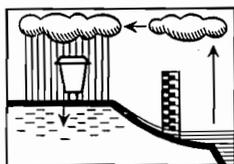


RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL

MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT

# ETUDE HYDROLOGIQUE DU MARIGOT DE BAÏLA



R. GALLAIRE

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE DE DAKAR - HANN



JUILLET 1980

ETUDE HYDROLOGIQUE  
DU MARIGOT DE BAILA

R. GALLAIRE

Rapport final présenté dans le cadre de la  
deuxième année d'élève effectuée à DAKAR  
Sous la direction Scientifique de J.C. OLIVRY

MINISTERE DE L'EQUIPEMENT RURAL

DU SENEGAL

ETUDE HYDROLOGIQUE  
DU MARIGOT DE BAILA

Rapport final  
de la Campagne 1979-1980

R. GALLAIRE

Juillet 1980

## PLAN DE L'ETUDE

### PLAN DE L'ETUDE

#### PRESENTATION DE L'ETUDE

#### OBJECTIFS

#### DEROULEMENT DE LA CAMPAGNE

### I - PRESENTATION PHYSIQUE DU BASSIN VERSANT.

1. Situation géographique et caractères généraux .
2. Caractéristiques physiques du bassin versant.
  - Paramètres de forme :
  - Caractères du relief :
3. Géologie et Sols
4. Etude du réseau hydrographique
5. Esquisse morphologique - Paysages :

### II - ETUDES CLIMATOLOGIQUES :

1. Les données disponibles.
2. Etude des caractéristiques générales :
  - Températures
  - Humidité
  - Evaporation
  - Insolation
  - Vents
3. Etude de la pluviométrie :
  - Les stations de référence
  - Etude statistique des pluviométries annuelles
  - La pluviométrie mensuelle (D'après Et.B.Moret sur 49 ans)
  - Pluviométrie ponctuelle journalière
  - Les caractéristiques de la pluviométrie de 1<sup>re</sup> année 1979
  - Les intensités:Hyétogrammes

### III - ETUDES HYDROLOGIQUES :

1. Les données disponibles
2. Les mesures réalisées au cours de la Campagne, leur méthodologie.

3. Etude des apports en eau douce

a) Les données de base de l'écoulement

b) Recherche des écoulements caractéristiques

- Variation du Ke en fonction de la pluviométrie
- Bilan de l'écoulement sur le B.V. pour différentes récurrences

c) Estimation et caractéristiques de la crue décennale

- Recherche des éléments disponibles
- Estimation des débits de pointe sur différents bassins
- Volumes ruisselés
- Critique des résultats et Conclusion

d) Crue exceptionnelle

e) Influence de la crue décennale dans les biefs soumis à la marée

4. Etude de la marée :

- a) Les ondes
- b) Les amplitudes
- c) Les volumes transités

5. La salinité :

- a) Etude
- b) Evolution
- c) Liaison avec l'évaporation

6. Le PH, la composition chimique des eaux :

7. Etude du contact entre le Marigot et les nappes.

CONCLUSION :

PRINCIPALES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

TABLE DES FIGURES.

### Avant-Propos

L'étude hydrologique du marigot de BAILA a été définie pour une durée de 16 mois dans le cadre d'une convention liant la Société Louis Berger International à l'ORSTOM.

Selon les termes de la convention la durée de l'action entreprise par l'ORSTOM devait se décomposer ainsi :

- 1 mois pour la mise en place des instruments
- 12 mois pour l'observation continue du réseau hydrologique et météorologique.
- 3 mois pour l'analyse des résultats et la mise au point du rapport final.

Après le rapport intérimaire du dixième mois présentant en mars 1980 les premiers résultats acquis au cours de l'hivernage, le document final ci-après fait la synthèse de l'ensemble des observations réalisées entre juin 1979 et juin 1980.

Objectifs de l'étude soumise à convention.

L'intervention de l'ORSTOM a eu un double but durant cette courte période de 1 an située entre le début des deux hivernages 1979 et 1980.

- Une étude climatologique de la région et plus spécialement celle,
  - . de la pluviométrie mensuelle et annuelle (répartitions et fréquences de retour)
  - . de l'évaporation et évapotranspiration,
  - . des températures et des vents
  - . de l'ensoleillement.
- Une étude hydrologique du marigot de BAIJA et de son principal affluent d'OUFQUEL, ainsi que des sources les plus importantes du B.V.

L'accent devait être mis en particulier sur :

- . les débits en eau douce des parties amont, situation de l'année 79, crues caractéristiques et période de retour.
- . l'étude de la remontée marine et de la salinité.

La réalisation de ces 2 objectifs devait conduire à un essai de bilan d'écoulement des eaux de surface sur le bassin, et de prédétermination des apports et des crues.

## DEROULEMENT DE LA CAMPAGNE

Après la mission de reconnaissance de J. Lérique, une courte campagne d'installation réalisée du 23 au 30 mai par R. CALVEZ et R. GALLAIRE a précédé la campagne de mesures commencée le 18 juin.

- Suivant les termes de la convention l'ORSTOM avait la responsabilité de l'installation des pluviomètres pluviographes et marégraphes destinés à compléter ceux du réseau national déjà en place. (fig. 1)

Quatre pluviomètres furent ainsi mis en place à proximité des villages de BITI BITI, KORANI, ALLAKINDA DJIBIDIONE et 2 pluviographes à BAILA au campement touristique et à GOLEM, à proximité de la station de TOUKARA.

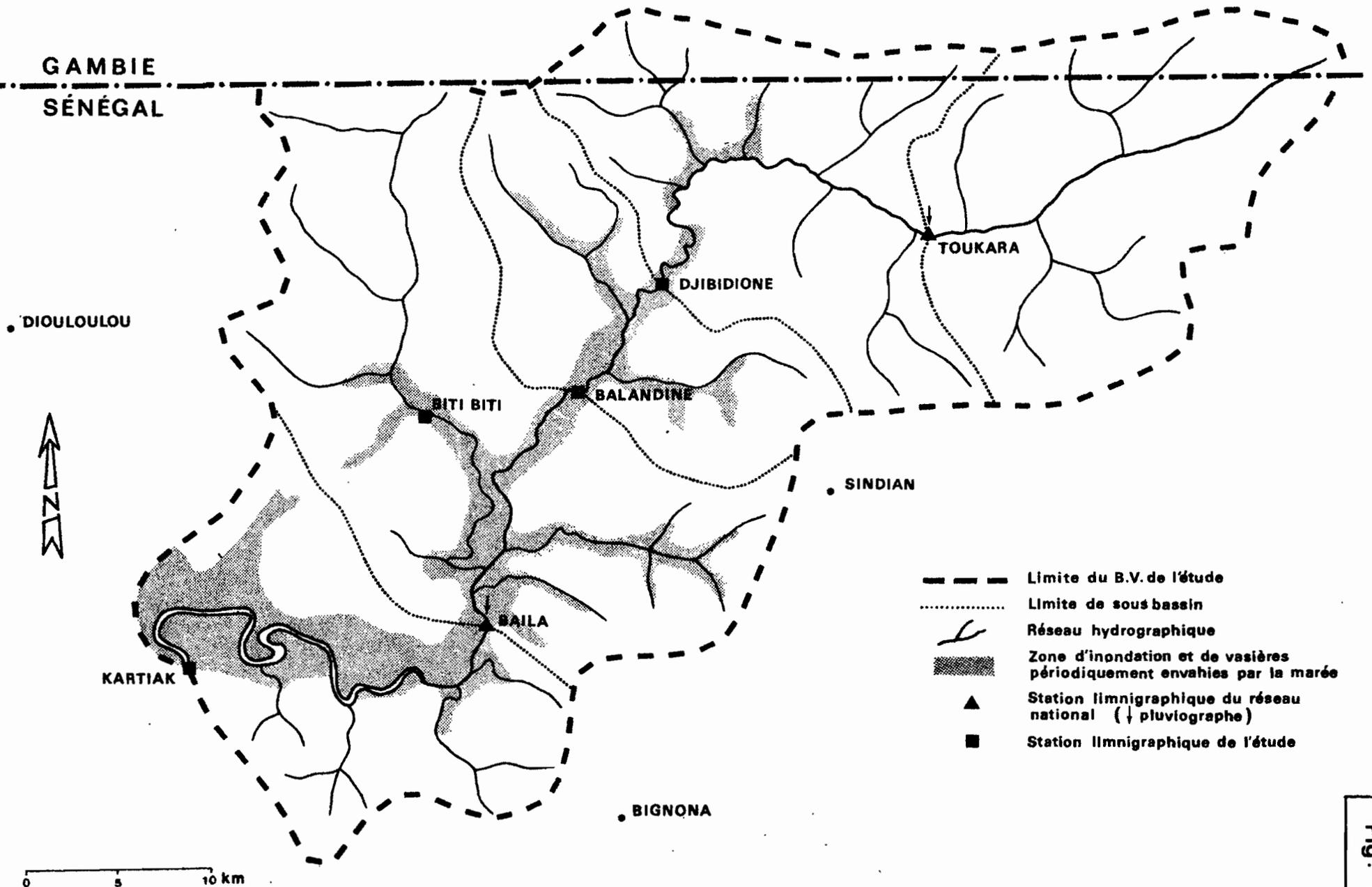
- De même 5 marégraphes OTT R20 à bande déroulante doublés d'une échelle limnimétrique installés à KARTIAK, BAILA, BALANDINE, DJIBIDIONE et à OUPUELE sur le principal affluent RG vinrent compléter les 3 appareils OTT X du réseau national.

A partir du 18 juin une équipe légère basée à BIGNONA et composée de 2 aides techniques et de R. GALLAIRE hydrologue a assuré l'ensemble des observations jusqu'au 27 octobre date approximative de la fin de la saison des pluies.

Postérieurement et jusqu'à la fin mai 1960 une tournée de contrôle a été programmée en principe toutes les trois semaines, afin d'assurer la continuité des observations au cours de la saison sèche.

L'interprétation des mesures et la rédaction de ce rapport ont été réalisées par R. GALLAIRE sous la direction scientifique de J.C. OLIVRY Chef du Service Hydrologique de l'ORSTOM au Sénégal.

## BASSIN VERSANT DU MARIGOT DE BAILA



## I - PRESENTATION PHYSIQUE DU B.V.

### 1) Situation géographique, caractères généraux (fig.2)

Compris entre 12°47 et 13°13 de latitude N et entre 15°55 et 16°32 de longitude W, le B.V. du marigot de BAILA s'étale sur 1634 Km<sup>2</sup> entre la frontière gambienne et le fleuve Casamance. Située en zone tropicale sèche, la Casamance ne bénéficie que d'une seule saison des pluies du 15 juin au 15 octobre, la saison sèche dure donc 3 mois.

Au nord la rivière KOULIBBA coule EW et le BV déborde légèrement la frontière gambienne rectiligne et de même orientation. Là où l'influence maritime se fait sentir, la KOULIBBA devient le marigot de BAILA qui prend presque aussitôt une direction générale S/SW tout en multipliant ses circonvolutions. A l'aval du bassin au delà du pont de BAILA le marigot devient plus important tout en retrouvant l'orientation EW de la KOULIBBA. De sa source à sa confluence avec le marigot de DIOULGULOU, le marigot de BAILA s'étire sur plus de 110 km alors que le B V n'atteint dans ses plus grandes dimensions que 70 km du NE au SW et 35 km du NW au SE.

Le relief assez mou, moins de 40 m pour le point le plus haut, ne donne pas au bassin un drainage important.

Les affluents disposés en arête de poisson sont peu ramifiés. La couverture végétale est très inégale.

Les secteurs les plus hauts de plateaux, ont une végétation arbustive et arborée assez dense (faux acajou, fromagers, palmiers, caecias). Ils évoluent peu en fonction de la saison. sauf au niveau des clairières cultivées : mils, arachide sorgho, de même que les zones basses de mangroves colonisées par les palétuviers (Aviconia et Rhizophora). Entre les deux les terrasses et versants cultivés (riz, mils) présentent une couverture continue en saison humide, très clairsemée en saison sèche ; la végétation arbustive (palmiers, kapokiers) n'existe que sous forme de franges ou de bouquets assez espacés.

date des.

O C C E A N A T L A N T I Q U E

G A M B I E

G U I N É E B I S S A U

SITUATION DU BASSIN VERSANT EN CASAMANCE

----- Limite du Bassin

▲ Stations de controle

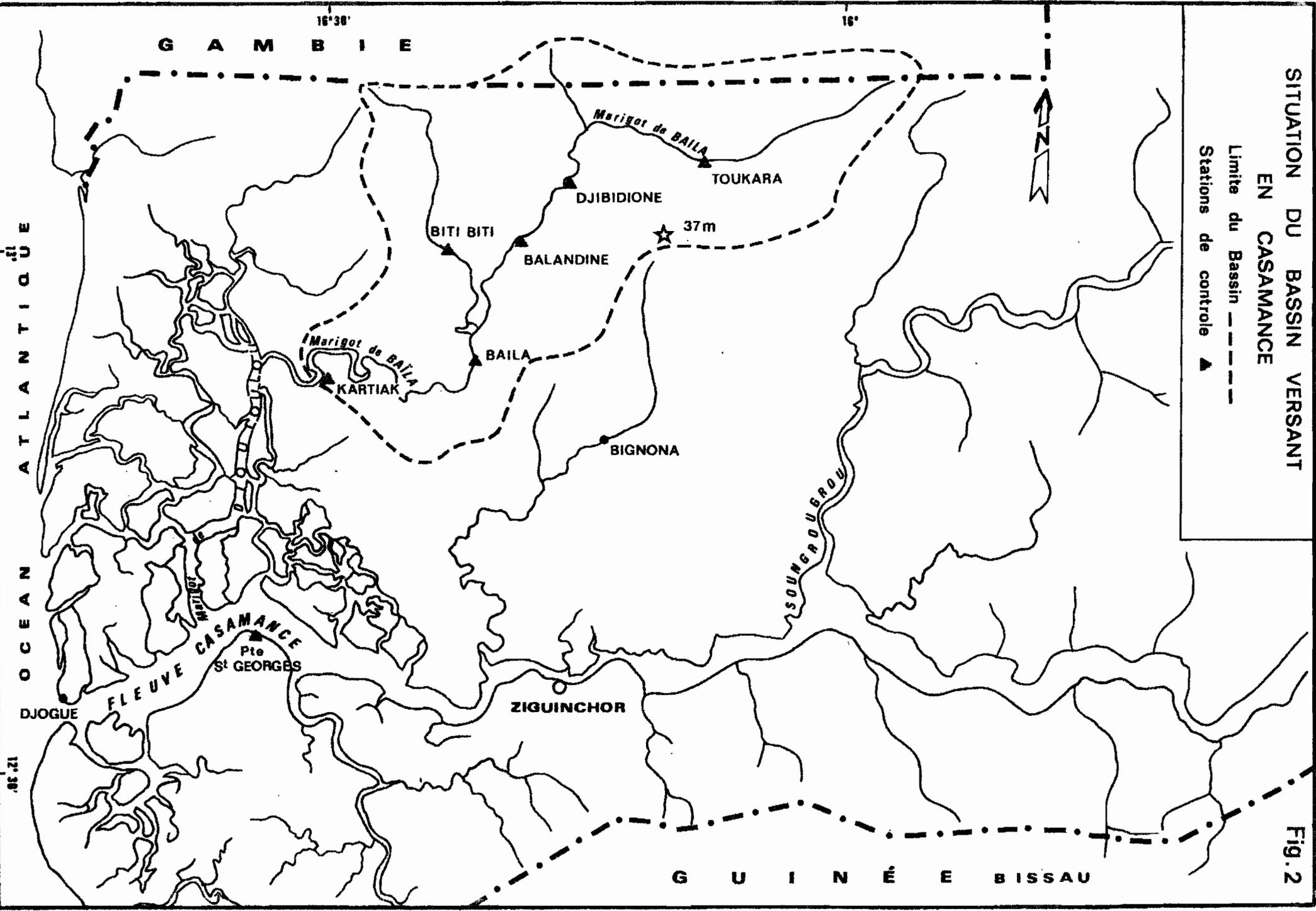


Fig. 2

2) LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU B.V.

a) Les Paramètres de forme s'établissent ainsi :

- Surface = 1634 KM<sup>2</sup> à KARTIAR
- Périmètre = 200 Km
- Coefficient de Compacité = 1,39
- Dimensions du rectangle équivalent :
  - L = 10 Km
  - l = 20 Km

Ces dernières valeurs reflètent bien l'allongement du bassin.

b) Les Caractères du relief :

Le point culminant du bassin se situerait à 57 m à proximité de Tandine (fig. 2). Etant donné l'indigence ou le caractère incomplet de la documentation cartographique il n'a pas été possible de mener à bien une étude hypsométrique satisfaisante. Les indices et classe de relief n'ont donc pu être déterminés.

Le seul document utilisable pour estimer les pentes est la mosaïque hypsométrique au 1/20 000 de la mission spéciale EGH. Encore cette dernière ne recouvre-t-elle que la vallée au sens strict du BAILA.

A partir de ce document ont été toutefois déterminées au niveau de chacune des stations de contrôle une pente moyenne en travers de la vallée (moyenne établie sur 4 à 6 valeurs de pente, en aval et en amont, en rive droite comme en rive gauche convexe et concave). Pour se faire nous avons suivi la méthode employée par Rodier Auvray lorsque les données topographiques sont indigentes. C'est-à-dire que nous avons considéré la pente moyenne de deux profils sur les 60 % médians de leur longueur.

Ainsi la pente moyenne transversale apparaît faible et évolue peu de l'aval vers l'amont.

- à BAILA = 1,2 %
- BALANDINE = 1,47 %
- DJEBIDIONE = 1,51 %

En amont de DJIBIDIONE la pente moyenne décroît et on retrouve la valeur déterminée au niveau de BAILA = 1,2 %

En aval, à Kartiak, la pente n'a pu être estimée qu'à partir du nivellement effectué pour rattacher le 0 échelle à une borne située à près de 900 m de la rive. La pente transversale à cette station n'est plus que de 0,5 %

Comme le laisse supposer la profonde pénétration des eaux marines de faible marnage, et les nombreuses circonvolutions du lit du marigot, la pente longitudinale est insignifiante sur toute la partie en aval de Balandine, et d'une grande faiblesse à l'amont de cette station.

Elle a été estimée grâce à l'établissement des lignes d'eau à partir des hauteurs moyennes de l'année rattachées au nivellement du projet pour chaque station.

On peut estimer que ces lignes d'eau sont une bonne image de la pente moyenne.

