



PROGRAMME CASAMANCE
REUNION DU GROUPE DE TRAVAIL
JANVIER 1986

HYDRO BIO CLIMAT DE LA CASAMANCE
EN STADE HYPERSALIN

RESULTATS PRELIMINAIRES

J. P A G È S

Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye
BP 2241
DAKAR

11 JUN 1990

ORSTOM Fonds Documentaire
N° : 30107, ex 1
Cote : B M

CRDO - DAKAR
date 10/05/89
n° 6711 cote ACØ PAG

PAG

La sécheresse qui sévit sur le Sahel depuis près de quinze ans a eu sur l'agriculture, et donc l'alimentation, des conséquences souvent tragiques. Le réseau hydrographique a également été touché ; même un grand fleuve tel que le Niger a cessé de couler en 1984. Les petits fleuves, aux réserves moindres, ont été encore plus durement atteints.

Ainsi, la Casamance est devenue hypersaline. Sans débit propre d'eau douce, elle est envahie par l'eau de mer, qui "remonte" et se concentre par évaporation. Ce processus aboutit à des salinités maximum de 120 ‰.

Le CRODT a mené depuis plus d'un an une étude pluri-disciplinaire de ce fleuve. Nous donnons ici quelques résultats préliminaires sur l'hydrobioclimat, complétés quand utile par des emprunts à d'autres travaux.

1: METHODES : fig. 1

Des surveys ont été faits, le plus souvent avec une chaloupe non pontée de 8 m. Ces missions, espacées d'environ 40 jours, durent 4 jours.

Dans l'ensemble, les méthodes analytiques étaient celles employées en océanographie, modifiées en fonction du milieu, peu profond, et des conditions matérielles de terrain.

2 : CADRE CLIMATIQUE . RAPPELS ET MESURES :

2.1 : PLUIE :

La saison des pluies dure de juillet à octobre (fig. 2 a). Les précipitations sont plus fortes dans le Sud-Ouest. La variation inter-annuelle est forte : de 600 à 2000 mm. Le bilan hydrique annuel est généralement déficitaire, du fait de la forte évaporation (fig. 2 b).

La crue de la rivière (mesurée à Kolda) est légèrement décalée par rapport aux pluies (fig. 2 a).

2.2 : TEMPERATURE ET HUMIDITE : (Pagés)

Les températures à terre montrent un maximum en mai (fig. 2 c), de 28°C. Les températures sur le fleuve présentent un maximum (31°C) en mars-avril. L'humidité est minimum en mars, à terre et sur le fleuve (20-25%); toujours en mars, le maximum serait plus bas sur le fleuve (60%) qu'à terre (90%). Le climat sur le fleuve apparaîtrait ainsi plus chaud et plus sec. En fait, nos données sont biaisées car favorisant le jour (07:00-22:00). De plus nous avons considéré, à terre, les données moyennes.

2.3: ENERGIE INCIDENTE :

L'irradiance est la plus forte en mai (environ 1 000 W.m⁻² sur tout le spectre); la couverture nuageuse atténue la lumière pendant les pluies. Durant les dernières années, de fréquentes "brumes sèches" ("harmattan") ont aussi parfois diminué l'énergie incidente.

3 : MORPHOLOGIE :

3.1 : GEOGRAPHIE . RAPPELS :

La région a un relief faible (50 m). La pente de la rivière est de 10⁻² à 10⁻³.

de ce pic, la variation spatiale de la salinité est pratiquement linéaire avec la distance à la mer:

valeurs moyennées	pic			amont	eau douce PK
	aval	PK	S		
saison des pluies	$S=0,15.D+32$	154	58	$S=-0,92.D+200$	216
saison sèche	$S=0,31.D+32$	201	98	$S=-1,37.D+374$	(273)

Dans le détail, la portion peu profonde entre les st. 32 et 33 présente souvent une discontinuité, avec des valeurs fortes.

6.3 : EVOLUTION TEMPORELLE : fig. 4 (voir aussi annexe I).

