure agrégative.

L'analyse de la matière organique après fractionnement chimique (Tab.X) met en évidence un décapage de l'horizon superficiel du sédiment lié aux activités de bioturbation des poissons. Il est possible de noter, comparativement aux résultats enregistrés sur la carotte prélevée en milieu lagunaire ouvert (cf. 3.3.2) une diminution relative des concentrations en carbone hydrolysable et des teneurs en chlorophylles et phaeophytines. De cette première observation, il ressort que l'utilisation du site de Layo n'a conduit depuis 5 mois à aucun phénomène d'accumulation sédimentaire organique traduisant ainsi une élimination (biologique et mécanique) efficace des fèces et une gestion rationnelle des apports alimentaires.

Niveaux (cm)	CT [⊗]	C.Hydro-lysable [⊗]	C* Humique	C* Lié et Particulé	% Sédiment.	NT [⊗]	Chla [*]	Phao [⊗]
0.2	6 810	3 924	605	2 281	74	450	2,06	3,05
2.4	3 840	2 633	494	713	76	250	1,65	1,40
4.6	14 460	11 360	719	2 381	77	400	0,81	1 17

Tableau X - Analyse de la Matière Organique d'une carotte prélevée au sein d'un enclos à la station 2 (Layo, 1980).

(⊗) en $\mu\text{g g}^{-1}$; CT = Carbone Organique Total ;
NT = Azote Organique Total.

CONCLUSION

Cette première étude définissant les conditions hydrochimiques et sédimentologiques de la station de Layo a permis de mieux caractériser ce site et de décrire l'état initial de ce milieu lors de l'installation des activités aquacoles. Ce milieu oligohalin est essentiellement conditionné par :

- sa proximité avec le débouché en lagune Ebrié de l'Agnéby (source d'apport périodique de composés organiques dissous et particuliers ainsi que de sels nutritifs),

- sa faible profondeur (impliquant une sédimentation brève du matériel détritique et une minéralisation essentiellement de type aérobie à l'interface eau-sédiment ; réactions oxydantes renforcées par la nature et la granulométrie du support minéral).

Si cette dernière caractéristique apparaît hautement favorable pour un site d'aquaculture, la première par l'instabilité hydrobiologique qu'elle engendre présente à bien des égards des aspects négatifs. En particulier de cette situation près de l'Agnéby, découlent des enrichissements exceptionnels en sels nutritifs principalement en azote et une coloration très brune des eaux liée à la présence de composés carbonés en solution. De plus, le bassin versant de l'Agnéby est l'objet d'une exploitation agricole intensive (bananeraies implantées sur d'anciennes tourbières) et est soumis à des traitements phytosanitaires très importants (lutte contre les nématodes et les virus). Une estimation des quantités de pesticides répandus et un dosage de leurs concentrations au sein du milieu aquatique (fleuve et lagune) est en cours de réalisation. Ces données complèteront les résultats ici présentés et permettront de mieux définir les conditions et l'évolution physico-chimiques et biochimiques de l'eau et des sédiments à la station de Layo. Ces informations sont indispensables et ceci à double titres. Premièrement compte tenu de l'option d'élevage en milieu naturel il est nécessaire de pouvoir resituer les résultats observés au niveau des élevages (fécondité, croissance) dans leurs contextes hydroclimatiques. Secondairement, une analyse de la situation et de l'évolution biogéochimique à Layo doit permettre une définition de critères objectifs pour le choix d'implantation des nouveaux sites d'aquaculture en lagune Ebrié.

BIBLIOGRAPHIE

- Albaret J.J., Legendre M. - Espèces colonisatrices des étangs d'une station de pisciculture lagunaire en Côte d'Ivoire. Description et incidence sur l'élevage.
Doc. Sc. Cent. Rech. Océanogr. Abidjan (sous presse).
- Caillère S., Martin L., 1972.- Etude minéralogique d'ovoïdes minéralisés de sédiments du plateau continental de Côte d'Ivoire.
C.R. Acad. Sc. Paris, Série D., 274 (16), 2273-2275.
- Durand J.R., Chantraine J.M., 1982.- L'environnement climatique des lagunes ivoiriennes.
Rev. Hydrobiol. Trop., 15 (2), 85-113.
- Gadel F., 1974.- *La matière organique et la sédimentation récente dans le golfe du lion : distribution, nature et évolution.*
Thèse de Doctorat d'Etat Sc. Nat. Université de Paris VI, 263 p.
- Girard G., Sircoulon J., Touchebeuf P., 1971.- Aperçu sur les régimes hydrologiques.
In : le milieu naturel de la Côte d'Ivoire.
Mem. ORSTOM, n°50, 109-156.
- Guiral D., Chantraine J.M., 1983.- Hypothèses sur l'origine des mortalités observées en lagune Ebrié en 1979.
Doc. Sc. Cent. Rech. Océanogr. Abidjan (sous presse).
- Holm Hansen O., Riemann B., 1978.- Chlorophyll a determination : improvements in methodology.
Oikos 30, 438-447.
- Kononova M.M., 1961.- Soil organic matter, its nature, its role in Soil formation and in Soil fertility.
Pergamon Press, London, 450 p.
- Lemasson L., Pagès J., 1982.- Apport de phosphore et d'azote par la pluie en zone tropicale Côte d'Ivoire.
Rev. Hydrobiol. Trop., 15 (1), 9-14.
- Lemasson L., Pagès J., Crémoux J.L., 1982.- Echanges d'éléments nutritifs dissous entre l'eau et le sédiment dans une lagune tropicale saumâtre.
Rev. Océanogr. Trop., 17 (1), 45-58.
- Lemasson L., Pagès J., Dufour Ph., Crémoux J.L., 1981.- Matière organique particulaire et biomasse dans une lagune tropicale.
Rev. Hydrobiol. Trop., 14 (3), 191-212.
- Leneuf N., 1972.- Aspects microscopiques de la surface de grains de quartz du ccontinental terminal de Côte d'Ivoire.
Cah. ORSTOM, sér. Géol., 4 (1), 53-65.

- Martin L., 1972.- Etudes des "Faecal-Pellets" minéralisés des sédiments du plateau continental de Côte d'Ivoire.
Cah. ORSTOM, Sér. Géol., 4 (2), 105-120.
- Oudot C., Wauthy B., 1978.- Adaptation d'un chromatographe en phase gazeuse pour le dosage en mer des gaz dissous : azote, oxygène et gaz carbonique total.
Cah. ORSTOM, sér. Océanogr., 16 (1), 89-102.
- Pagès J., Lemasson L., 1981.- Production et utilisation du carbone organique dissous dans une lagune tropicale.
Rev. Hydrobiol. Trop., 14 (2), 83-101.
- Plante-Cuny M.R., 1974.- Evaluation par spectrophotométrie des teneurs en chlorophylle "a" fonctionnelle et en phaeopigments des substrates meubles marins.
Doc. Mission ORSTOM Nosy-Bé.
- Sorokin Y.I., Kadota H., 1972.- Microbial production and decomposition in fresh waters.
IBP Handbook n°23.
- Strickland J.D.H., Parsons T.R., 1968.- A practical handbook of sea-water analysis.
Bull. Fish. Res. Bd. Can., 167, 311 p.