Sur l'intervalle Toukara Djibidione (24 km) la pente n'est que de 0,0125 %

Entre Djibidione et Balandine (0,5 km) elle décroît : 0,0027 %

Entre Balandine et BAILA (18 km) elle est d'une faiblesse extrême : 0,0009 %

Entre BAILA et Kartiak elle devient insignifiante : 0,0002 %

### 3) Etude du réseau hydrographique

Fortement influencé dans ses orientations par la structure faillée résultant en bordure de cuvette du lent mouvement de subsidence affectant la Gasamance depuis l'Éocène, le tracé du réseau hydrographique apparaît très circonvolué en raison de l'extrême faiblesse des pentes.

Pour cette même raison, l'influence de la marée se fait sentir très loin en amont, jusqu'à plus des 2/3 du cours principal du marigot, et dans une proportion souvent plus importante sur ses affluents.

La mollesse du relief se traduit aussi par une faible densité de drainage, surtout à l'aval.

Les caractéristiques de ce réseau déterminées suivant la classification de Schum. confirment ces observations (tableau 1).

N° d'ordre des Thalwegs	1	2	3
Nombre des Thalwegs	39	11	1
Longueur des Thalwegs en km	206	91	90
Long. moy. des Thalwegs en km	5,3	7,6	90

La présence de 3 ordres seulement souligne la faiblesse de la hiérarchie du réseau (fig. 3).

La densité de drainage n'est que de : 0,236 Km/Km<sup>2</sup>

Les rapports de confluence et de longueur sont représentés par pente des droites d'ajustement très médiocres de la fig. (4)

$$\text{soit } R_0 = 3,5$$

$$R_1 = 1,8$$

La fréquence des cours d'ordre 1 ; 0,03 p r Km<sup>2</sup>, confirme la faible densité de drainage de ce bassin aux pentes très peu accusées et aux sols souvent très perméables.

#### 4) Géologie et sols :

A partir des forages pétroliers réalisés dans la région, il est possible de reconstituer le Schéma stratigraphique et structurel du B.V.

Si on se fixe pour base les puissantes formations Eocènes qui comprennent sur 300 m environ une intercalation de couches argileuses et calcaires, la stratigraphie montre successivement :

- la série oligo-miocène, argilo sableuses grises, d'une centaine de mètres d'épaisseur.

## LE RESEAU DU BASSIN VERSANT DU MARIGOT DE BAILA

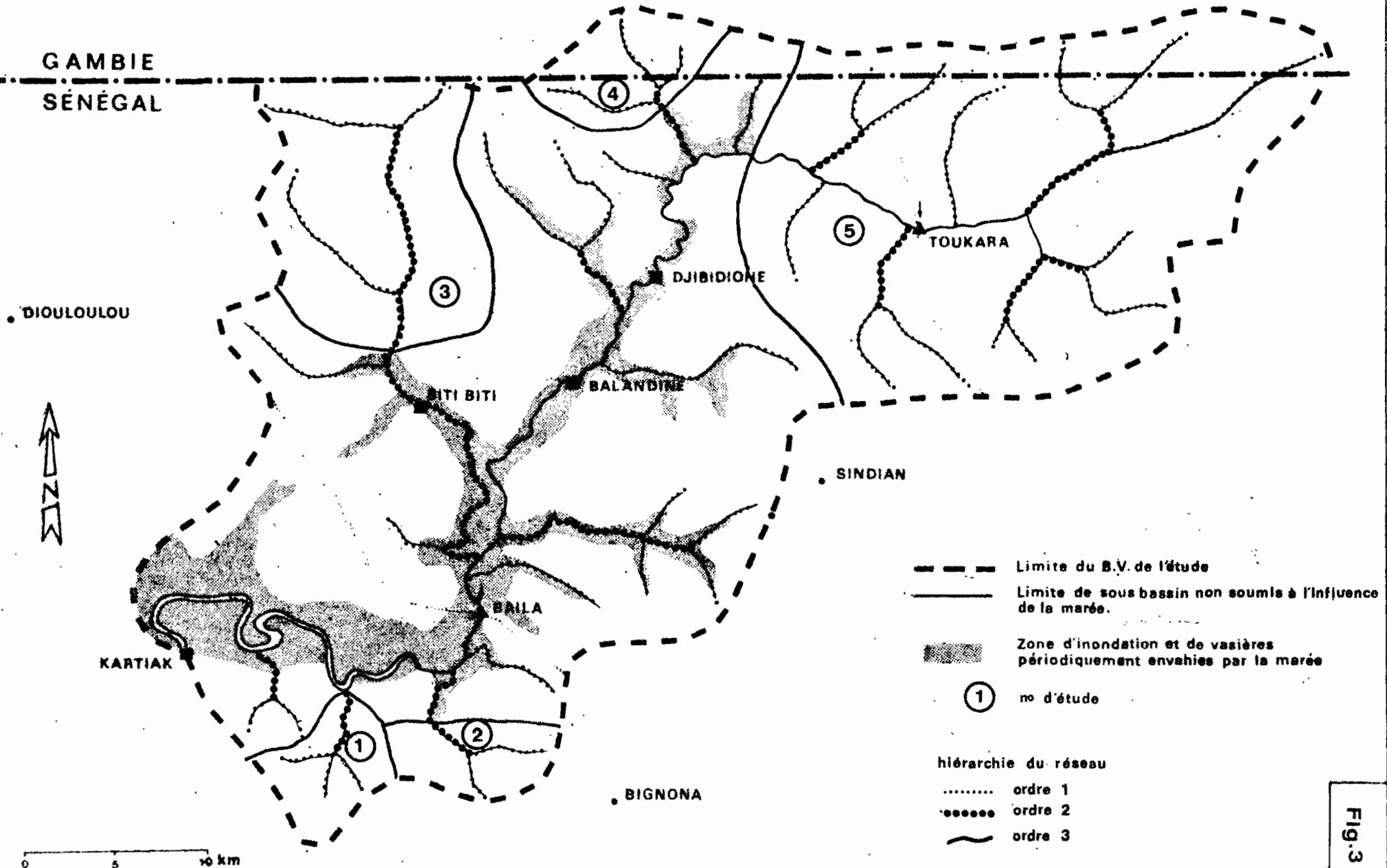
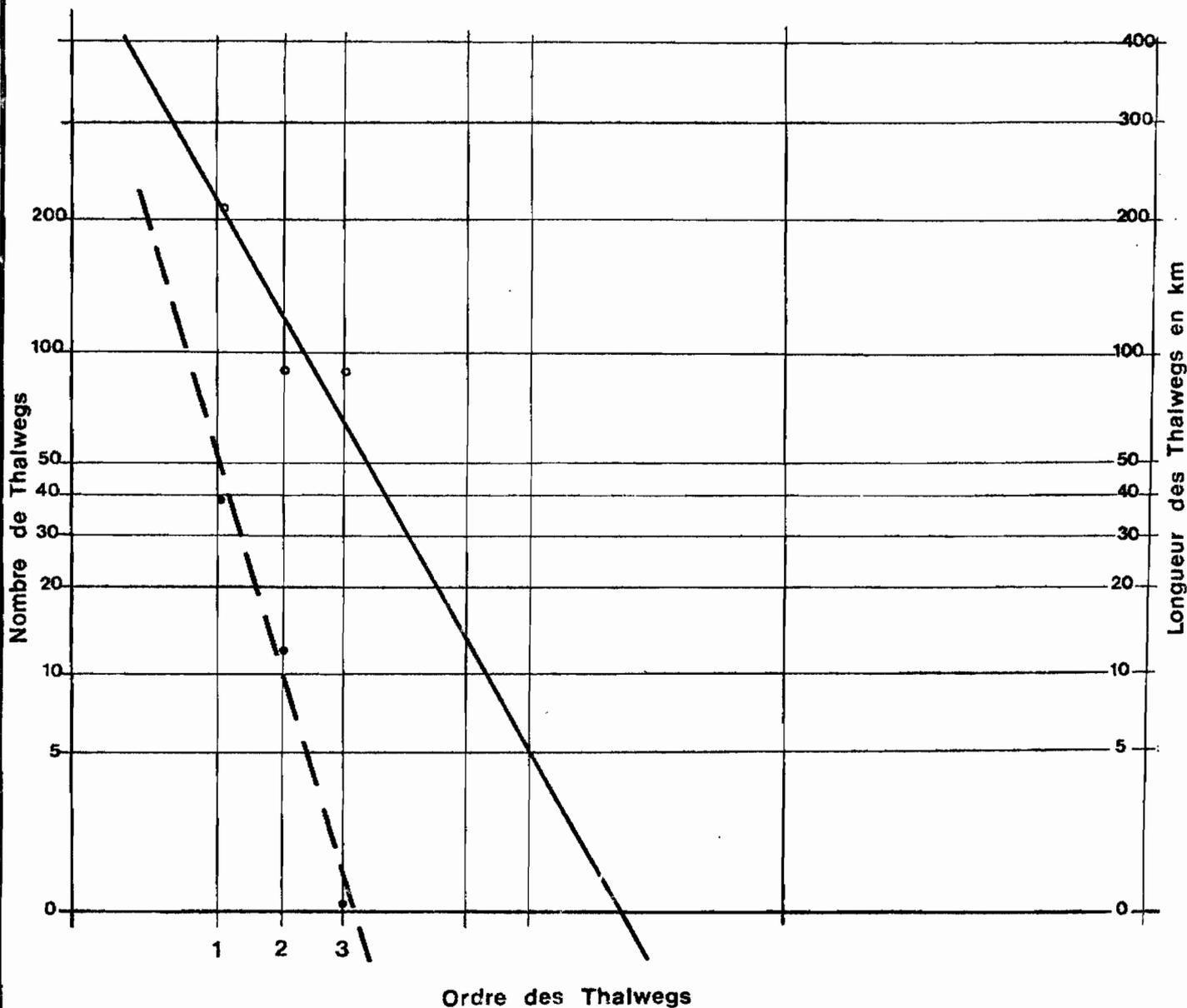


Fig. 4

Rapport de confluence    • - - - - •  
Rapport de longueur    ○ - - - - ○



- les sables argileux jaunes (20 à 40 m) du Continental Terminal surmontés d'un horizon latéritique (2 à 4 m) induré, lorsqu'il affleure, marquant la fin du tertiaire.

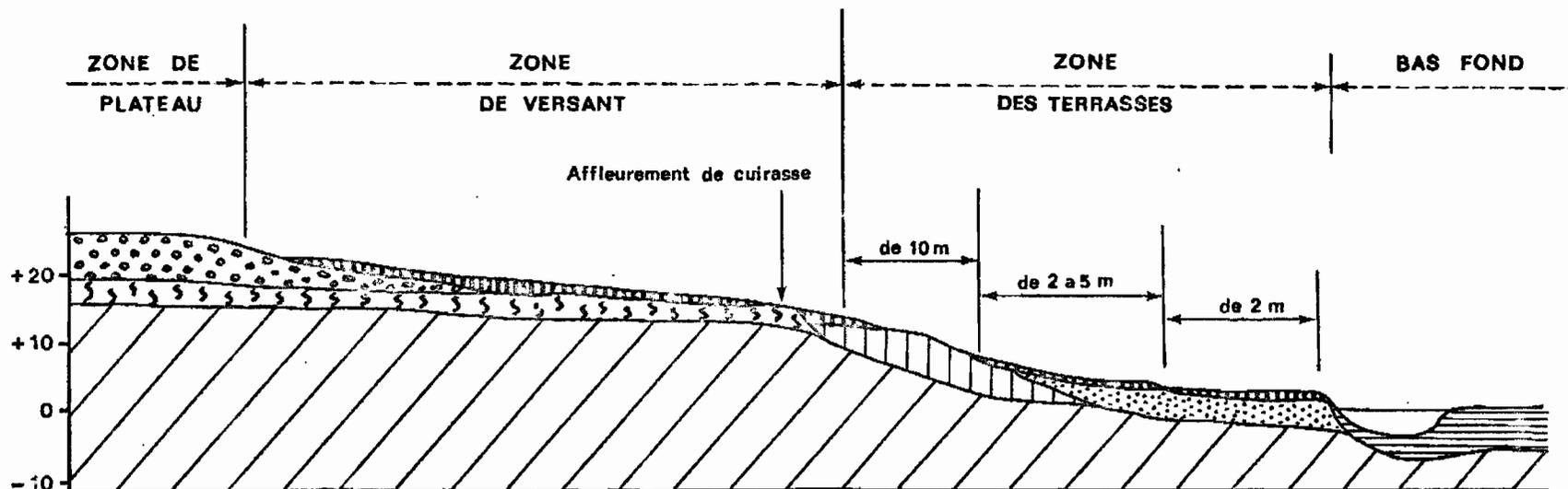
C'est dans ces formations que lors de la régression ogolienne l'ancienne vallée du BAÏLA s'est creusée pour être ennoyée par la suite au cours de la transgression Nouakchottienne.

- Enfin les formations quaternaires dans lesquelles se sont encastrés, à la faveur de 3 petits épisodes regressifs, transgressifs successifs, le marigot et ses affluents.

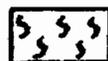
Ces formations quaternaires sont représentées :

- Sur le plateau, par un banc de sables rouges vifs (10 m environ), plus ou moins induré pouvant montrer un aspect gréseux, surmonté de matériaux de même origine aneublissés par les remaniements hydro-éoliens.
- Sur les versants par cette même formation de plateau, d'épaisseur plus réduite en partie démantelée et largement colluvionnée.
- Sur les bords des versants par une succession de terrasses encastrées directement dans les sables argileux jaunes du Continental Terminal et composées de matériaux sableux et colluvionnés.

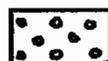
Dans les bas-fonds par des vases récentes d'épaisseur variable enboitant le lit du marigot et pouvant circonscire des îlots sableux du Continental Terminal.



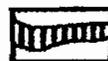
Argiles jaunes limoneuses



Cuirasse latéritique



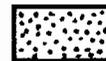
Formations de plateau  
sables et grès



Formations colluvionnaires



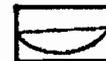
Terrasse de 10 m ( sols beiges )



Terrasses de 2 et 5 mètres argilo sableuses



Vasières



Lit du MARIGOT

ESQUISSE GÉOMORPHOLOGIQUE DE LA MOYENNE VALLÉE DU BAÏLA

( D'APRÈS TRAVAUX DE A. AUBRUN ET M. ANGALENG )

5) Esquisse géomorphologique et paysages (fig.5)

Les paysages sont marqués par la morphologie tabulaire.

D'une manière générale on retrouve toujours :

- une zone de bas-fonds
- une zone de versants composés,
- une zone de plateaux

• Les bas-fonds :

Les marigots sont installés dans des vases noires argileuses dont l'épaisseur décroît vers l'amont : . . .

- 10 m à Kartial
- 8 m à BAHIA
- 5 m à Balandine
- 3 m à DJIBIDJONE

Ces vases qui s'étalent la plupart du temps de part et d'autre des rives, sont régulièrement inondées à marée haute. Colonisées par la mangrove, elles alternent avec des tannes plus ou moins vifs. Il en résulte un paysage semi-aquatique dans les fonds, dont l'équilibre biologique est actuellement menacé par la sursalure et le phénomène de sulfatation acide des sols qui résulte de drainages inopportuns. (exemple des mangroves en péril sur les rives convexes du marigot en amont de BAHIA) - Cf. travaux de C. Marius sur les sols de mangroves dans la région.

• La zone de versants composés :

- Trois étages de terrasses encadrent ces bas-fonds et constituent la partie basse des versants
  - La première et la plus récente est la terrasse "de 2 m". Formée par les colluvions provenant de parties plus hautes, elle est occupée par les rizières.
  - La seconde ou "terrasse marine de 2 à 5 m" est constituée de sables blancs. Une frange arbustive dense de palmiers et de kapokiers la colonise souvent.

- La troisième ou "terrace marine de 10 m", constituée de sols beiges sablonneux est occupée par les cultures du riz fluvial, du mil et de l'arachide.

- La partie haute des versants comprend :

- des sables rouges colluvionnés en surface, surmontant,
- le niveau latéritique, cuirassé lorsqu'il affleure.

Cette zone est généralement occupée par une brousse buissonnante peu arborée défrichée localement pour la pratique des cultures sèches du mil et de l'arachide.

• La zone des plateaux :

Les sables rouges à aspect gréseux apparaissent peu colluvionnés. Ils portent une forêt de densité variable (cassias, fromagers, ronciers...) défrichée localement pour les cultures sèches.

Dans le Nord-Est du B.V., hors de l'influence de la marée, les bas-fonds vaseux disparaissent et les thalwegs plus étroits aux versants colluvionnés plus courts s'encaissent légèrement dans les plateaux à l'importance et à la densité forestière croissantes.

## II - ETUDES CLIMATOLOGIQUES

### 1) Les données disponibles

- Les données antérieures
- Trois stations régionales seulement présentent une période d'observation suffisamment longue permettant un traitement statistique des données pluviométriques :
  - ZIGUINCHOR (1921-1979)
  - BIOULOULOU (1937-1979)
  - BEGONA (1954-1979)

- Les autres données climatiques sont issues ou du rapport de Y. Brunet Moret de 1970, ou des services de l'ASECNA exploitant à Ziguinchor la seule station météorologique à peu près complète de la région.

Nous avons retenu en particulier : les températures moyennes, maximales et minimales ; l'Humidité relative ; les vents (direction et vitesse) ; l'Evaporation Piche en absence de valeur sur bac ; l'insolation.

- Les données de la Campagne :

- 11 postes installés sur le Bassin, ou à proximité, nous ont permis d'obtenir les valeurs pluviométriques journalières de mai à novembre. (Le tableau 4 présente la pluviométrie mensuelle de ces stations).
- Une station météo simplifiée a été installée tardivement, courant Août, à Djibidione. Les valeurs de l'évaporation sur bac ont retenu notre attention, encore qu'il faille les considérer avec prudence.