Dès la fin de la saison des pluies, le profil de salinité se hausse dans son ensemble. La hauteur du pic, S_M , est une fonction du temps, t (en jours) depuis le minimum de salinité:

$$S_M = 0,24.t + 34,6 \quad (r=0,93, n=7)$$

De même, la position du pic évolue:

$$D(S_M) = 0,31.t + 125 \quad (r=0,98, n=8).$$

6.4: VARIATION SPATIO-TEMPORELLE :

L'augmentation de la salinité devient plus rapide vers l'amont: en 100 jours, la salinité augmente de 6 ‰ à la st. 13, de 64 ‰ à la st. 37.

En superposant tous les profils de salinité, on voit que la plupart coïncident assez bien jusqu'au PK 100 (st. 20), puis divergent. Ce point serait la limite de la partie "océanique" de l'estuaire.

L'année 1985 a été relativement plus mauvaise, quant à la salinité, que 1984, malgré une pluviométrie totale légèrement plus forte: le maximum était atteint en mai 84, mais en juillet 85. D'après les données de Ziguinchor, les pluies avaient un à deux mois de retard en 1985.

6.5 : INDEX MORPHO-EDAPHIQUE (MEI) :

Pendant la saison des pluies, nous obtenons un pic peu prononcé vers le PK 130. En saison sèche, un très fort maximum apparaît vers le PK 200.

7 : TEMPERATURE DE L'EAU : (Pagés)

7.1 : VARIATIONS A PETITE ECHELLE :

La température de surface (toutes stations confondues) croît au cours de la journée, avec un gradient de 0,3 à 0,7 °C par heure suivant la saison. Les variations verticales sont parfois fortes, sans thermocline discernable; les inversions sont fréquentes au matin.

7.2 : VARIATIONS A GRANDE ECHELLE :

Les températures sont légèrement plus élevées vers l'amont (ne semble pas significatif).

Sur l'année, les températures moyennes marquent un maximum peu prononcé de 31°C en septembre, un minimum de 24°C vers janvier-février.

8 : PROPRIETES OPTIQUES : (Pagés)

8.1 : TRANSPARENCE :

Les profondeurs de disque de Secchi (SD) sont faibles (0,3 à 2 m), avec une portion relativement claire entre les st. 20 et 25.

Le coefficient d'atténuation verticale (k_d) est fort. La partie médiane (PK 25 à PK 1°0) présente une valeur moyenne de $1,4 \text{ m}^{-1}$. En aval de st. 33 (PK 200), les valeurs augmentent fortement (jusqu'à $7,5 \text{ m}^{-1}$ à st. 31). En aval de la st. 18, les valeurs sont également fortes, mais très variables avec influence nette de la marée.

Le produit SD_e est toujours très élevé, confirmant la forte turbidité.

9.2 : CONTENU DE L'EAU :

Les observations visuelles permettent de séparer trois portions :

- aval de st. 18-20 : eau gris-jaune avec sable
- partie médiane : eau verte à vert-jaune
- amont de st. 30 : eau brune à vert-brun

Les recures d'absorption spectrale distinguent deux groupes :

- aval de st. 25 : pic à 220 nm
- amont de st. 30 : pic à 250 nm

9 : PARAMETRES CHIMIQUES : fig 5 (Pagés)

Une seule série de mesures est disponible pour les variations journalières. Le pH, l'oxygène et le CID (carbone inorganique dissous) varient fortement. Les gradients verticaux de pH et O_2 sont assez faibles, et dans le sens attendu.

9.1 : pH :

Les valeurs sont comprises en général entre 7,25 et 7,75 sur la majeure partie du cours. Au niveau du gradient amont de salinité ($6 < S < 30 \text{ ‰}$) se trouve souvent un pic (7,8 à 8,5). Nous n'avons pu dégager de relation constante entre pH et salinité.

9.2 : OXYGENE DISSOUS :

La sur-saturation est fréquente le jour, en surface, surtout en amont. Au cours de la nuit, la respiration (et la minéralisation) peut réduire O_2 à 75%. Aucune tendance saisonnière n'apparaît, sauf, en saison des pluies, les jours particulièrement couverts.

9.3 : C.I.D. :

Les concentrations sont les plus basses ($0,6$ à $0,1 \text{ mg/l}$) autour du pic de salinité, correspondant probablement à des précipitations de $CaCO_3$. Quelques valeurs très fortes en amont indiqueraient un apport par minéralisation au niveau du fond.

Nous avons tenté de dégager une relation entre CID et salinité :

$$\text{-en amont de } S_{\text{max}} : (\text{CID}) = 0,051.S + 0,39$$

$$\text{-en aval de } S_{\text{max}} : (\text{CID}) = 4,36 - 0,062.S$$

Ces équations sont : i) provisoires, ii) purement descriptives et ne représentent pas un processus chimique

9.4 : SELS NUTRITIFS :

Des doutes sérieux existent sur la validité des analyses. Les valeurs sont extrêmement dispersées ; le rapport N/P est souvent aberrant. Le NO_3^- est la forme dominante, surtout en amont (15-20 μatg), le NO_2^- est faible, NO_2^- nul. Le rôle du fond est peu net, sauf en extrême amont.

10 : CHLOROPHYLLE : (Pages)

aucune étude de taxonomie n'est prévisible.

10.1 : DIMENSION DES ORGANISMES :

Environ 40 % de la chlorophylle est retenue sur un filet de 50 μ m (mais problème de colmatage par des détritiques).

10.2 : PHEO-PIGMENTS :

La pheophytine représente environ 10 % du total, ce qui semble très faible et devra être confirmé.

10.3 : VARIATIONS SPATIALES : fig. 5

La répartition verticale n'est pas constante, mais l'eau de fond est fréquemment de 30 % plus riche que la surface.

La distribution horizontale montre en toutes saisons deux domaines :
+ en aval de la st. 25 (PK 150) : les concentrations sont relativement faibles (2 à 10 μ g.l⁻¹), et tendent à augmenter vers l'amont (pente significative ?).

+ en amont de la st. 29, les concentrations augmentent de façon linéaire jusqu'à un pic vers le PK 200 (st. 32 à 38 selon la saison).

10.4 : VARIATIONS TEMPORELLES :

Les valeurs les plus basses apparaissent à la fin de la saison des pluies. Une augmentation générale a lieu pendant la saison sèche. La valeur du maximum passe de 40 μ g.l⁻¹ (en septembre-octobre) à 150 μ g.l⁻¹ (en mai-juillet).

Le pic se déplace aussi vers l'amont au cours de la saison sèche, en restant toujours en amont du pic de salinité (donc du côté "eau douce").

10.5 : RELATIONS AVEC D'AUTRES PARAMETRES :

10.5.1 : Index morpho-édaphique : fig. 6

Le pic de chlorophylle reste, bien entendu, toujours en amont du pic MEI.

Sur un diagramme chl vs MEI, on ne peut discerner de tendance générale : une séquence principale aurait l'équation : $\lg(chl) \sim 0,81 \cdot \lg MEI - 0,37$.

Plusieurs autres séquences sont, soit "trop riches" (fertilisation externe ? ; MEI sous-estimé ?), soit "trop pauvres" (portion entre les st. 32 et 33).

10.5.2 : Atténuation verticale de la lumière :

Nous n'obtenons une relation satisfaisante entre chl et Σ que pour les valeurs très fortes. La part minérale de la turbidité d'aval devra être mieux quantifiée.

Le pic de chl. se trouve à l'intérieur du domaine des eaux brunes, riches en matière organique.

10.5.3 : Nutriments :

Les chiffres de concentrations en nutriments sont inutilisables.

11 : PHOTOSYNTHESE : (Pagès)

Les incubations de ^{14}C ont été conduites en in situ simulé, pendant environ deux heures sous lumière naturelle.

11.1 : TAILLE DES ORGANISMES :

La fraction de ^{14}C retenue sur $50\ \mu\text{m}$ est faible (une seule série de données: 0,02 à 0,4 % du total) .

11.2 : CINÉTIQUE :

L'assimilation de ^{14}C est linéaire sur plusieurs heures, malgré une lumière variable (deux séries de données).

11.3 : PRODUCTION INSTANTANÉE : (P_1)

En saison des pluies, toute la partie amont (st. 25 à 39) a une production assez forte ($\sim 30\ \mu\text{atg C.l}^{-1}.\text{hr}^{-1}$). En saison sèche, la portion à forte production se restreint autour de la st. 38, avec des valeurs variables mais généralement hautes (jusqu'à $90\ \mu\text{atg C.l}^{-1}.\text{hr}^{-1}$).