## 2) Etude des caractéristiques générales du Climat :

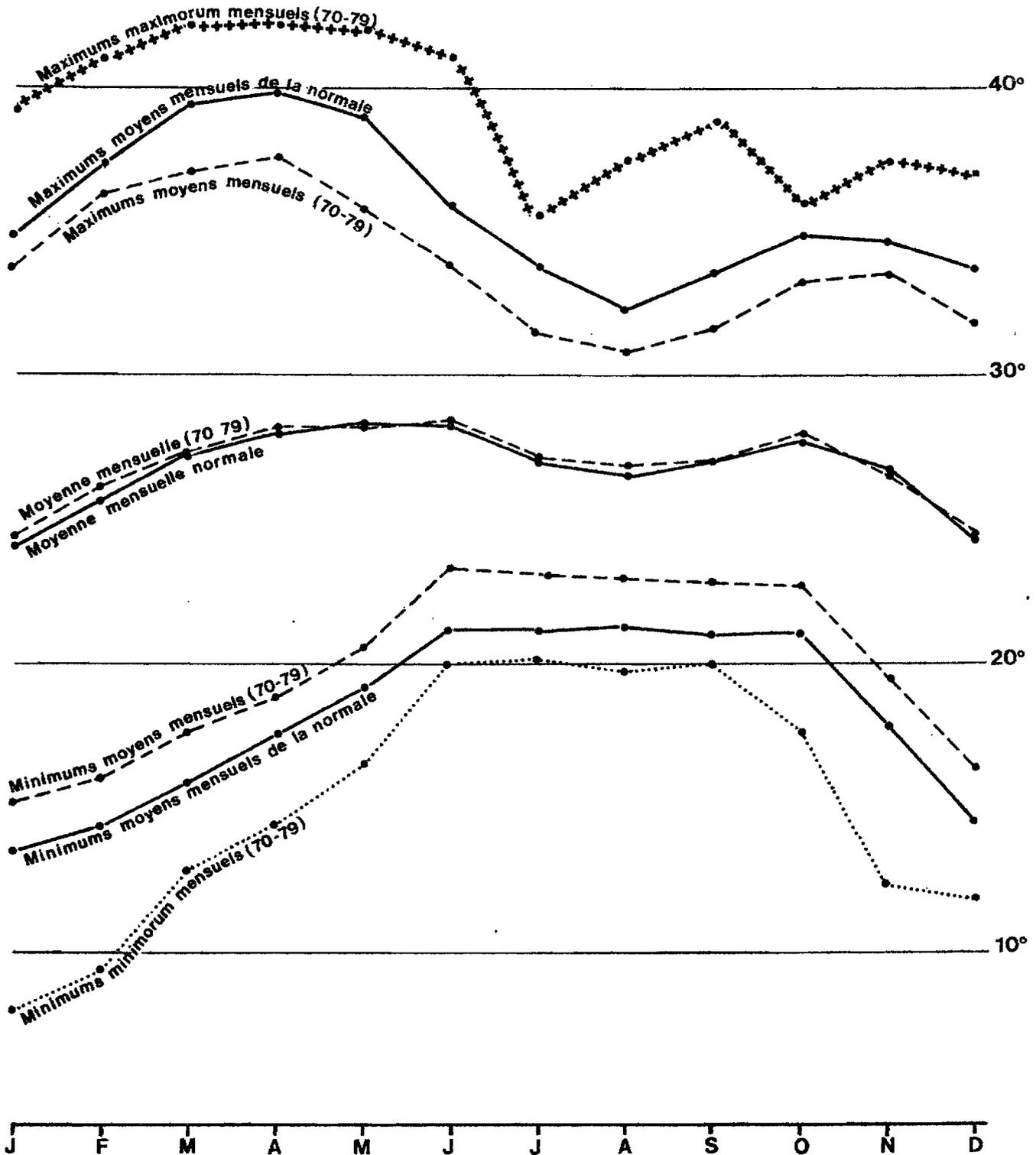
### a) Les températures : (fig. 6)

La comparaison entre les données établies sur une normale de 40 ans et celles établies sur les dix dernières années ne met pas en évidence de variation sensible au niveau des températures moyennes mensuelles. La température moyenne mensuelle minimale se situe toujours en janvier et la température moyenne maximale en mai-juin à la veille des premières pluies. Un minimum relatif existe en août au cœur de l'hivernage et un maximum relatif en octobre à la fin de la saison des pluies.

Par contre la comparaison des maximums et minimums moyens mensuels montre que les maximums moyens mensuels de la dernière décennie sont entre 1 et 2° moins élevés que ceux de la normale, les minimums moyens mensuels évoluant en sens inverse. Ces variations inverses expliquent que le phénomène ne se retrouve pas au niveau des moyennes mensuelles. L'amplitude moyenne mensuelle des 10 dernières années apparaît donc affaiblie de 3 à 4° par rapport à la normale.

## ÉTUDE COMPARATIVE DES TEMPÉRATURES A ZIGUINCHOR

— Normale : sur 40 ans  
 - - - Décennie 1970-1979



b) L'humidité relative : (fig. 7)

La moyenne mensuelle, minimale de Janvier à Mars, croît progressivement jusqu'à son maximum en Août. Jusqu'au début d'octobre, elle reste importante ; elle décroît après assez rapidement.

A l'échelon journalier l'amplitude est plus sensible en saison sèche qu'en hivernage. Ceci en raison des nuits claires et relativement fraîches qui favorisent la condensation nocturne et donc une assez forte humidité relative au petit matin. Alors que l'ensoleillement maximum dans la journée et les vents secs de secteur N à E provoquent un assèchement de l'air important.

En hivernage, la fréquence des précipitations et du couvert nuageux de nuit comme de jour limitent les écarts de ces valeurs.

Ainsi l'amplitude moyenne de mars sur la décennie 70-79 est de 65 %

Alors que celle de septembre n'est que de 33 %

c) L'évaporation :

- l'évaporation Piche : (fig. 7)

Seule la station de Ziguinchor possède une période d'observation intéressante. On peut vérifier (fig. 7) que l'évaporation évolue en sens inverse de l'humidité relative : Maximale en Mars, elle est minimale en Août-Septembre.

- l'évaporation sur bac assimilé Class A :

Les valeurs journalières nous en sont données de septembre 79 à Avril 80 par la station de DJIBIDIONE (tableau 2). Il faut signaler que le bac circulaire ayant 1 m de diamètre, donc une superficie sensiblement inférieure à 1 m<sup>2</sup>, les mesures observées sont automatiquement surévaluées par un effet de paroi supérieur à la normale représentée par le bac classique de "Class A".

STATION DE ZIGUINCHOR

Fig.7 - VARIATIONS MENSUELLES DE L'HUMIDITÉ RELATIVE (U) ET DE L'ÉVAPORATION PICHE (E) Période 70-79

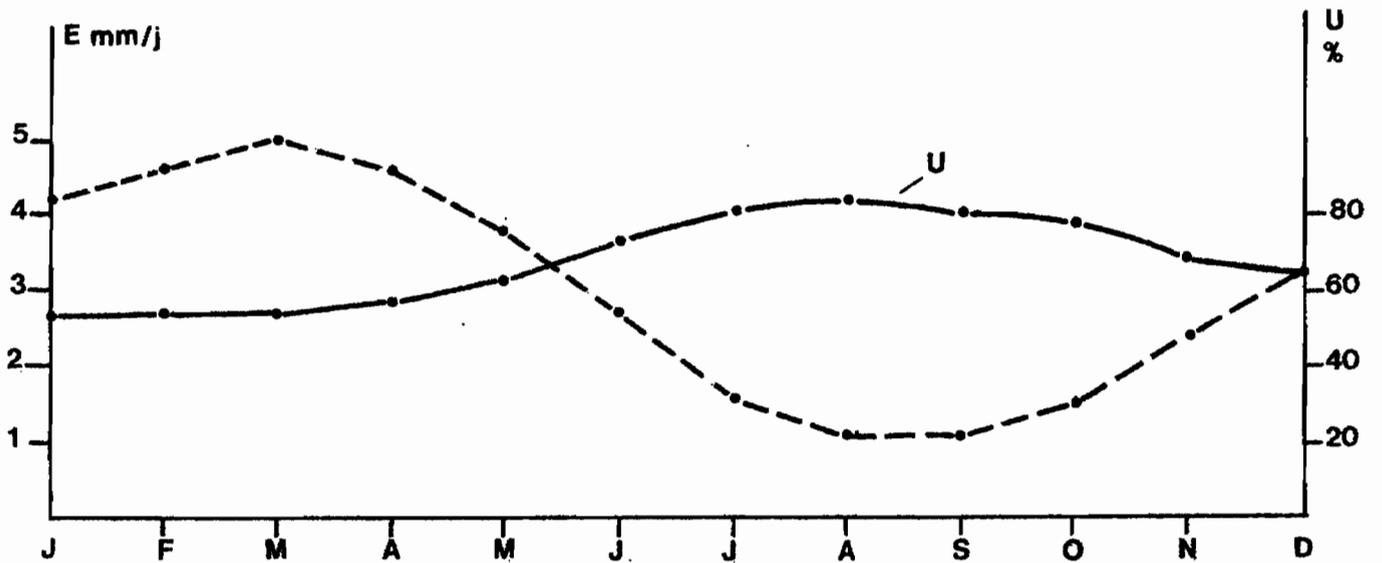


Fig.8 - VITESSES MOYENNES DU VENT AU COURS DE L'ANNÉE

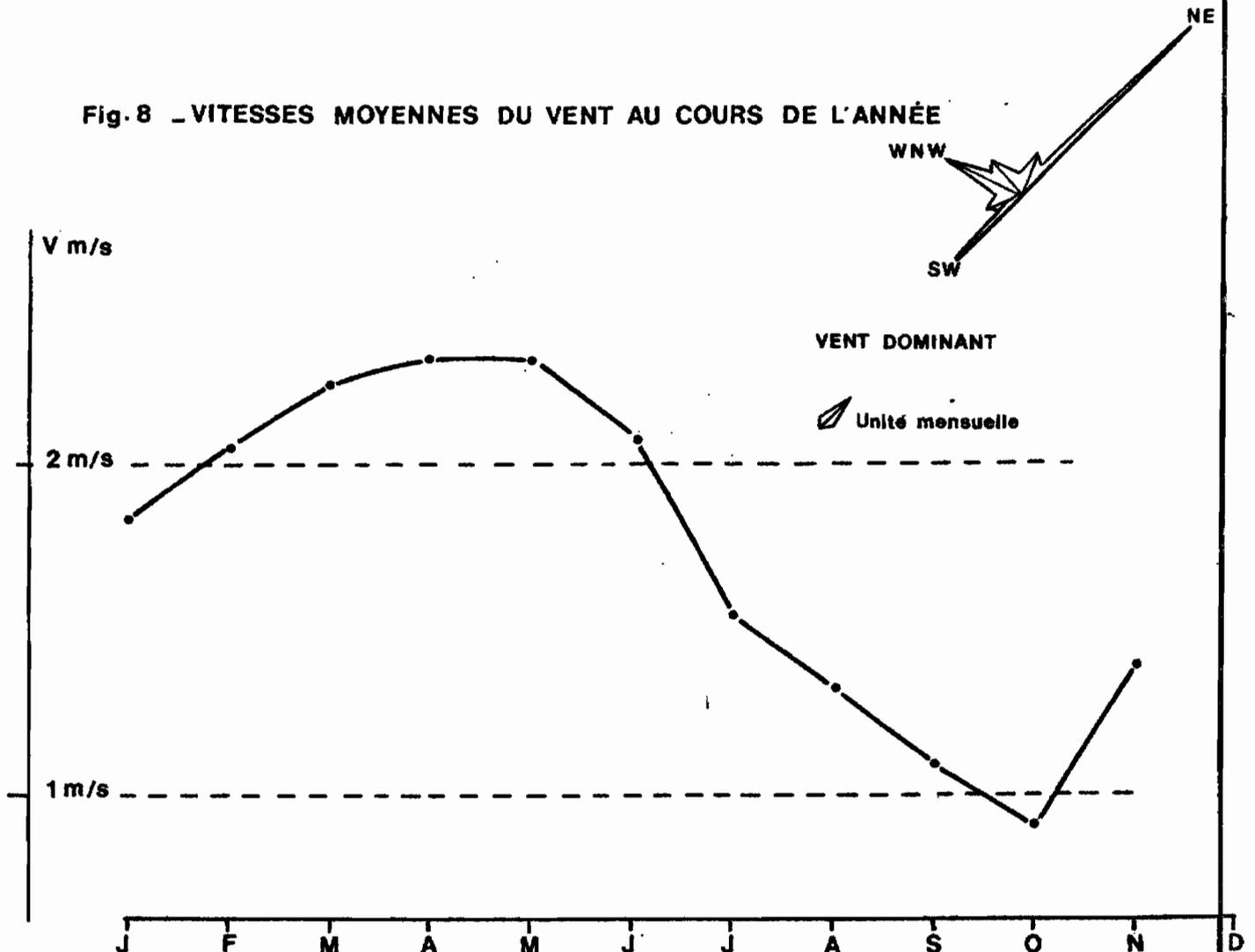


Tableau 2.

mois EVAPORATION	S	O	N	D	J	F	M	A
Total mensuel	107	114,1	150,8	202,2	179	209,8	265,6	226
MOYENNE JOURNALIERE	3,4	3,8	5	9,1	5,8	7,2	8,6	9

## d) L'insolation :

Si l'on observe le tableau (3) ci-dessous on constate qu'elle est importante toute l'année avec un fléchissement de sa durée d'environ 30 % seulement au cours de la saison des pluies.

Année 79 Insol.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Moy. j. en H et 1/10.	7,9	9,7	9	9,9	10	7,7	7,4	6,7	7,2	7,5	8,9	8

## e) Les vents :

- La direction : Au cours de la saison sèche de novembre à avril les vents secs de secteurs N à E sont dominants.

A partir de mai s'établissent les vents humides de secteur S à W qui restent prépondérants au cours de l'hivernage (fig. 8).

- La vitesse : Elle n'est pas négligeable dans l'ensemble si l'on tient compte du fait que les vents tombent le plus souvent au crépuscule. Maximale en fin de saison sèche, avril-mai, où elle dépasse régulièrement 4 m/seconde dans la journée, elle décroît en saison humide jusqu'en octobre, et compte tenu des coups de vents de S/SE relatifs aux tornades et qui gonflent la moyenne, on peut estimer que les vitesses diurnes dépassent peu 1 mètre/s.

### 3) Etude de la pluviométrie

#### a) La pluviométrie annuelle

- Un document SOMIVAG de 1978 met en évidence l'évolution du tracé des isohyètes interannuelles sur la basse Casamance en 1968 (par Y.B. Morat) en en 1978 (fig. 9). L'incidence de la sécheresse est nette au cours de ces dix dernières années.

- C'est à partir des données des postes de Ziguinchor Diouloulou, et Bignona qu'a été réalisée l'étude de la pluviométrie. Un certain nombre d'années étant apparues inexploitable une corrélation entre Ziguinchor, la station la plus longuement observée et la plus fiable (ASECNA), et les 2 autres stations a été tentée. Elle s'est révélée peu encourageante, aussi, compte tenu du nombre d'années disponibles, a-t-il été décidé de ne conserver que les années sûres.

soit pour Ziguinchor = 54 ans (tab. 4)

Diouloulou = 30 ans (tab. 5)

Bignona = 24 ans (tab. 6)

Les distributions s'accrochent assez bien de la loi normale (fig. 10-11-12).

Un essai d'analyses en loi Pearson III de la série de Ziguinchor n'a pas produit un ajustement sensiblement meilleur que celui obtenu avec la loi Normale. Cette dernière a donc été retenue.

Les paramètres en sont présentés dans le tableau 7 ci-dessous pour chacune des séries.

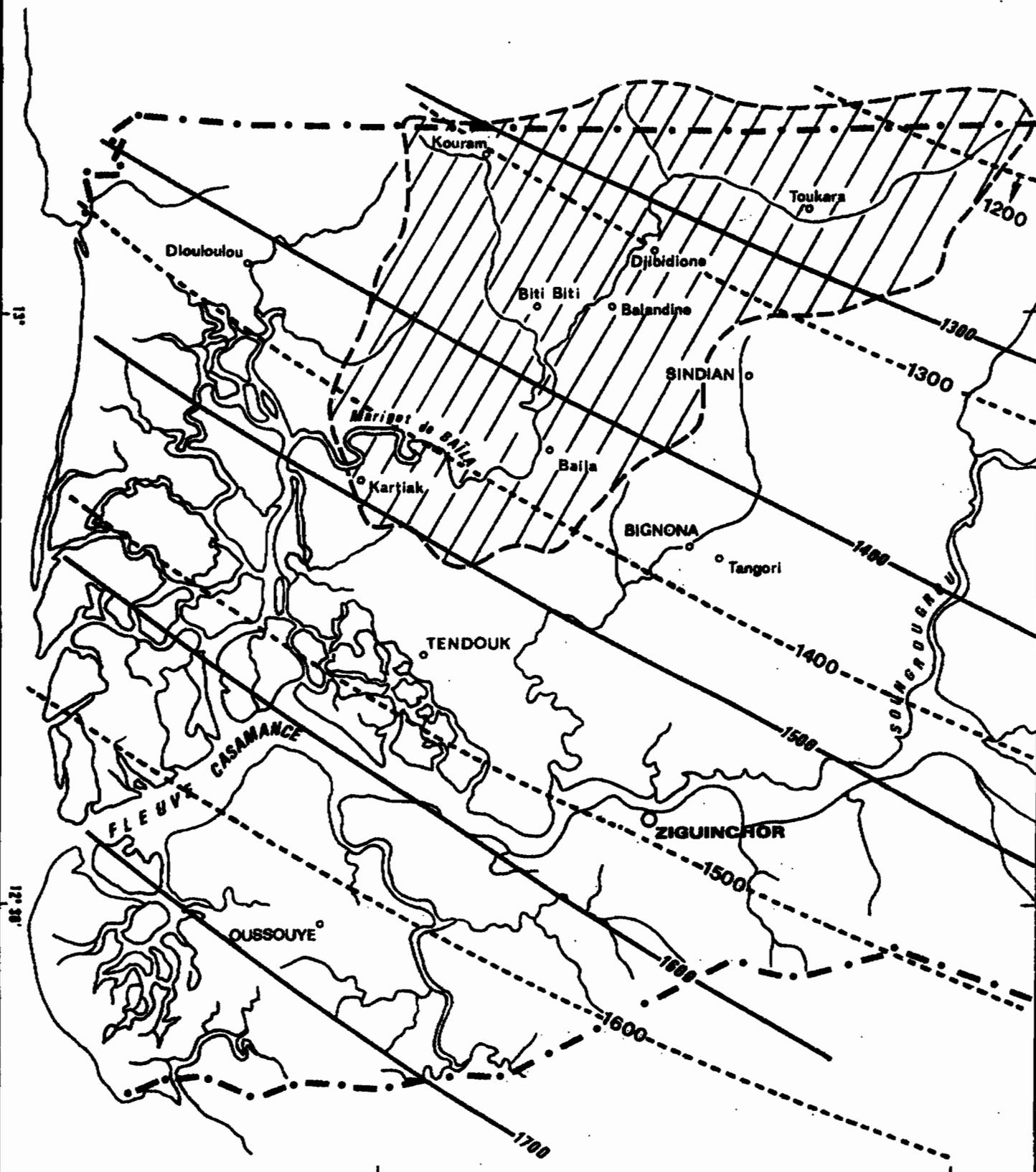
Série / Paramètres	ZIGUINCHOR 54 ans (entre 1921 et 1979)	DILOULOU 30 ans (entre 1937 et 1979)	BIGNONA 24 ans (entre 1954 et 1979)
Moyenne en mm	1514	1339	1292
Ecart type en mm	295,7	328,5	372,4

# CASAMANCE - ISOHYÈTES MOYENNE ANNUELLES

----- Isohyète (1978 SOMIVAC)      ——— Isohyète (1968 ORSTOM)

ZZZ Bassin versant du marigot de BAÏLA

Echelle: 1/500 000



PLUVIOMETRIE ANNUELLE A ZIGUINCHOR

Année	Total (en mm)
1921	1373
1922	1908
1924	2183
1925	1426
1930	1386
1931	1192
1932	1969
1933	1825
1934	1445
1935	1607
1936	2030
1937	1411
1938	1799
1939	1528
1940	1542
1941	968
1942	1426
1943	1683

Année	Total (en mm)
1944	1098
1945	1511
1946	1202
1947	1657
1948	1653
1949	1451
1950	1824
1951	1414
1952	1632
1953	1395
1954	1598
1955	1940
1956	1764
1957	1549
1958	1882
1959	1145
1960	1275
1961	1549

Année	Total (en mm)
1962	1568
1963	1429
1964	1223
1965	1757
1966	1604
1967	2007
1968	883
1969	1461
1970	1398
1971	1099
1972	952
1973	1289
1974	1240
1975	1417
1976	1297
1977	1903
1978	1819
1979	1200

Tab. n° 5

PLUVIOMETRIE ANNUELLE A DIOULOULOU

Année	Total (en mm)
1937	1530
1941	685
1942	1167
1943	1523
1944	1125
1945	1305
1946	1329
1949	1357
1950	2537
1951	1598
1954	1554
1955	1460
1956	1817
1957	1604
1964	1176

Année	Total (en mm)
1965	1419
1966	1540
1967	1650
1968	596
1969	1407
1970	1321
1971	1051
1972	616
1973	1069
1974	1117
1975	1624
1976	1680
1977	1129
1978	1139
1979	1041

PLUVIOMETRIE ANNUELLE A BIGNONA

Année	Total (en mm)
1954	1806
1955	1633
1956	1585
1957	1391
1958	2189
1959	1176
1962	1274
1963	1100
1964	1118
1965	1766
1966	1247
1967	1795

Année	Total (en mm)
1968	827
1969	1465
1970	1163
1971	905
1972	452
1973	1054
1974	1084
1975	1352
1976	1209
1977	848
1978	1499
1979	873

Fig. 10

### ZIGUINCHOR

SEQUENCE 1921-1979

— AJUSTEMENT GAUSSIQUE

- - - AJUSTEMENT DE PEARSON III

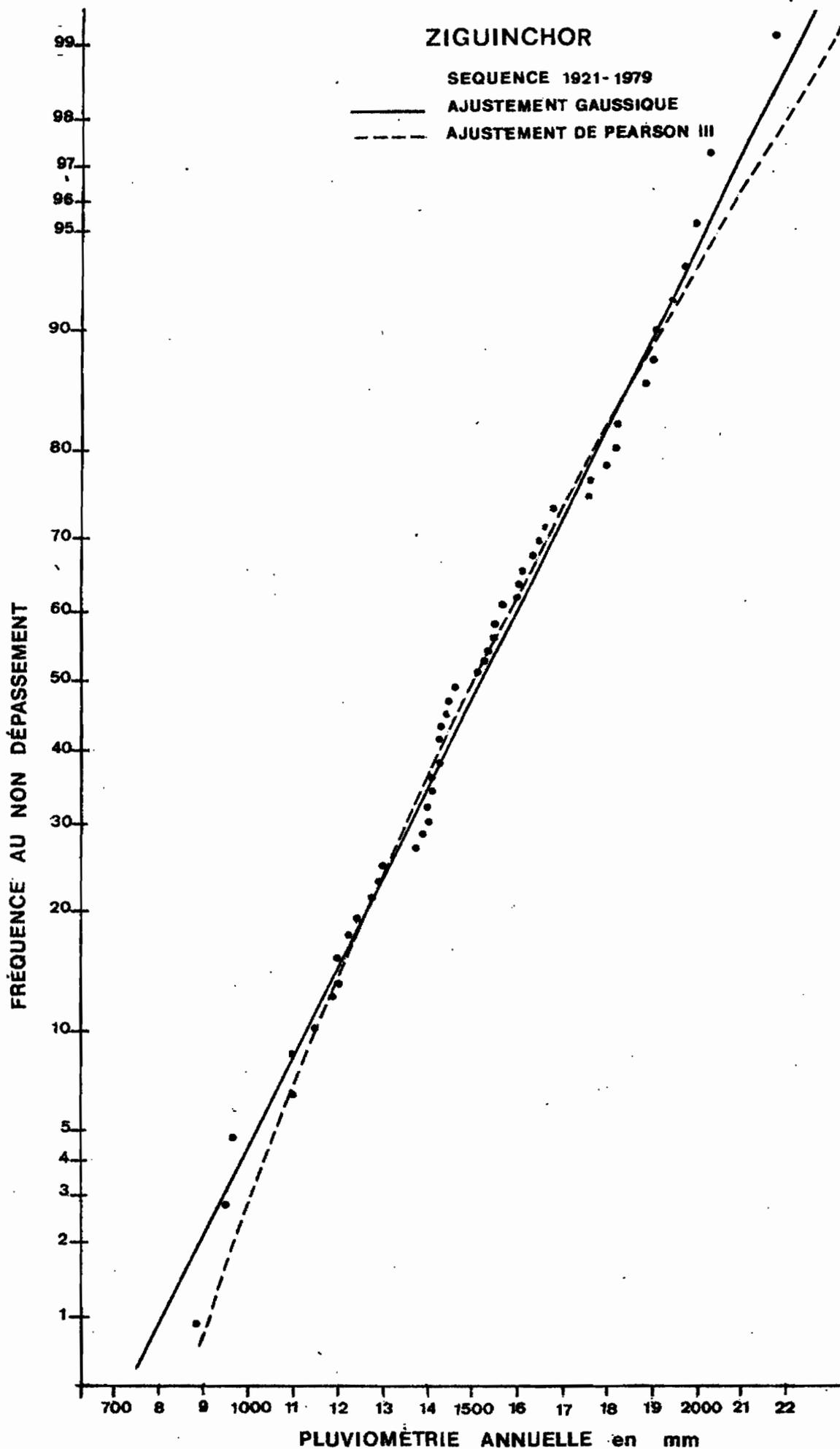
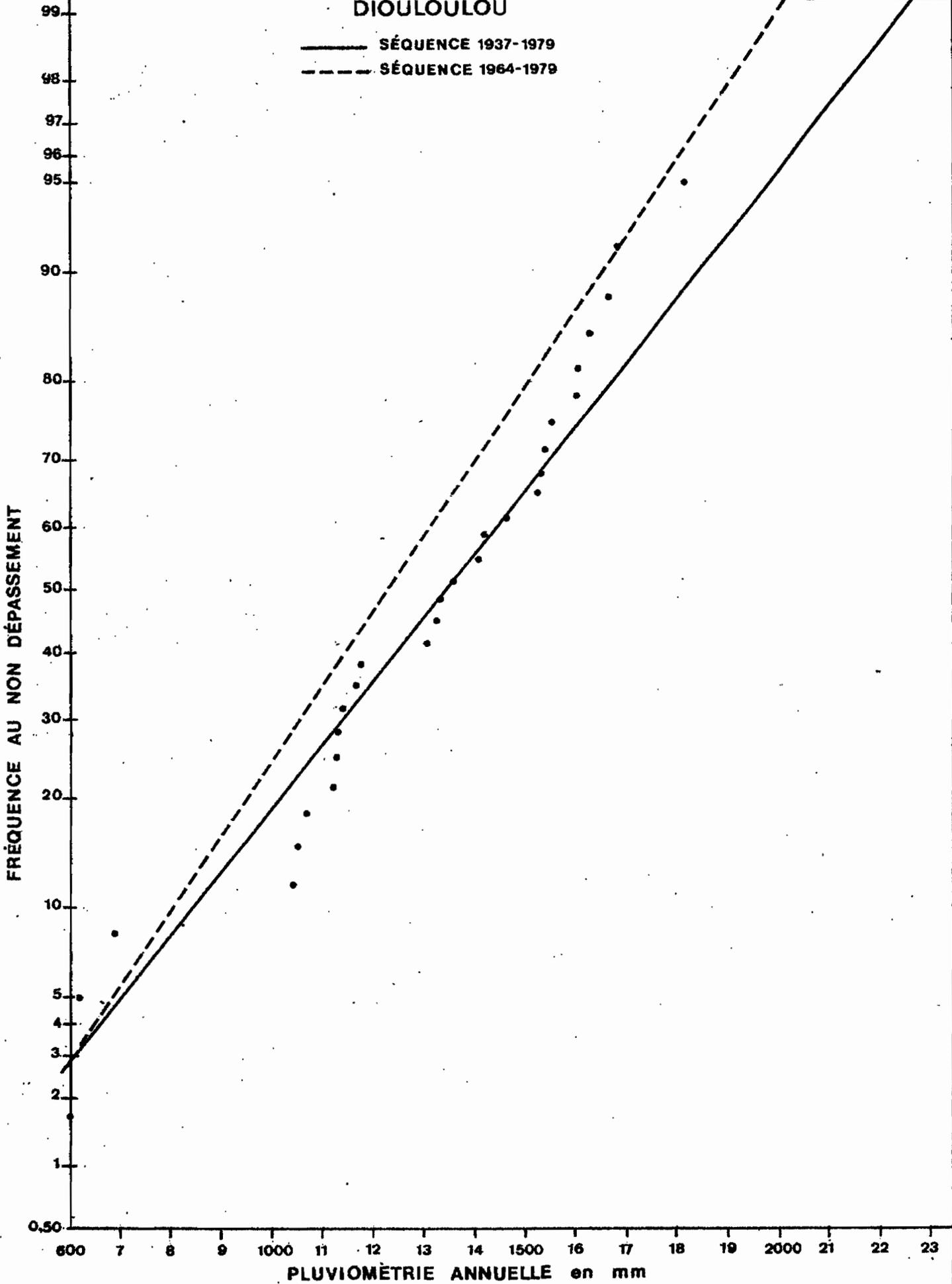


Fig. 11

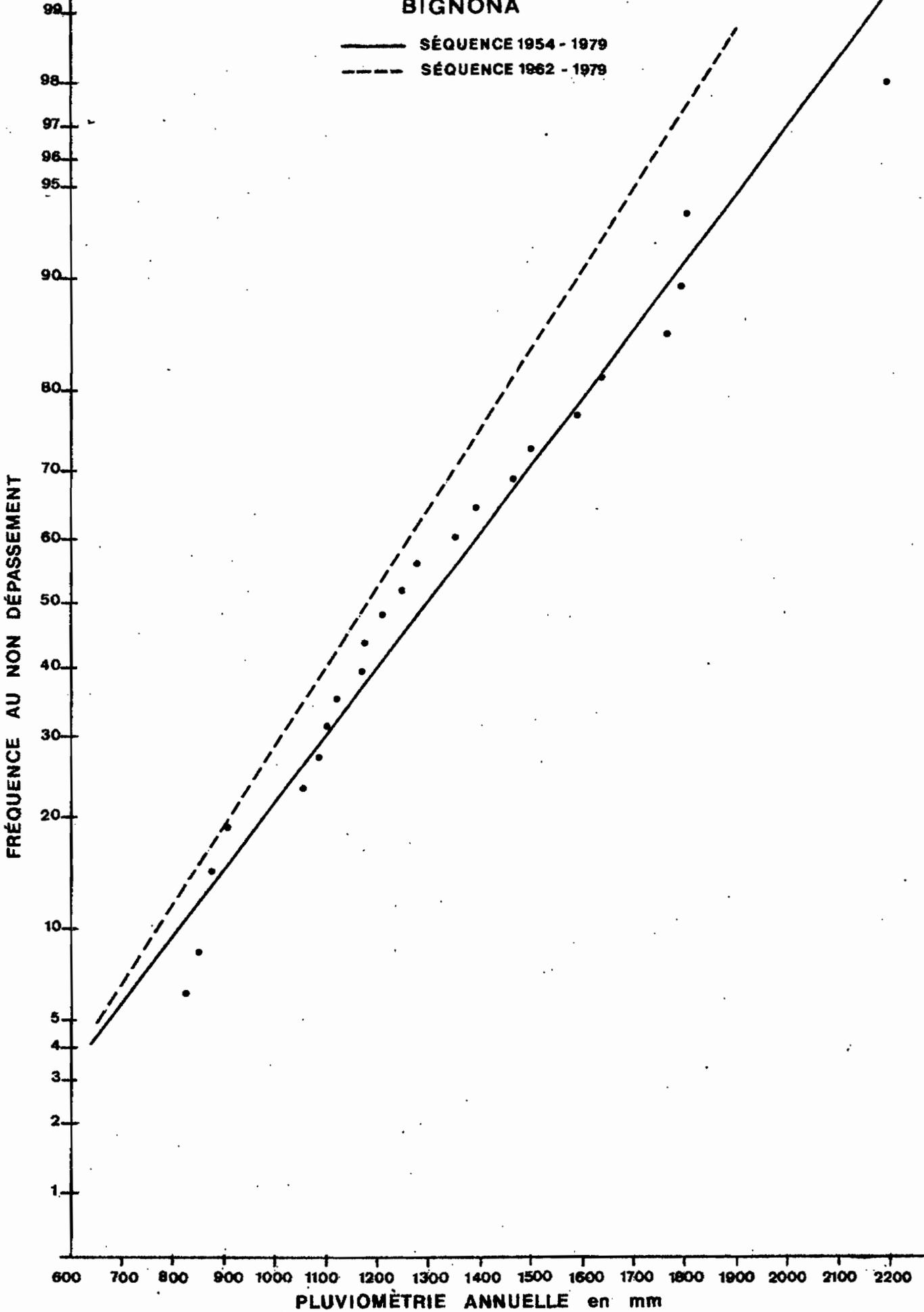
DIOULLOULOU

— SÉQUENCE 1937-1979  
- - - SÉQUENCE 1964-1979



### BIGNONA

— SÉQUENCE 1954 - 1979  
- - - SÉQUENCE 1962 - 1979



- A la demande de L.B.I. il nous était demandé de traiter la pluviométrie en considérant les deux dernières décennies, assez sensiblement déficitaires, comme représentatives, à l'avenir, d'une période normale,

Un essai effectué sur la période 60-79 à Ziguinchor a apporté des résultats assez peu encourageants dans la mesure où l'écart à la moyenne croît considérablement.

Aussi le traitement statistique s'est-il finalement effectué sur les plus longues séquences de chacune des stations ce qui constitue une approche beaucoup plus rigoureuse de ce type d'études statistiques.

Les pluviométries de récurrences caractéristiques déterminées graphiquement à partir des droites de Gauss ont été les suivantes : (Tab. 8)

Récurrences Stations	(1/100)	1/50	1/20	1/10	1/5	1/2	1/5	1/10	1/20	1/50	(1/100)
ZIGUINCHOR (1921-1979)	(810)	890	1015	1125	1260	1514	1770	1910	2020	2140	(2225)
BIGNONA (1954-1979)	(420)	520	675	810	975	1292	1610	1775	1910	2060	(2160)
DILOULOU (1937-1979)	(440)	542	700	842	1013	1339	1670	1840	1980	2140	(2240)

- La pluviométrie de l'année 79 : elle est marquée par un déficit sensible (tab. 9) qui s'inscrit dans le cadre de la période particulièrement déficitaire des dix dernières années. Ce déficit apparaît supérieur à Bignona, plus continental qu'à Diouloulou.

Station	Moyenne en mm	Pluie 79 en mm	Déficit en %
ZIGUINCHOR	1514	1200	21
DILOULOU	1339	1041	32
BIGNONA	1292	873	23

La pluviométrie de l'année 79 sur le Bassin est représentée par la figure -13- qui montre le tracé des isohyètes établies à partir de 11 postes pluviométriques du bassin ou proches de ses limites.

A partir de la méthode de Thyssen, une étude spatiale pondérée de la pluviométrie a été réalisée pour chaque bassin contrôlé (Tab. 10).

Station de Contrôle	Pluviométrie pondérée en mm
TOUKARA	707
DJIBIDIONE	685
BALANDINE	699
BAILA	750
KARTIAK	768

Etant donné que l'on ne possède aucune station d'observation de longue durée sur le bassin versant, une méthode de rattachement de la pluviométrie 79 du bassin à celle de stations connues a été recherchée afin de pouvoir en situer la récurrence.

A cet égard les stations "longue-durée" de DIOULOULOU et de BIGNONA semblent avoir une position encadrante intéressante de la partie aval du bassin (fig. 1).

En admettant que la pluviométrie ait une distribution régulière entre ces 2 stations, on peut en déduire une valeur moyenne (1315) applicable à la portion de bassin versant comprise entre BAILA et KARTIAK.

En s'aidant des valeurs du tableau 8 il est alors possible de déterminer les principales récurrences de cette valeur moyenne tab. 11.

PLUVIOMETRIE MOYENNE ENTRE DIOULOULOU ET BIGNONA  
POUR DIVERSES RECURRENCES (en mm)

Déficitaire

Excédentaire

(1/100)	1/50	1/20	1/10	1/5	1/2	1/5	1/10	1/20	1/50	(1/100)
430	530	685	825	995	1315	1640	1810	1945	2100	2200

Afin d'étendre l'étude de cette pluviométrie moyenne à l'ensemble du B.V., nous avons été amené à considérer la position des isohyètes interannuelles en gros parallèles à l'axe DIOULOULOU-BIGNONA.

Si on considère qu'une section du bassin versant est la partie de Bassin comprise entre 2 stations de contrôle, on détermine 5 sections numérotées de 1 à 5 de l'amont vers l'aval.

En tenant compte de la position relative des isohyètes et en prenant pour base la pluviométrie moyenne de l'axe DIOULOULOU-BIGNONA (section 5) a été déterminée la pluviométrie devant affecter approximativement les autres sections du B.V.

Ainsi la section 4 comprise entre les stations de BAILA et BALANDINE peut être affectée de la pluviométrie de la section 5 diminuée de 40 mm ; celle de la section 3 diminuée de 60 mm, celle de la section 2 de 110 mm et celle de la section 1 de 140 mm.