Les nombres d'assimilation ($\mu\text{g C.}(\mu\text{g chl.hr})^{-1}$) sont trop souvent anormalement élevés, même pour les températures observées.

11.4 : EFFET DE LA LUMIÈRE :

11.4.1 : En fonction de la profondeur :

La photoinhibition se manifeste de façon irrégulière. Il n'y a pas de valeur constante d'irradiance optimale: I_{opt} est souvent autour de $300\ \mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, mais peut être beaucoup plus haut, surtout à la st. 38.

La production intégrée $\sum_2 P_1$, a une valeur maximum vers la st. 25 pendant la saison des pluies (août à septembre), avec des valeurs fortes (jusqu'à $60\ \text{atg C.m}^{-2}.\text{hr}^{-1}$). Le maximum se déplace vers l'amont à partir d'octobre, et demeure vers les st. 34 à 38 en saison sèche (20 à $40\ \text{atg C.m}^{-2}.\text{hr}^{-1}$).

11.4.2 : En fonction du temps :

Aucune répression n'apparaît autour du midi solaire (§ 11.2).

Nous ne pouvons encore calculer une production intégrée sur la journée.

12 : AUTRES PARAMÈTRES :

12.1 : PHYTO BENTHOS : pas de données

12.2 : MICRO FAUNE BENTHIQUE : voir Debenay

12.3 : ZOO BENTHOS :

12.3.1 : Huitres : (voir aussi Leung-Tack)

Il sera nécessaire de préciser le rôle de la forte population d'huitres dans l'aval quant au prélèvement de matière organique particulaire et, aussi, au recyclage des nutriments (NH_4 , PO_4),

12.3.2 : Balanes : (Debenay et Pagès)

Des restes d'anciennes fixations de Balanes dans l'amont pourraient indiquer des épisodes passés de sursalure.

12.3.3 : Macro benthos autre : voir C. LeBouteiller.

12.4 : ZOOPLANCTON : voir P. Diouf

12.5 : MACROPHYTES :

12.5.1 : Mangrove : voir Badiane

La production de matière organique (avec une éventuelle phase interné-

-diaire dans le sédiment) devra être prise en compte pour un bilan de sels nutritifs.

12.5.2 : Roselières:

Les Phragmites, bien qu'en régression devant la sursalure, couvrent quelques 30 km² tout en amont. Leur rôle dans l'écosystème limité de l'amont devra être précisé : assimilation et relargage de nutriments et de matière organique, rôle dans l'évaporation, effet d'abri pour les juvéniles.

12.6 : MACROFAUNE :

12.6.1 : Avifaune : (Guillou et Debenay)

L'effet des fortes densités d'oiseaux aquatiques (en fin de saison sèche) sur l'écosystème devra être précisé (recyclage accéléré).

12.6.2 : Grands vertébrés :

La présence régulière de grands vertébrés (crocodiles ?) a été observée à la st. 37.

13 : CONCLUSION :

- A . La portion du cours du fleuve située en amont de la st. 33 apparaît la plus remarquable quant à la chimie et à la production primaire. Les fortes variations de salinité ont probablement amené des adaptations chez les organismes (régulation osmotique, halotolérance ou halophilie). En outre, tout en amont existe probablement une zone refuge, fort restreinte, d'où pourrait repartir une colonisation quand la situation redeviendra normale.
- B . L'étude présente a fait ressortir un certain nombre de lacunes:
- en chimie, il faudra tout d'abord procéder à une sérieuse révision et mise au point des méthodes, pourtant classiques, utilisées. Il faudra aussi mettre au point les mesures plus spécifiques de dosage de la matière organique dissoute.
 - les zones peu profondes semblent devoir jouer un grand rôle dans le fonctionnement de l'écosystème:
 - + effet sur la profondeur moyenne réelle et sur l'évaporation,
 - + rôle dans le cycle des nutriments,
 - + rôle dans la production primaire globale (plancton et benthos).
 - les sédiments doivent être mieux étudiés quant à leur rôle, à la fois pour les nutriments et pour la production (benthos).
 - les macrophytes, en aval comme en amont, jouent probablement un rôle important.
- C . Nous envisageons d'orienter le travail de terrain de façon quelque peu différente sur deux points: a) privilégier les stations de longue durée, par des stations en dérive de 12 à 24 heures, b) accroître l'étude de la production par l'oxygène.
- D . Parmi les travaux à prévoir à court terme, la modélisation de la salinité (spatio-temporelle d'une part, en fonction de la pluie d'autre part) devra avoir la priorité.

ANNEXE I

SIMULATION NUMERIQUE DE LA SALINITE

Nous divisons le cours en compartiments, et nous faisons une série d'hypothèses simplificatrices :

- niveau constant (pas de marée)
- échanges d'après l'hydrostatique (pas de courants)
- compartiments isotropes et homogènes
- chenal uniforme, à géométrie constante.

Les conditions de départ sont:

- + six compartiments
- + salinité de 1 ‰ sur tout le cours, de 35 ‰ "en mer"
- + pas de débit d'eau douce en amont
- + évaporation/ profondeur moyenne = 1 / 10 par intervalle de temps

Avec ce modèle outrageusement simplifié, nous obtenons une évolution spatio-temporelle de la salinité qui est assez satisfaisante au point de vue qualitatif, sauf :

- la forme exponentielle de la partie aval, qui ne correspond pas aux mesures réelles,
- la stabilisation progressive, en aval, au lieu d'une augmentation en bloc.

Pour l'aspect quantitatif, le résultat est plus satisfaisant. Une hauteur de pic de 118 ‰ serait atteinte en 8 mois (soient ici 21.Δt); ceci amènerait une évaporation de 1 cm par jour sur une profondeur moyenne d'un mètre, ce qui est très plausible.

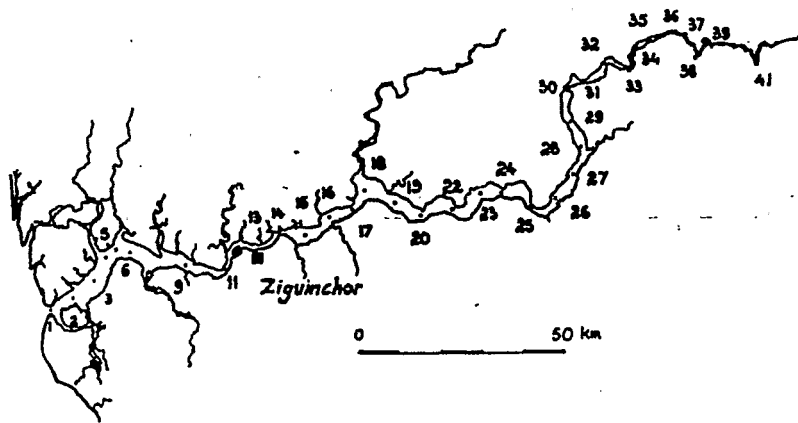
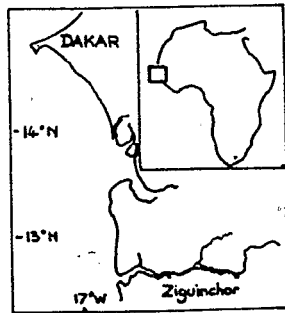


Fig. 1: Area of study

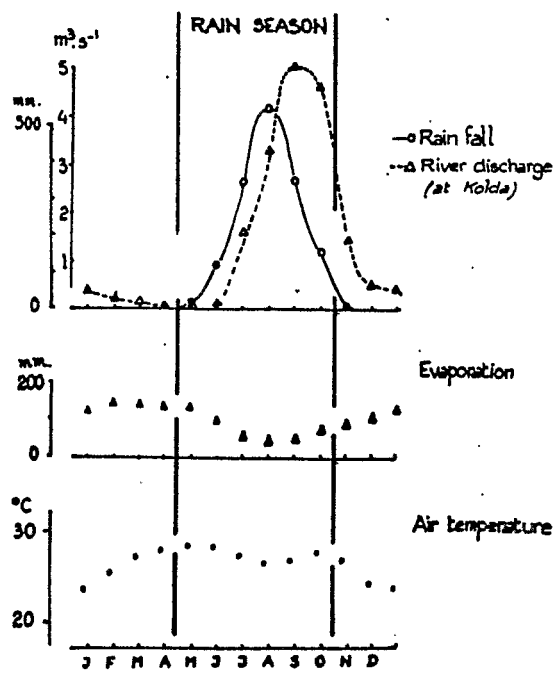


Fig. 2: Climatic factors
(average values)