Le tableau (12) ci-dessous présente les pluviométries ainsi déterminées :

Section	Pluviométrie moyenne en mm
5 (KARTIAK-BAILA)	1315
4 (BAILA-BALANDINE)	1275
3 (BALANDINE-DJIBIDIONE)	1255
2 (DJIBIDIONE-TOUKARA )	1205
1 (TOUKARA-Tête du B.V.)	1175

Ce tableau nous permet d'établir ci-dessous (tab.13) la pluviométrie moyenne à chaque niveau de contrôle du B.V.

Bassin versant contrôlé par =	SUPERFICIE en Km <sup>2</sup>	Pluviométrie moyenne en mm
TOUKARA	324	1175
DJIBIDIGNE	644	1190
BALANDINE	852	1205
BALA	1342	1230
KARTIAK	1634	1245

A partir de ces valeurs moyennes et du tableau 11 ont été déterminées les principales récurrences de la pluviométrie pouvant affecter le B.V. à ces différents niveaux de contrôle. Ces valeurs sont présentées par le tableau n° 14.

Les résultats de ce tableau nous ont permis de situer la pluviométrie de l'année 79 qui s'établit en récurrence sèche approximativement à 1 année sur dix pour chaque niveau du bassin versant (Tab. 15).

b) La pluviométrie mensuelle :

La saison des pluies s'étale sur 5 mois de juin à octobre. La répartition des hauteurs moyennes mensuelles reste très équilibrée pour des pluviosités différentes. D'après Y. Brunet Moret la répartition mensuelle de la pluviométrie annuelle en Basse Casamance est la suivante en année normale - (Tab. 16)

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre
Pluie moyenne en mm	16	140	343	514	374	156	16
% de la pluie annuelle	1	9	22	33	24	10	1

A D D E N D U M

Tab. n° 14

RECURRENCES SECHES ET HUMIDES DE LA PLUVIOMETRIE (en mm)  
POUR LES SUPERFICIES DU BASSIN VERSANT CONTROLEES  
PAR LES STATIONS SUCCESSIVES DE :

	Déficitaire					Moyenne	Excédentaire				
	1/100	1/50	1/20	1/10	1/5	1/2	1/5	1/10	1/20	1/50	1/100
TOUKARA 324 km <sup>2</sup>	290	390	545	685	855	1175	1500	1670	1805	1960	2060
DJIBIDICNE 644 km <sup>2</sup>	305	405	560	700	870	1190	1515	1685	1820	1975	2060
BALANDINE 852 km <sup>2</sup>	320	420	575	715	885	1205	1530	1700	1835	2000	2100
BAILA 1342 km <sup>2</sup>	345	445	600	740	910	1230	1555	1725	1860	2025	2125
KARTIAK 1634 km <sup>2</sup>	360	460	615	755	925	1245	1570	1740	1875	2040	2140

Tab. n° 15

RECURRENCE DES PRECIPITATIONS 1979

Bassin contrôlé par la station de	Pluviométrie moyenne en mm	Réccurrence sèche
TOUKARA	707	# 1/9
DJIBIDICNE	685	# 1/10
BALANDINE	699	# 1/10
BAILA	750	# 1/10
KARTIAK	768	# 1/10

En 1979, elle a été sur le bassin (Tab. 17)

mois pluie	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre
pluie Moy. mm		286	237	411	224	87	7
% pluie Annuelle	0	23	19	33	18	7	0,6

Si en 1979 cette répartition est un peu perturbée par une forte pluviométrie de juin, le maximum a toujours lieu en août et la pluviométrie des autres mois est assez semblable à la normale.

Le tableau (18) présente la pluviométrie des postes du B.V. ou encadrant le B.V.

c) La pluviométrie journalière :

A partir de l'étude en loi Gamma incomplète réalisée par Y.B. Moret des hauteurs pluviométriques journalières observées à quatre stations d'observation de longues durées, et en fonction de la pluviométrie moyenne annuelle, les hauteurs ponctuelles journalières de diverses récurrences ont pu être déterminées pour les 3 stations de référence.

(Tab. 19)

Récurrences	$\frac{10}{1}$	$\frac{5}{1}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{50}$
Stations	1	1	2	1	2	5	10	20	50
BIGNONA moyenne : 1292 mm	36	51	70	86	103	124	141	156	178
DILOULOU moyenne : 1339 mm	37	52	71	87	104	125	142	158	180
ZIGUINCHOR moyenne : 1514 mm	40	57	80	98	117	142	160	179	204

PLUVIOMETRIES OBSERVEES EN 1979 (en mm)

Stations	Mai	Juin	Juil	AOÛT	Sept	Oct	Nov	Total
ALLA KUNDA		183,6	194,8	272,4	162,6	21,2	36,1	870,7
BAILA		(124)	190,3	319	132,6	75,9		841,8
BIGNONA	0,1	223,1	146,0	311,0	149,7	42,8		872,7
BITIBITI		195,9	180,2	257	169,8	72,3		875,2
DILOULOU		261,3	182,9	301,4	200,6	95,0		1041,2
DJIBIDIONE		(162,2)	192,2	157,9	115,3	57,2		684,8
KORAM		(122,5)	279,0	192,4	172,0	13,2		779,1
SINDIAN		182,4	186,1	311,2	117,0	83,5		880,2
TENDOUCK		201,4	205,7	327,7	215,6	36,0		986,4
TOUKARA		(89,0)	256,5	194,8	117,0	44,0		603,3
BADIANA		196,7	95,0	302,0	160	78		831,7

( ) : Observation incomplète.

- Les précipitations s'effectuent le plus souvent sous forme d'averses courtes mais d'assez fortes intensités. Ces averses s'intégrant la plupart du temps dans des phénomènes météorologiques de type tornado, elles ne comportent pas de phase préliminaire mais s'accompagnent souvent d'une traine de faible intensité pouvant s'étaler sur plusieurs heures.

La figure 14 présente les hyétogrammes des principaux types d'averses recensées à TOUKARA.

### III. ETUDES HYDROLOGIQUES :

#### 1) Les données disponibles :

##### - Sur le Marigot de BAILLA

. Les enregistrements limnigraphiques au pont de BAILLA existent depuis juillet 1977, ils sont de bonne qualité. A TOUKARA le limnigraphe n'a été posé qu'en juin 1978, et les interruptions de fonctionnement ont été fréquentes.

La station de référence de la pointe St-Georges existe depuis juin 1972, mais les relevés présentent de nombreuses lacunes, en raison des difficultés d'accès à la station, même en saison sèche.

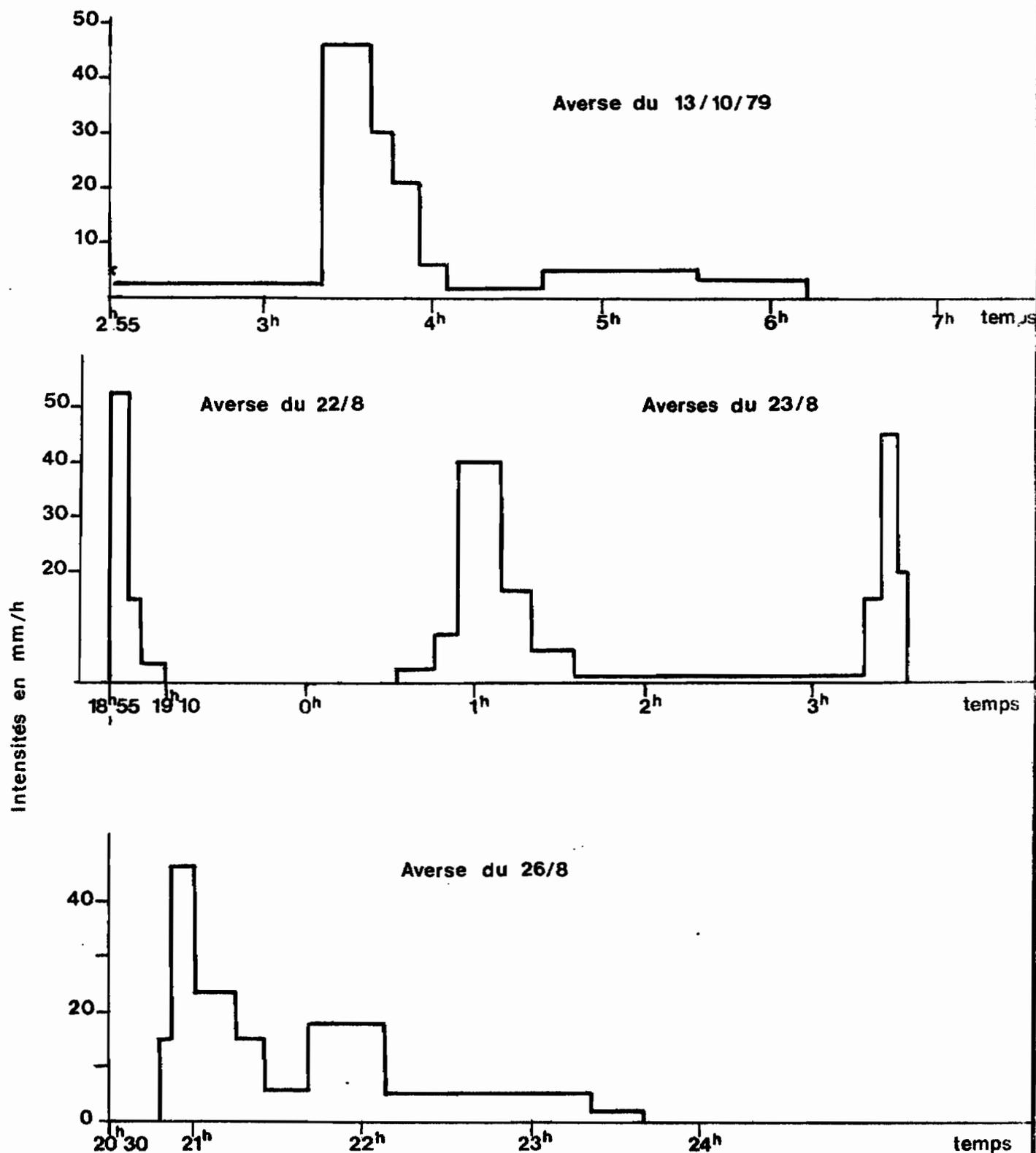
. Jusqu'à la campagne 1979, neuf jaugeages seulement avaient été effectués en basses eaux à TOUKARA au cours de l'année 1971.

L'étalonnage de la station était donc ancien et incomplet (fig.15). Il est regrettable qu'en 1978 aucun jaugeage n'ait été effectué car les limnigrammes présentent quelques crues intéressantes dont l'une a atteint 2,15 m à l'échelle.

##### - Sur la Casamance en général :

A part la station de KOLDA sur la Haute Casamance qui bénéficie d'une dizaine d'années d'observations de bonne qualité, il n'y avait pas de données réellement exploitables dans la région mis à part celles relatives à l'étude du haut-bassin du marigot de Bignona, exploitées récemment par J.C. OLIVRY.

PRINCIPAUX TYPES D'AVERSES OBSERVÉES  
A TOUKARA



COURBE de TARAGE A TOUKARA

○ 1971  
● 1979

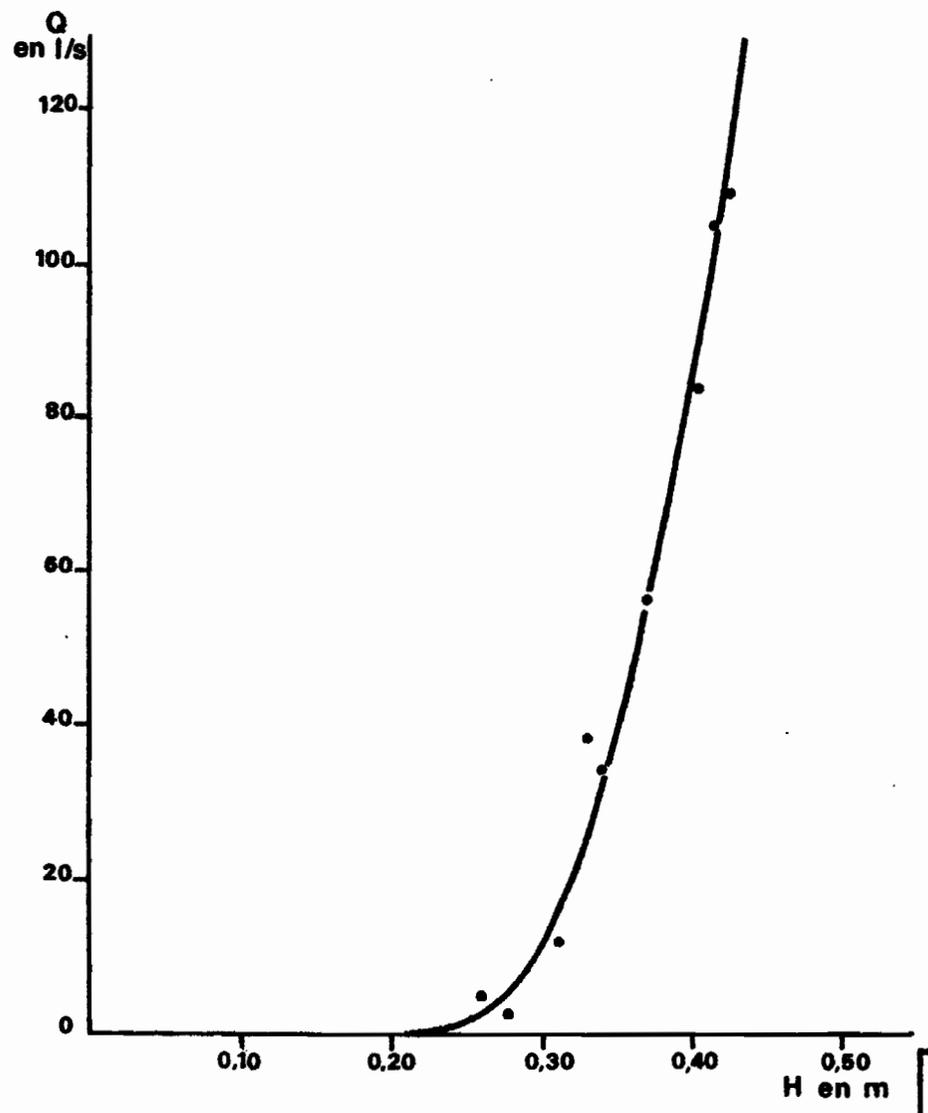
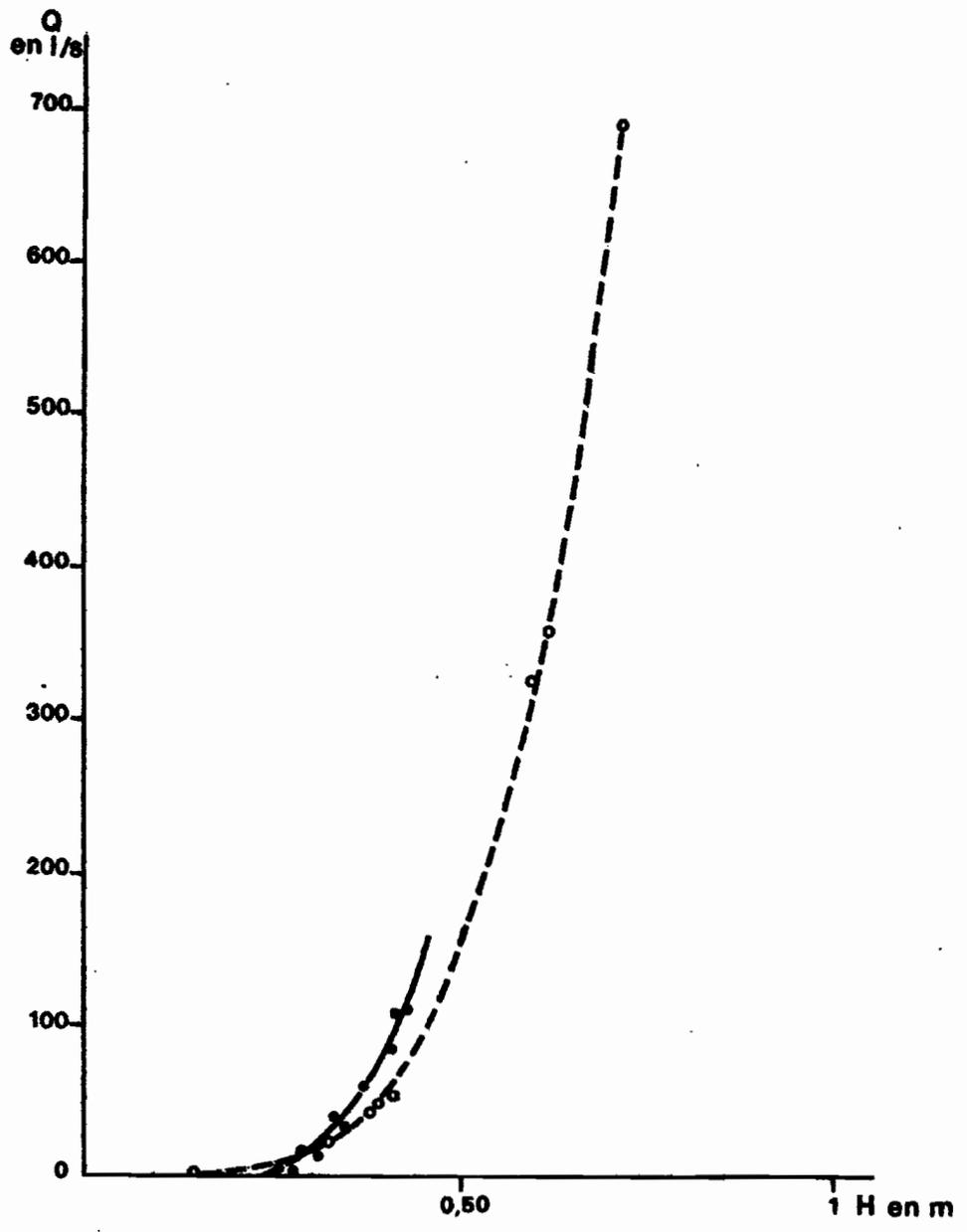


Fig. 15

Dans le domaine de la marée les données sont aussi indigentes, et si l'on excepte l'étude réalisée par Y.B. MORET à la fin des années 60 qui a guidé nos investigations et le traitement de nos données, nous ne disposons que de quelques résultats très espacés sur la salinité des marigots de BAILLA et de BIGNONA.

## 2) Les mesures, leur méthodologie :

Elles ont revêtu divers aspects suivant les objectifs définis par la convention.

- Le contrôle des hauteurs d'eau devant servir à l'étude de l'onde de marée a été réalisé aux différentes stations grâce aux enregistreurs. Le bon fonctionnement des appareils a été vérifié chaque semaine sauf à la pointe St-Georges où il n'a eu lieu que tous mois.

- Le contrôle de la salinité a été assuré par l'intermédiaire de deux conductivimètres CENCO. Un appareil se déplaçant sur le terrain, l'autre de référence restant à poste fixe.

. Au cours des premières semaines, une étude fine a été entreprise sur une onde complète de marée à chacune des stations. Elle était couplée à une mesure effectuée, hors convention, des volumes transités au cours de deux mouvements successifs de marée.

Suivant la méthodologie employée par M.A. ROCHE sur les fleuves côtiers Guyannais, 5 verticales furent matérialisées régulièrement espacées sur le câble tendu au travers de la section. Sur ces cinq verticales furent effectuées toutes les heures, en moyenne, 4 prises de vitesse également réparties entre le fond et la surface. A l'occasion de chaque prise de vitesse un prélèvement d'eau était réalisé grâce à une bouteille du service océanographique à fermeture commandée par l'intermédiaire d'un messenger. Une mesure de température et de conductivité étaient immédiatement effectuées. La conductivité étant ultérieurement contrôlée par l'appareil à poste fixe. Cette double mesure s'est avérée nécessaire, car les indications de l'appareil de terrain se sont souvent révélées fantaisistes au cours des mesures de milieu de journée (en raison certainement des fortes températures).

L'observation des résultats a conduit aux mêmes conclusions à chacune des stations :

- absence de stratification des eaux, uniformément concentrées en marée montante comme en marée descendante sur toute la section. Au niveau thormique, une très faible différence, de 1° en moyenne, entre le fond et la surface n'a pas semblé justifier une étude plus poussée.

. La seule différence notable est celle existant entre Etale Marée Haute (EMH) et Etale Marée Basse (EMB) pour la conductivité. Elle est généralement de l'ordre de 2 à 3 millimhos/cm, ce qui est faible.

L'absence de stratification nette ayant été mise en évidence, il fut décidé que le contrôle de la salinité serait limité par la suite à deux séries de mesures réalisées chaque semaine à EMH et EMB en 3 points sur la verticale du milieu à chaque station.

- Le contrôle des apports en eau douce :

Il était prévu sur le BAILLA lui-même et sur ses affluents, ainsi que sur les principales sources recensées.

A TOUKARA l'étude de l'écoulement a été menée à partir des enregistrements limnigraphiques contrôlés chaque semaine et les neufs jaugeages réalisés au micro moulinet entre le 13 Août et le 9 Octobre.

L'écoulement très faible cette année sur l'ensemble du Dassin Versant, n'a permis à aucune des sources recensées de s'épancher durablement vers le marigot.

Sur le marigot d'OUPOUELE, une section jaugeable a été recherchée en vain jusqu'à la tête du B.V. L'écoulement d'une fine lame d'eau observée au passage de la digue de OUANGARAN-KATIPA permet cependant de penser qu'il a été comparable à celui mesuré à TOUKARA.

- L'étude du contact de la nappe douce et de la nappe salée : Elle a été entreprise, hors convention, aux trois stations de BAILLA, BALANDINE et DJIBLDIONE, par l'intermédiaire à chaque fois d'une série de piézomètres installés en rive gauche à :

quelques mètres les uns des autres de façon à cerner le mieux possible la zone de contact. Chaque piézo a été rattaché topographiquement à l'échelle limnimétrique. Cette expérience commencée en début de saison sèche aux 3 stations n'a été poursuivie qu'à BALANDINE et BAILA. A DJIBIDIONE elle a dû être interrompue en raison de la destruction des piézomètres par les enfants du village.

Les mesures ont consisté, à l'occasion des tournées de contrôles des stations : en une mesure de la hauteur piézométrique et en une prise d'échantillon de 1/2 litre devant permettre au laboratoire de Dakar la recherche de la conductivité et des éléments majeurs.

(ions  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{CO}_3\text{H}^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ).

Le but recherché était l'étude physique du contact, son évolution au cours d'une année et l'étude du mélange s'il existe ; enfin, l'influence possible de la nappe douce sur la salinité des eaux du marigot.

- Enfin, bien que l'observation du réseau climatique ait été à la charge de L.B.I., l'ORSTOM s'était réservé l'entretien des 2 pluviographes de BAILA et COLEM.

### 3) L'étude des apports en eau douce :

#### a) Les données de base de l'écoulement :

Elles ont été recueillies à la station de TOUKARA entre le 22 juillet et le 31 octobre, la cote 0,225 m marquant la limite de l'écoulement. La hauteur maximale 0,43 m a été atteinte 3 fois les 3, 12 et 17 septembre. Les neufs jaugeages réalisés au micro moulinet ont permis l'établissement d'une nouvelle courbe de tarage des basses eaux. Tab. 20 - fig. 15.

Tableau 20.

Les jaugeages à TOUKARA

Date	Hauteur échelle en mm	Débit en l/s
13/08/79	0,415	105
15/08/79	0,33	38
20/08/79	0,26	4,5
27/08/79	0,34	34
01/09/79	0,37	56
05/09/79	0,405	83,6
17/09/79	0,425	109
01/10/79	0,31	11,3
09/10/79	0,275	2,2

A partir de cette courbe a été établi le barème hauteurs-débits (tab. 21) d'où l'on a déduit l'hydrogramme annuel qui permet de déterminer l'apport global de la saison des pluies.

H en	Q <sub>1/s</sub>	H	Q
22,5	-	34	34
seuil d'écoulement		35	41
		36	50
		37	61
23	1	37	61
24	1,5	38	72
25	2	39	78
26	3	40	86
27	4	41	98
28	6	42	112
29	8		
30	12		
31	116		
32	20		
33	26		

Celui-ci est de 400 000 m<sup>3</sup> en 1979.

Les débits moyens journaliers de TOUKARA sont donnés dans le tableau 22.

Pour 324 km<sup>2</sup> et une hauteur moyenne de pluie de 707 mm, le coefficient d'écoulement apparaît donc extrêmement faible, de l'ordre de 0,17 %.

- Cet écoulement semble bien être représentatif des zones hautes, terrasses, versants et plateaux, décrites précédemment et constituant une partie importante des surfaces surtout à l'amont du bassin.

- Mais il est évident que ce coefficient ne peut correspondre aux zones basses plus ou moins inondées en permanence dont la proportion croît vers l'aval. Pour ces surfaces un nouveau coefficient a dû être recherché. Les observations réalisées sur le terrain nous ont conduit à distinguer deux secteurs au sein de ces zones basses.

Tab. n° 22

STATION DE TOUKARA

Relevés limnigraphiques moyens journaliers en cm  
et débits moyens journaliers en l/s.

Mois Jours	Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre	
	Haut.	Débit	Haut.	Débit	Haut.	Débit	Haut.	Débit	Haut.	Débit
1			15		37	57	31	25	22	0
2			13		38	65	29	15	22	0
3			12		42	104	29	15		
4			10		39	75	29	15		
5			10		40	88	29	15		
6		D	10		40	88	29	15		
7		E	10		38	65	28	12		
8		B	9		35	45	28	12		
9		U	10		33	37	28	12		
10		T	10		35	45	27	10		
11		E	11		38	65	26	7		
12		C	26	7	42	104	26	7		F
13		O	41	95	41	93	28	12		I
14		U	38	65	40	88	28	12		N
15		L	32	27	40	88	28	12		
16		E	30	20	40	88	27	10		E
17		M	28	12	42	104	27	10		C
18		E	30	20	40	88	27	10		O
19		N	28	12	40	88	27	10		U
20		T	26	7	42	104	27	10		L
21			26	7	41	93	26	7		E
22	(26)	7	26	7	39	75	26	7		M
23	26	7	25	4	36	51	26	7		E
24	23	0,5	29	15	35	45	25	4		N
25	22	0	28	12	33	37	25	4		T
26	24	2	30	20	32	28	25	4		
27	23	0,5	34	38	33	37	25	4		
28	22	0	34	38	33	37	25	4		
29	20	0	37	57	32	28	23	0,5		
30	17	0	36	51	32	28	23	0,5		
31	16	0	37	57			23	0,5		
Moy.		0,54		18,4		67,9		9,3		

Module : 8 l/s ou 0,008 m<sup>3</sup>/s.

- d'une part les surfaces toujours en eau du marigot ou des mares subsistant à basse mer, ainsi que celles découvertes durant de courtes périodes : Slikke des morphologues.
- d'autre part les zones périphériques exceptionnellement envahies lors des plus hautes mers : Schorres des morphologues.

Pour les premières représentant environ 12 % des zones basses le coefficient d'écoulement est proche du maximum 100 %. Pour les secondes représentant environ 88 % la proportion de vases noires saturées est encore importante, mais l'apparition des tannes sableux fait que le coefficient d'écoulement ne doit pas dépasser 75 %.

On peut donc admettre que le coefficient d'écoulement moyen des zones basses est de l'ordre de 80 %.

A partir des documents photographiques il a été possible d'établir sans trop de risque d'erreur les limites de ces zones basses. Leur planimétrage a permis de calculer à chaque niveau de contrôle du B.V. le coefficient d'écoulement moyen applicable à la surface considérée.

Le tableau 23 présente le détail des surfaces et les coefficients moyens d'écoulement des Bassins qui croissent de l'amont vers l'aval en fonction de l'importance relative des zones basses inondées.

A partir de ces coefficients d'écoulement et connaissant les pluviométries moyennes affectant les surfaces correspondantes il a été possible d'établir les caractères de l'écoulement à chacune des stations au cours de la saison 79. Conformément aux données déjà établies les débits spécifiques apparaissent très faibles : Tab. 24.

#### b) Recherche des écoulements caractéristiques :

- Variation du  $K_e$  en fonction de la pluviométrie :

Tenant compte du fait que le  $K_e$  évolue en fonction de la pluviométrie, il convenait d'estimer ceux correspondant aux récurrences déterminées précédemment.

Tableau 23.

STATIONS	Différentiation et caractères des zones d'écoul.	Surface totale des B.V. en Km <sup>2</sup>	Surfaces soumises à un Ke de 0,17% en Km <sup>2</sup>	Surfaces soumises à un Ke de 80% en Km <sup>2</sup>	Ke moyen en %
TOUKARA		324	324	0	0,17
DJIBIDIONE		644	632	12	1,66
BALANDINE		852	816	36	3,54
BAILA		1342	1241	101	6,13
KARTIAK		1634	1438	196	9,75

Tableau 24.

Caractères B.V. de	S (Km <sup>2</sup> )	P $\bar{m}$ en mm	Réurrence 79 (sèche)	Ke	Le (mm)	Volume 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Q <sub>S</sub> 1/s.km <sup>2</sup>
	TOUKARA	324	707	1/9	0,17	1,2	0,395
DJIBIDIONE	644	685	1/10	1,66	11,4	7,34	0,36
BALANDINE	852	699	1/10	3,54	24,7	21	0,78
BAILA	1342	750	1/10	6,18	46,4	62,3	1,43
KARTIAK	1634	768	1/10	9,75	74,9	122,4	2,4

Cette évolution semble ne pas devoir être la même suivant les secteurs du B.V.

• Pour les zones basses le  $K_e$  doit peu varier qu'il s'agisse de période sèche ou humide.

• Pour les secteurs de versants et de plateaux, très faible cette année 0,17 % pour une récurrence de 1 année sur 9, le  $K_e$  doit être à peu près nul en année décennale sèche.

N'ayant pas de données sur le marigot de BAILA permettant de faire une estimation du  $K_e$  en année normale et en année humide, nous avons dû avoir recours aux résultats encore inédits d'une étude de J.C. OLIVRY sur les données d'une campagne ORSTOM effectuée en 1970 sur le petit marigot voisin de BIGNONA.

En 1970, pour une pluviométrie de 1253 mm, proche de la pluviométrie interannuelle à BAILA (1230 mm), et une superficie de 85 km<sup>2</sup>, le coefficient d'écoulement a été de 6 %.

En absence d'autres données, nous avons estimé pouvoir retenir cette valeur en année moyenne.

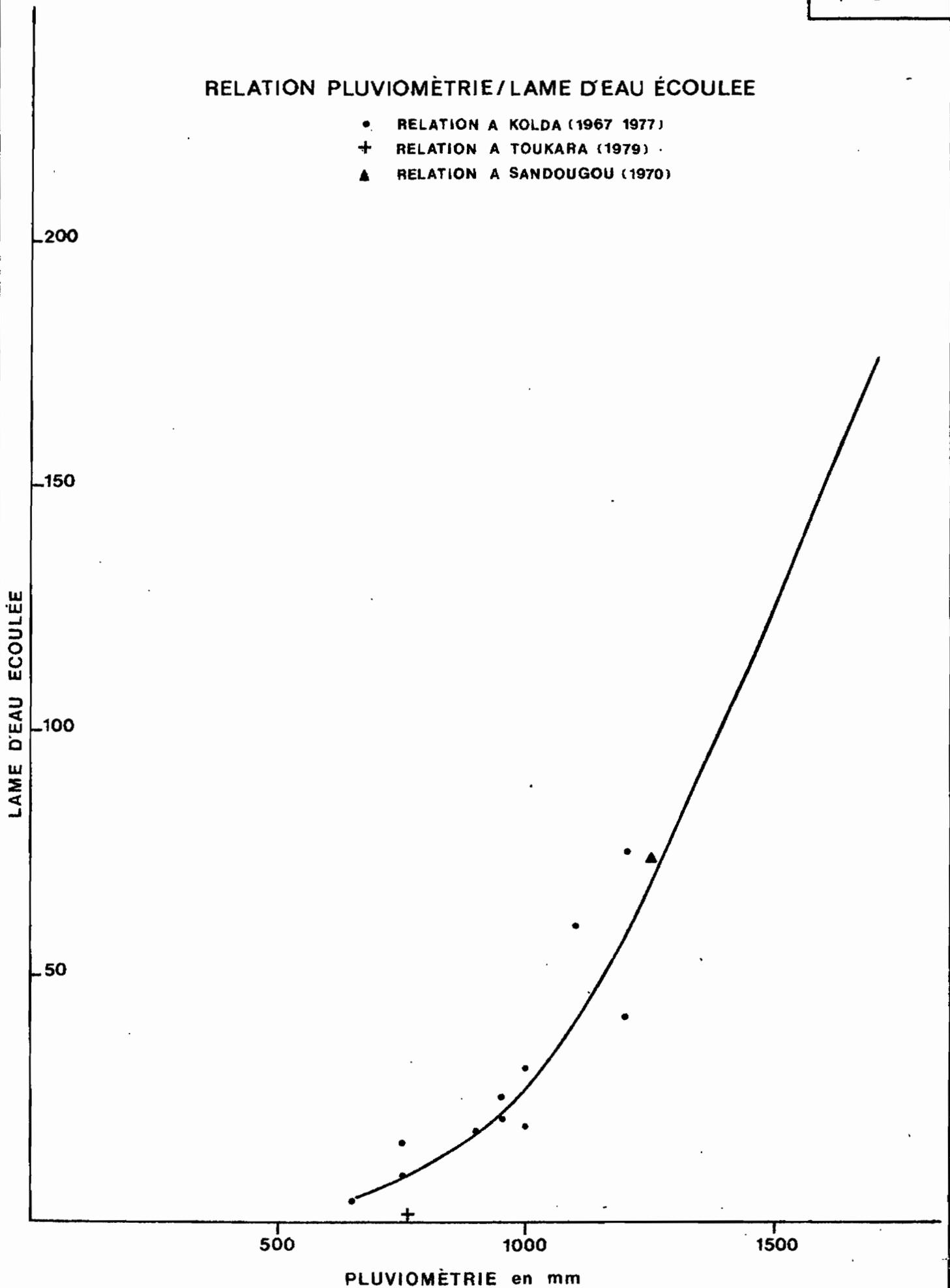
La détermination du  $K_e$  en année décennale humide s'est avérée plus difficile dans la mesure où les 12 dernières années ont présenté un caractère de sécheresse.

La seule station de Casamance possédant quelques années d'observations pouvant permettre l'étude d'une relation pluviométrie annuelle / lame d'eau écoulée est celle de KOLDA sur la haute Casamance

A partir des 10 années d'observation de KOLDA (entre 1967 et 1977) a été établie une relation graphique que nous avons dû extrapoler afin de pouvoir estimer la lame écoulée correspondant à la récurrence pluviométrique 1/10 humide (fig. 16). Sur la partie amont du B.V. du marigot de BAILA la décennale humide correspond à environ 1700 mm (cf tab. 14). La lame écoulée correspondant à cette pluviométrie s'établissant approximativement à 170 mm, nous en avons conclu que le coefficient d'écoulement en année décennale humide sur le B.V. contrôlé par la station de TOUKARA était d'environ 10 %.

## RELATION PLUVIOMÉTRIE/LAME D'EAU ÉCOULÉE

- RELATION A KOLDA (1967 1977)
- + RELATION A TOUKARA (1979)
- ▲ RELATION A SANDOUGOU (1970)



- Ces différentes valeurs du coefficient d'écoulement nous ont permis d'établir, pour chaque sous bassin du Marigot de BAILLA suivant les superficies respectives de zones "hautes" et de "zones basses", des coefficients d'écoulement moyens pour les trois récurrences retenues.

Le tableau 25 présente ces valeurs.

- L'ensemble des éléments déterminés précédemment permet de présenter dans le tableau 26 un bilan de l'écoulement à chaque station de contrôle pour les récurrences étudiées :

- en année décennale sèche
- en année normale
- en année décennale humide

- En année décennale sèche le coefficient d'écoulement connaît une forte augmentation de l'amont, où il est quasiment nul, à l'aval où l'importance du milieu saturé lui permet d'approcher 10 %.
- En année normale ce coefficient croît d'environ 50 % pour atteindre des valeurs déjà fortes. Cette croissance est due avant tout aux valeurs partielles non négligeables atteintes sur les parties hautes des bassins. La variation du  $K_e$  n'est plus que de 1 à 2,5 entre l'amont et l'aval, alors qu'elle atteignait 1 à 100 en décennale sèche.
- En année décennale humide la croissance du  $K_e$  est moins forte, environ 1/5 ; mais les valeurs atteintes par le haut bassin perméable sont remarquables.  
En raison de sa perméabilité c'est bien le haut bassin qui permet le doublement du  $K_e$  entre la décennale sèche et la décennale humide.

En regard de la pluviométrie qui est loin d'être négligeable, même en période sèche, les volumes écoulés correspondant aux  $K_e$  apparaissent donc toujours importants.

Tableau 25.