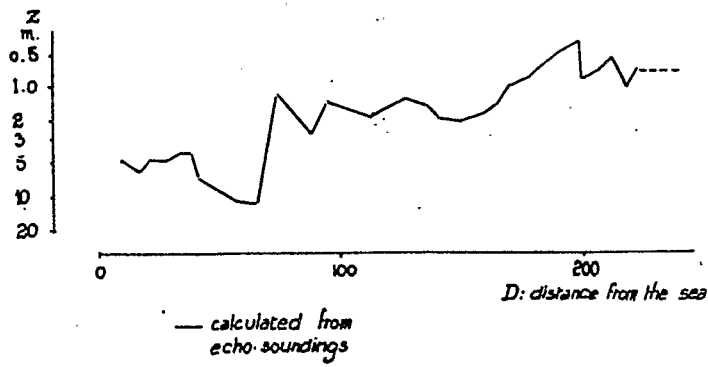


Fig. 3: Mean depth of the main course

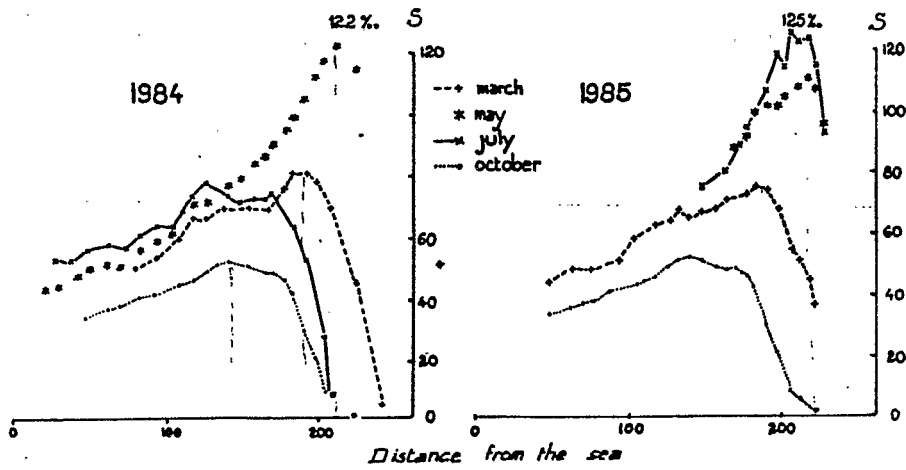


Fig. 4: Salinity profiles

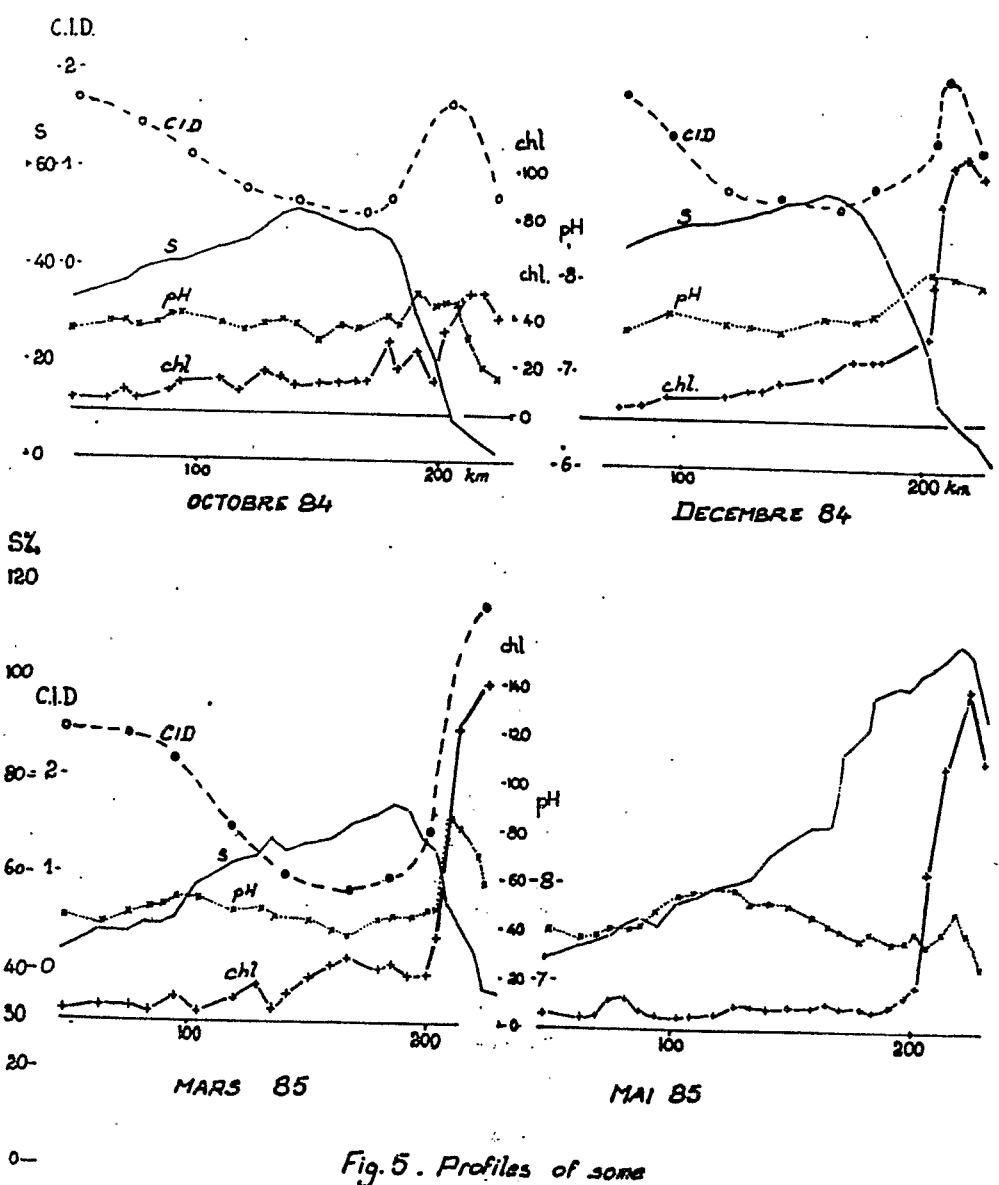


Fig. 5. Profiles of some parameters during dry season.

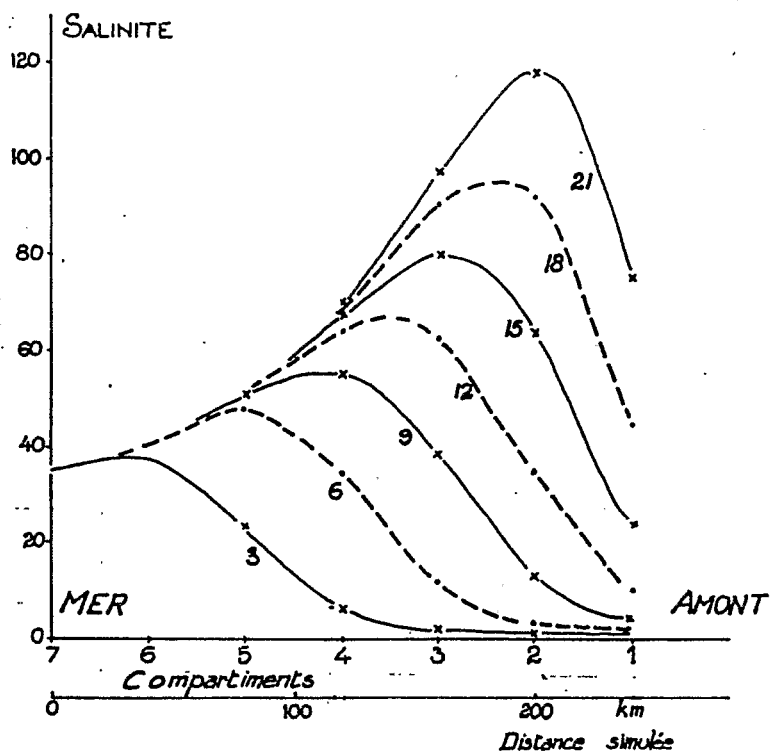


Fig. 7: Simulation numérique : Evolution spatio-temporelle de la salinité.