DETERMINATION DES COEFFICIENTS D'ECOULEMENT MOYENS  
CORRESPONDANT AUX RECURRENCES 1/10 SECHE, 1/2, 1/10 HUMIDE

notés : Ke S 1/10, Ke 1/2, Ke H 1/10

Surfaces et Ke Stations	Surfaces hautes en Km2	Surfaces basses en Km2	Ke S 1/10 en %	Ke 1/2 en %	Ke H 1/10 en %
TOUKARA	324	0	0	6	10
DJIBIDIONE	632	12	1,7	7,4	11,3
BALANDINE	816	36	3,5	9,1	13
BAILA	1241	101	6,1	11,6	15,3
KARTIAK	1438	196	9,7	14,9	18,4

Tab. 26

L'ÉCOULEMENT A CHACUNE DES STATIONS DE CONTRÔLE DU BV POUR 3  
RÉCURRENCES CARACTÉRISTIQUES : 1/10 SÈCHE, 1/2, 1/10 HUMIDE

Récurrences B.V. de	Surface km <sup>2</sup>	1/10 sèche				1/2				1/10 humide			
		Pluvio mm	K <sub>c</sub> %	He mm	Volume 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Pluvio mm	K <sub>c</sub> %	He mm	Volume 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Pluvio mm	K <sub>c</sub> %	He mm	Volume 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
TOUKARA	324	685	≠ 0	≠ 0	≠ 0	1175	6	70,5	22,8	1670	10	167	54,1
DJIBIDIONE	644	700	1,7	11,9	6,8	1190	7,4	88,1	56,7	1685	11,3	190	123
BALANDINE	852	715	3,5	25	20,7	1205	9,1	110	93,5	1700	13	221	188
BAILLA	1342	740	6,1	45	60,0	1230	11,6	143	192	1725	15,3	264	354
KARTIAK	1634	755	9,7	73,2	110	1245	14,9	185	303	1740	18,4	320	523

c) Estimation et caractéristiques de la crue décennale sur les parties du bassin non soumises à l'influence de la marée.

- Recherche des éléments :

- En absence de données suffisantes sur le bassin lui-même, nous avons été amené à utiliser à nouveau les résultats de l'étude de J.C. OLIVIERY sur le Marigot de BIGNONA.

Aux deux stations considérées, les débits de crues décennales établis suivant la méthode Rodier-Auvray corrigée par les informations de l'échantillon de crue de 1970 ont été les suivants :

A SINDIAN pour 12 km<sup>2</sup> = 640 l/s km<sup>2</sup>

A SANDOUGOU pour 85 km<sup>2</sup> = 100 l/s km<sup>2</sup>

- Pour le bassin de KOLDA (3700 km<sup>2</sup>), nous ne disposons que de neuf années d'observations hydrologiques complètes (1970 à 1978). Une étude fréquentielle des débits maximums annuels a malgré tout été tentée. L'ajustement gaussien obtenu est médiocre, mais nous l'avons retenu faute de mieux. (fig. 17)

$$\bar{M} = 24 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\sigma = 16 \text{ m}^3/\text{s}$$

En partant par sécurité de l'hypothèse -étayée en outre par la tendance sèche de la dernière décennie - que ces neuf années ne représentent que la partie de n valeurs déficitaires d'une distribution comportant 2 n + 1 valeurs, on est amené à donner à cet échantillon de 9 années de nouvelles valeurs de fréquences qui permettent l'ajustement d'une courbe (fig. 17) que l'on extrapole afin de pouvoir estimer le débit maximum décennal qui s'établit autour de 85 m<sup>3</sup>/s. Le débit spécifique correspondant est de 23 l/s km<sup>2</sup>.

# AJUSTEMENTS GRAPHIQUES DES FRÉQUENCES DE CRUES A KOLDA

ECHANTILLON N ———  
2N - - - -

FRÉQUENCE AU NON DÉPASSEMENT

Q m<sup>3</sup>/s

Q m<sup>3</sup>/s

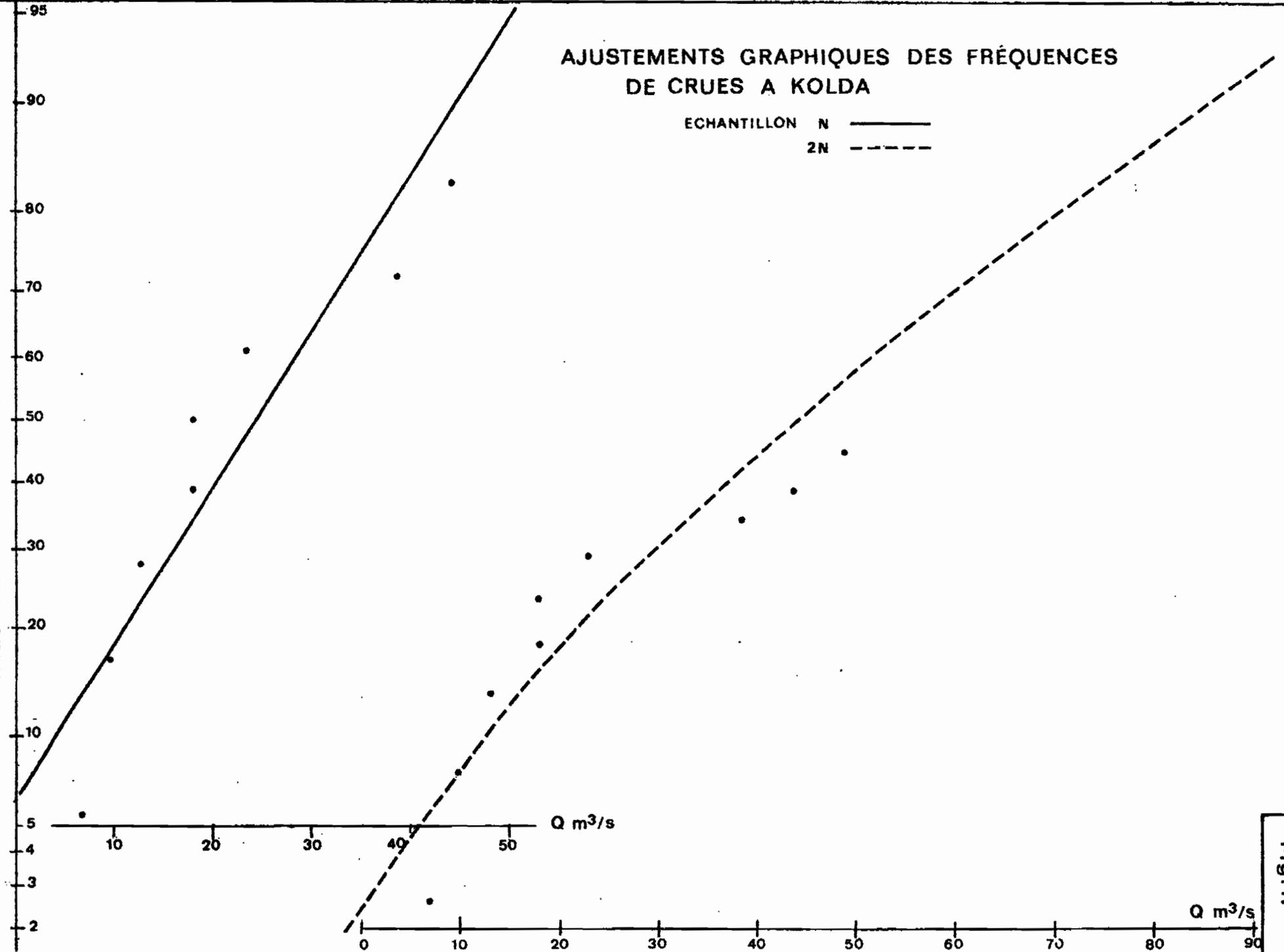


Fig. 17

- Estimation des débits de pointe :

A partir de ces trois valeurs de débits caractéristiques et suivant l'exemple de travaux similaires réalisés à l'ORS-TOM, nous avons établi graphiquement une relation Log Log entre ces débits spécifiques maximums décennaux et les surfaces de bassin concernées (fig. 16). C'est à partir de cette relation graphique que nous avons pu étendre l'étude des débits maximums de crue aux parties du bassin non soumises à l'influence maritime.

Cette estimation a porté sur 5 unités \* :

- 2 en rive gauche à l'aval, numérotées 1 et 2
- 2 en rive droite numérotées 3 et 4
- Enfin sur l'ensemble du Bassin amont jusqu'à DJIOUNDJI, limite de la remontée marine sur le bassin.

Les débits de pointe décennaux des différentes stations de contrôle du marigot de BAILA sont indiqués plus loin dans le tableau ci-dessous :

Tableau 27.

Station et S du BV contrôlé en Km <sup>2</sup>	TOUKARA (324)	DJIOUNDJI (495) *	4 * (50)	3 * (158)	2 * (34)	1 * (38)
Q max. de crue décennale en l/s Km <sup>2</sup>	52	46	140	73	185	170

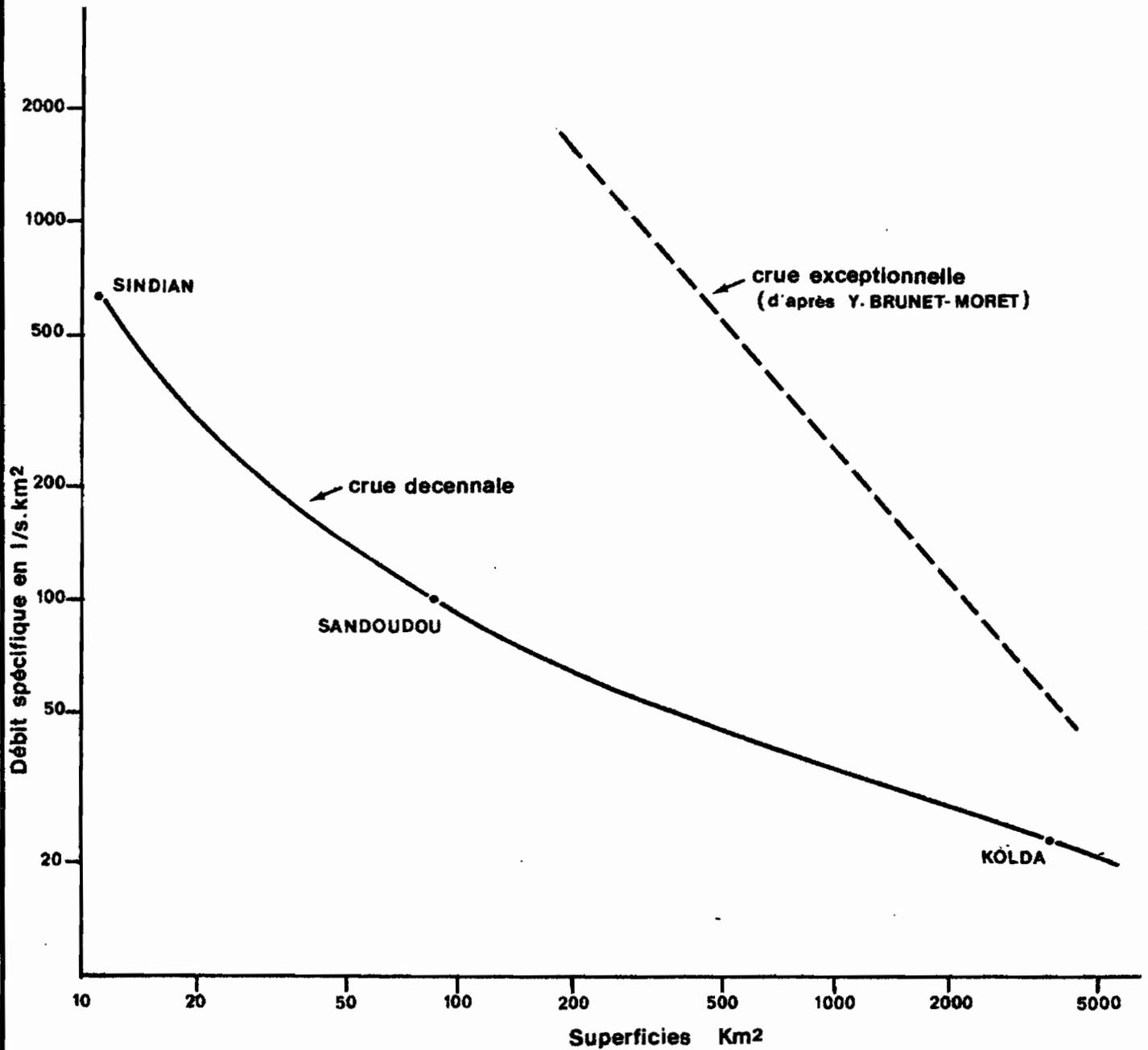
- Volumes ruisselés de la crue décennale :

L'estimation des volumes ruisselés de la crue décennale est basée ici sur l'hypothèse que la crue décennale est provoquée par une averse journalière décennale. En toute rigueur, l'hypothèse envisagée est un peu simpliste pour les grands bassins tels que BAILA ou KAPTIAK, mais on ne possède pas les éléments statistiques pour envisager la composition d'un hydrogramme de crue complexe consécutif à des averses de fréquence rare se succédant sur plusieurs jours.

Le classement des bassins dans les catégories Relief (R) - Perméabilité (P) de la méthode "RODIER-AUVRAY" situent ceux-ci entre les classes R2-P4 et R2-P5. Pour ces classes "R.P"

DÉBITS SPÉCIFIQUES DE CRUE

— en année décennale  
 - - - en année exceptionnelle



on a observé d'une manière générale une relative stabilité du coefficient de ruissellement. Celui-ci ne diminue pratiquement pas lorsque la superficie du bassin augmente ; il varie suivant la classe de 5 à 10 %. Dans l'étude du marigot de BIGNONA, J.C. OLIVRY a retenu, à partir de l'échantillon de crue observé, un coefficient de 8 % pour la crue décennale du bassin de SANDOUGOU (84 km<sup>2</sup>). C'est ce coefficient que nous retiendrons pour les bassins placés hors de l'influence de la marée. Mais comme cela a été fait pour le bilan annuel de l'écoulement on doit envisager pour les zones "basses" un ruissellement de l'averse plus important. Compte-tenu des faibles superficies concernées, cette prise en considération conduit à des coefficients de ruissellement moyens de 8 % à TOUKARA, de 15 % pour KARTIAK (cf tableau 26).

L'averse journalière décennale a été déterminée à partir des abaques établis pour la Casamance par Y. DEJUNET MORET en fonction de la hauteur moyenne des précipitations annuelles.

La pluie moyenne correspondante sur les bassins est obtenue par application d'un coefficient d'abattement fonction de la superficie des bassins dont les valeurs sont tirées d'une étude statistique précise de C. VULLAUME.

Averse moyenne sur le bassin et coefficient de ruissellement ( $K_r$ ) permettent de déduire la lame ruisselée en mm et le volume ruisselé en m<sup>3</sup>.

Le tableau 29 présente ces données puis l'estimation des débits de pointes pour les différentes stations de contrôle du marigot de BAILA.

Tableau 28 : Estimation des caractéristiques de la crue décennale

débit de pointe

Stations	P. moy. Annuelle mm	Averse 1/10 Ponct. mm	$K_{abat}$	Averse corrigée mm	Kr %	Lame écou- lée mm	Vol ruis. $\bar{h}$ m <sup>3</sup>	Qs l/s Km <sup>2</sup>	Q m <sup>3</sup> /s
TOUKARA 324 Km <sup>2</sup>	1175	134	0,72	95	8	7,7	2,5	52	16,8
DJIBIDIONE 644 Km <sup>2</sup>	1190	135	0,69	93	9	8,4	5,4	42	27
BALANDINE 852 Km <sup>2</sup>	1205	136	0,67	91	11	10	8,5	38	32,4
BAILA 1342 Km <sup>2</sup>	1230	137	0,65	89	13	11,6	15,5	38	42,9
KARTIAK 1634 Km <sup>2</sup>	1245	138	0,59	81	15	12,1	19,9	30	49

#### - Critique des résultats obtenus et conclusions

L'absence d'événements hydropluviométriques notables en 1979, du fait des aléas climatiques, ne permettait pas à priori de répondre aux préoccupations des projecteurs.

Nous nous sommes gardés d'établir des supputations sans bases de référence, surtout dans une région comme la Casamance où les régimes hydrologiques sont mal connus.

L'estimation de la crue décennale qui a été proposée se réfère aux travaux de Y. Brunet MORET et surtout à l'étude du Marigot de BIGNONA. On peut regretter que cette étude entreprise par A. CHOURET en 1970 pour laquelle celui-ci prévoyait une extension des mesures sur le BAILA, le KAMBEUL et le SOUGROUGROU, ait dû être interrompue faute de sources de financement en 1971. La réactualisation des problèmes hydrologiques en Casamance a conduit J.C. OLIVRY à exploiter ces données anciennes.

L'utilisation de ces résultats a permis d'aboutir à :

- l'estimation d'une relation débits de pointe décennal superficie du bassin versant.

- l'estimation de coefficients de ruissellements  
et par suite des volumes de crue décennaux.

La critique de ces estimations implique d'en évaluer la cohérence en comparant les temps de base probables à ceux des quelques crues observées à TOUKARA en 1978 et sur les bassins de la région.

Les crues du Marigot de BIGNONA à SANDOUGOU (84,7 km<sup>2</sup>) ont un temps de base de 2,5 à 3 jours avec un coefficient de pointe :

( $K = Q/M = Q_{Max} / Q_{moyen}$ ) de 2,7 à 2,9 = (2,7 pour la crue du 6/8/70)

La crue du 6/8/70 à Bignona (320 Km<sup>2</sup>) montre un temps de base de 4 jours environ. Avec un volume écoulé de 2,9 millions de m<sup>3</sup> et un débit maximum estimé à 16 m<sup>3</sup>/s, le coefficient de pointe tombe à 2.

A TOUKARA (324 km<sup>2</sup>) les hydrogrammes de 1978, auxquels ne correspondent malheureusement aucune mesure de débit, présentent quelques crues intéressantes de 1,75 m à 2,15 m à l'échelle pour lesquelles le temps de base est d'environ 3 jours et demi et le temps de montée de 8 à 24 heures.

A KOLDA (3700 km<sup>2</sup>) la crue exceptionnelle de Septembre 1969 a atteint 116 m<sup>3</sup>/s sur la Casamance pour un temps de base de 10 jours et un débit moyen de 78 m<sup>3</sup>/s soit un coefficient de pointe de 1,5 seulement.

Pour les grands bassins, les hydrogrammes présentent des sommets très arrondis, qui expliquent ces faibles coefficients, consécutifs à des temps de montée assez longs. Les pentes extrêmement faibles du réseau font que la propagation des forts débits n'est guère plus rapide que pour des débits plus faibles.

Ceci dit, on aurait pour les crues décennales du marigot de BAILA à partir des estimations du tableau (28), les temps de base suivants = Tab. 29

Tableau 29.

Station	K = Q/L	Q moyen m <sup>3</sup> /s	Temps de base en jours
TOUKARA 320 Km <sup>2</sup>	2	8,4	3,4
DJIBIDIONE 644 Km <sup>2</sup>	1,9	14,2	4,4
BALANDINE 652 Km <sup>2</sup>	1,8	18,0	5,5
BAILA 1342 Km <sup>2</sup>	1,7	25,2	7,1
KARTIAK 1634 Km <sup>2</sup>	1,7	28,8	8

Ces temps de base sont bien dans la gamme de ceux qui ont été observés dans les régions voisines.

En conclusion et quoique la relation "débit spécifique de crue/ superficie du bassin versant ne s'appuie, il faut bien en convenir, que sur un nombre très limité de valeurs (cf fig. 16), nous retiendrons pour valeur décennale du maximum de crue les valeurs précédemment déterminées, rappelées ci-après (valeurs arrondies).

- maximum de la crue décennale à TOUKARA de 17 m<sup>3</sup>/s
- " " " à DJIBIDIONE de 27 m<sup>3</sup>/s
- " " " à BALANDINE de 32 m<sup>3</sup>/s
- " " " à BAILA de 43 m<sup>3</sup>/s
- " " " à KARTIAK de 50 m<sup>3</sup>/s

Par analogie, il pourrait être sur le Marigot

d'OUPOUEL à BITI BITI de 15 m<sup>3</sup>/s

#### d) Crue exceptionnelle ou crue de projet

On a vu quelles approximations ont dû être faites pour aboutir à une estimation de la crue décennale sur le marigot de BAILA. On conçoit dans ces conditions qu'il ne soit pas possible de faire une détermination rigoureuse de la crue exceptionnelle. Pour une période de retour plus que centennale d'une averse ponctuelle de plus de 220 mm (cf. Y. Brunet MORET), il est

pratiquement impossible de préjuger des réactions des bassins quant au ruissellement, aux temps de concentration et vitesse d'écoulement.

Dans "Etudes Hydrologiques en Casamance", Y. Brunet MORET mentionne à KOLDA une averse de 219 mm tombée dans la nuit du 2 au 3 Septembre 1969. Cette averse exceptionnelle a provoqué une crue que nous avons mentionnée plus haut et qui a atteint un débit maximum de 116 m<sup>3</sup>/s soit 31,4 l/s Km<sup>2</sup>.

Une crue de 120 m<sup>3</sup>/s aurait été observée en 1958.

En 1970, Y. Brunet MORET proposait pour débits de crues exceptionnels sur le Continental Terminal pour des averses de fréquence nettement plus faible que 0,01 (fig. 16).

- 300 m<sup>3</sup>/s pour un bassin de 200 Km<sup>2</sup> soit 1500 l/s Km<sup>2</sup>
- 260 m<sup>3</sup>/s pour un bassin de 300 Km<sup>2</sup> soit 325 l/s Km<sup>2</sup>
- 200 m<sup>3</sup>/s pour un bassin de 400 Km<sup>2</sup> soit 50 l/s Km<sup>2</sup>

On notera l'amortissement considérable des débits de pointes du fait d'un drainage très lent pour un réseau hydrologique de faible pente.

Un amortissement aussi fort de la crue exceptionnelle est-il concevable ? Bien qu'on soit loin d'observer un tel phénomène pour la crue décennale, cela ne paraît pas exclu pour la crue exceptionnelle dans les limites de superficie des bassins versants indiquées par Y. Brunet MORET. En effet, sur les bassins de 200 à 500 km<sup>2</sup> où la majeure partie des superficies est constituée par le Continental Terminal, la pointe de crue se conjugue directement au ruissellement "débridé" de l'averse exceptionnelle ; plus à l'aval, la part croissante des zones d'inondation, la canalisation de l'écoulement dans de larges biefs à pente très faible pourraient conduire à l'observation de débits soutenus mais plus faibles en valeur absolue qu'à l'amont.

Sur la base de telles propositions, et sous toutes réserves, il paraît possible d'envisager aux éventuels sites d'aménagement du Marigot de BAILLA pour la crue exceptionnelle les débits maximums suivants :

DJIBIDIONE	260 m <sup>3</sup> /s
BALANDINE	255 m <sup>3</sup> /s
BAILLA	235 m <sup>3</sup> /s
KARTIAK	230 m <sup>3</sup> /s

e) Influence de la crue décennale dans les biefs soumis à la marée

Au cours de l'hivernage, l'écoulement, très faible il est vrai, n'a produit aucune déformation des marégrammes même à la station amont de DJIBIDIONE,

Encore une fois, et pour étayer nos estimations nous avons eu recours aux observations de 1970 sur le marigot de BIGNONA.

En août 70, une pluie moyenne de 110 mm (récurrence décennale) survenant sur un B.V. de 320 km<sup>2</sup> où l'influence maritime était peu sensible, a provoqué une crue qui s'est traduite par une variation de 37 cm seulement à l'échelle, au maximum estimé à 16 m<sup>3</sup>/s.

Dans le cas de crues exceptionnelles il est difficile d'évaluer le phénomène dont les caractères seraient probablement variables en fonction de la marée et de la position par rapport à l'amont :

- Au flux la progression de la crue ralentie par un courant de sens contraire pourrait se traduire par une surélévation de la cote, surtout à l'amont, où les biefs ont une importance relativement restreinte.
- Au reflux le sens des courants se conjugant il pourrait se produire un phénomène de vidange rapide entraînant un abaissement assez sensible de la cote.

Ces phénomènes potentiels seraient d'autant moins accusés que l'observation s'effectuerait vers l'aval où l'importance des biefs et des zones d'épendage est plus grande.

4) Etude de la marée : . . .

a) L'onde :

Son étude s'est faite à partir des marégrammes enregistrés à chacune des stations.

Le but de cette étude n'étant pas de reprendre une étude de la marée aussi détaillée que celle réalisée par Y.B.M. nous nous sommes limités à une comparaison des caractéristiques principales à partir de méthodes de dépouillement identiques.

- Les ondes diurnes et semi diurnes :

Elles sont mises en évidence par la présence des 2 maximums et des 2 minimums journaliers. La présence de l'onde diurne est soulignée par l'amplitude supérieure journalière nette d'une onde sur deux.

La figure 19 présente l'évolution comparée de l'onde de marée à chaque station sur 24 heures. Remarque : Les côtes échelles sont rattachées au nivellement du projet. Une première représentation graphique ayant fait apparaître une incohérence flagrante du rattachement de l'échelle de KARTIAK, nous avons été amené à recalculer cette dernière à partir des niveaux moyens annuels des 2 stations encadrantes dont le rattachement est apparemment valable et dont les distances à la station de KARTIAK sont connues. La pente, très faible entre les 3 stations a été considérée comme constante.

\* Le 0 échelle de la pointe St-Georges a été estimé à partir de la comparaison du niveau moyen annuel (en 79) de la station et celui de DJOGUE.

Le tableau - 30 - présente la côte du 0 échelle de chaque station rattachée au nivellement du projet et la cote par rapport à la Borne repère ORSTOM.

Station	Pte St <sub>G</sub>	KARTIAK	BAILLA	BALAND.	BITIBITI	DJIBID.	TOUKARA
Côte du nivel. Proj. en m	* 0,035	0,354	0,678	-0,391	0,451	0,819	4,666
Côte du 0 échelle ORSTOM en m	-3,745	-8,638	-3,093	-4,580	-1,963	-3,005	?

La figure 19 met en évidence en particulier :

- la dissymétrie de l'onde semi-diurne ; le rapport du temps de montée, temps de descente de la marée est d'autant plus élevé que l'on va vers l'amont.
- l'amortissement de l'amplitude de l'aval vers l'amont ; la fig. 20 montre que cet amortissement est d'autant plus important que l'amplitude est faible au départ.

EVOLUTION DE L'ALLURE DE L'ONDE DE MARÉE  
A CHAQUE STATION LE 15/10/79

côtes rattachées au nivellement Projet

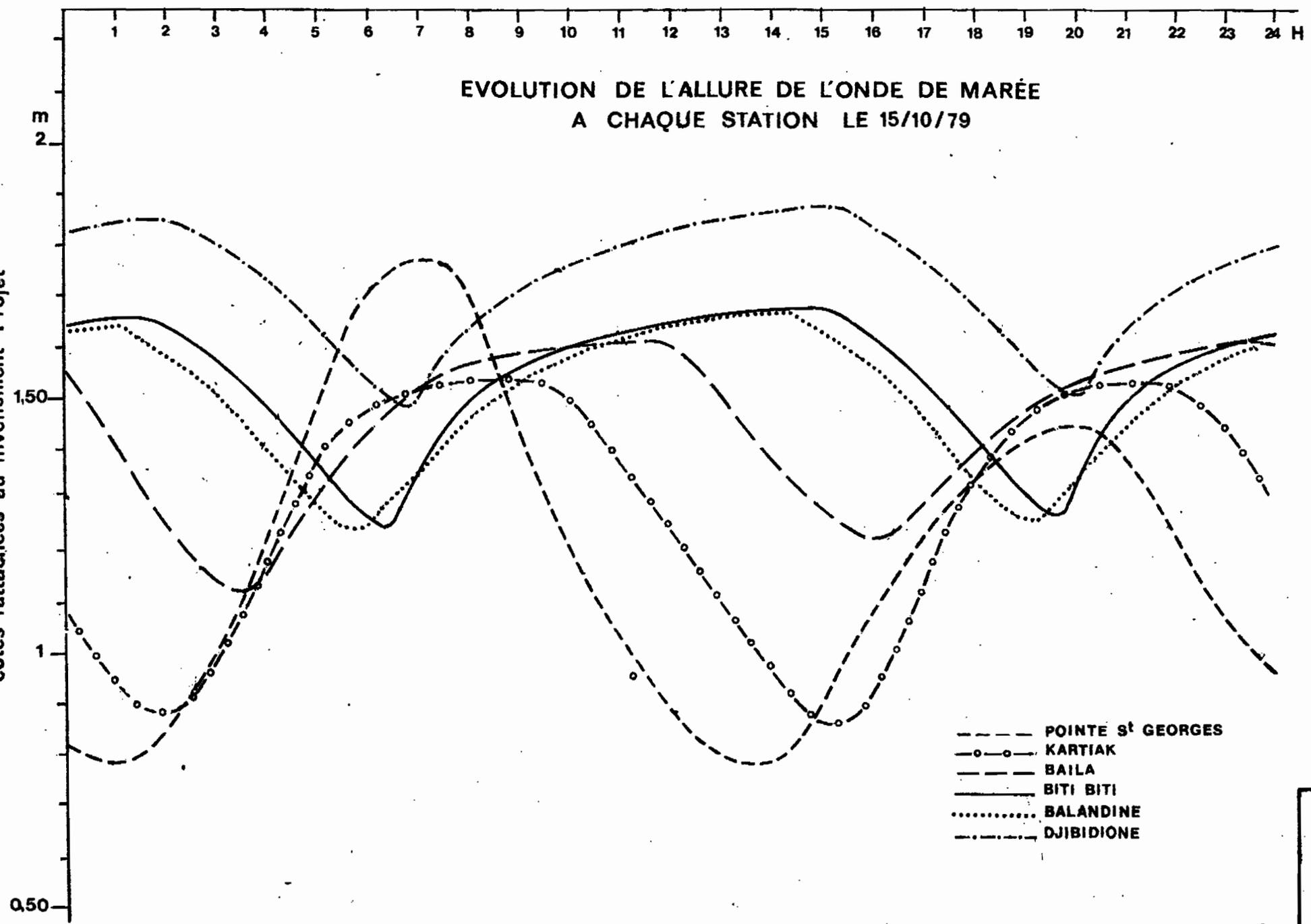
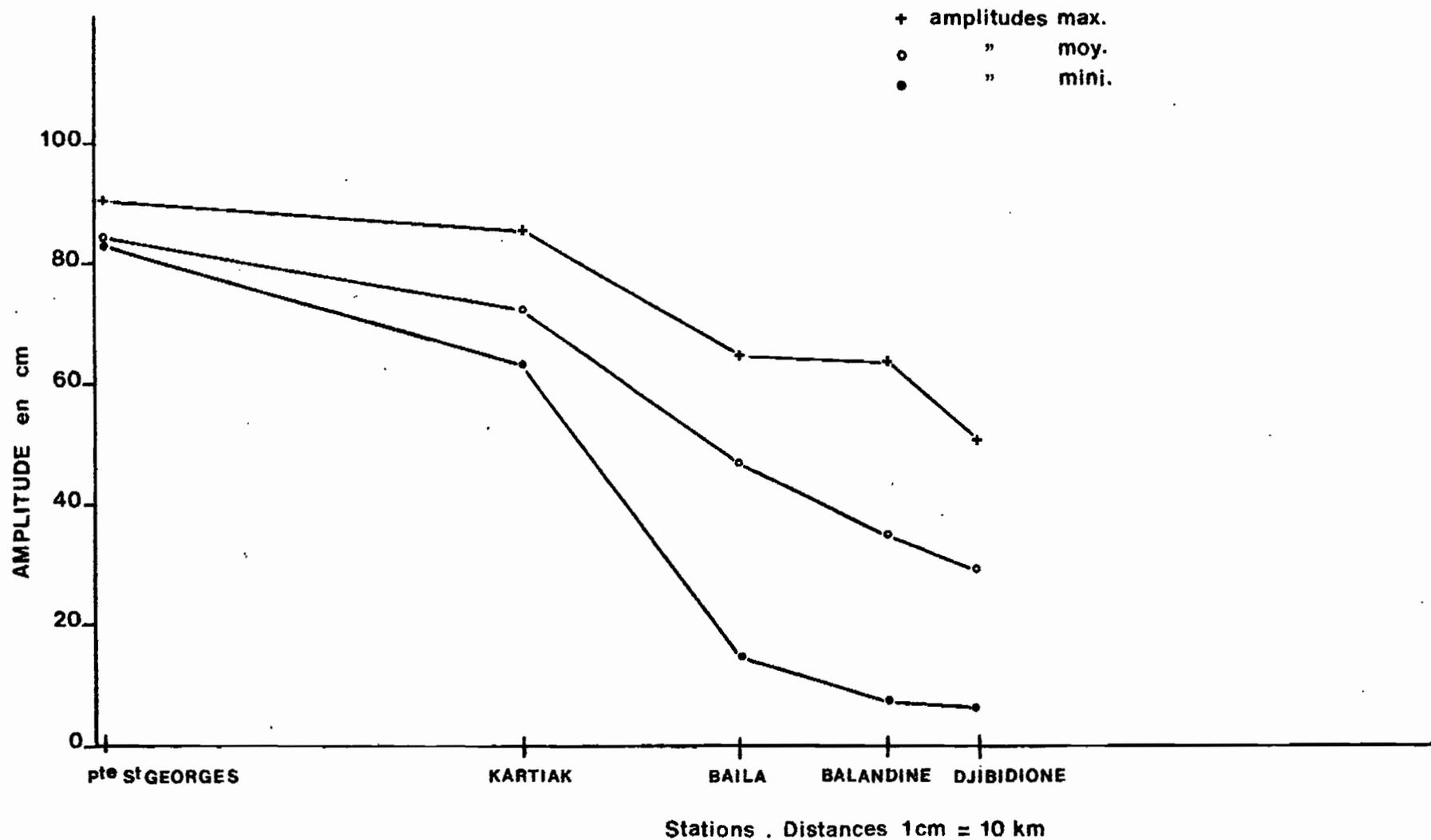


Fig. 19

## TRANSMISSION DE L'ONDE DE MARÉE

Variations des amplitudes en fonction des distances prises respectivement pour un même jour à chaque station



• La propagation de l'onde

Le tableau - 31 - présente les principales caractéristiques de cette propagation. Il souligne : les temps moyens de propagation depuis la pointe St Georges qui apparaissent à toutes les stations plus élevés pour la Marée Haute que pour la Marée Basse.

Tableau 31.

	Marée	Distance depuis la pte St Georges en Km	Temps moyen de Propagation de la Pte St G. en H et mm	Vitesse moyenne de Propagation en m/s
KARTIAK	EMB	70	1 <sup>h</sup> .	19,4
	EMH		1 <sup>h</sup> 40	11,6
BAILA	EMB	106	2 <sup>h</sup> 40	11
	EMH		4 <sup>h</sup> 20	6,8
BALANDINE	EMB	124	4 <sup>h</sup> 50	7,1
	EMH		6 <sup>h</sup> 30	5,3
DJIBIDIONE	EMB	..... 133	6 <sup>h</sup> 50	5,4
	EMH		7 <sup>h</sup> 40	4,8

- Les ondes de moyennes et longues durées ;

Connaissant leur existence par l'étude de Y. Brunet MORET, nous nous sommes efforcés d'en vérifier la présence en éliminant les ondes de périodes plus courtes.

A cette fin ont été établies les hauteurs moyennes journalières à partir des deux maxima et des deux minima quotidiens.

Un gommage des variations diurnes et semi diurnes a ensuite été réalisé grâce au calcul des moyennes mobiles sur cinq jours des hauteurs moyennes journalières établies précédemment.

- La représentation graphique de cette moyenne mobile montre une forte marée semi mensuelle dont l'inégalité sur une lunaison souligne la présence de l'onde mensuelle. La fig. 21 présente ces deux ondes à Balandine.
- La mise en évidence des ondes de plus longue période nécessitant l'élimination des composantes mensuelles nous avons établi les moyennes mobiles sur 29 jours consécutifs (une lunaison), centrées sur les 4, 15 et 25 du mois.

La représentation de ces moyennes fait apparaître nettement une marée annuelle à composantes semi annuelles fig. 22 - Cette marée à la même allure à toutes les stations. Elle apparaît moins dissymétrique que sur la Casamance et la composante semi annuelle est mieux définie. Il existe deux maximums rapprochés début septembre et fin octobre séparés par un minimum secondaire ; le minimum principal se situant de janvier à mars.

b) Les amplitudes

Les amplitudes maximales des différentes ondes présentent une assez bonne répartition, dans l'ensemble, à chaque station au cours de l'année 79-80.

- L'onde annuelle : son niveau moyen est obtenu à partir des Hauteurs moyennes mensuelles de l'année à chacune des stations (le Planimétrage des ondes de la fig. 22 donne les mêmes résultats).

La répartition de l'amplitude, assez sensible, est excellente pour l'ensemble des stations, sauf à BAILA et à la Pte St Georges où elle apparaît nettement favorable au maximum. (Tab. 33)

Stations	niveau moy. en cm	Variation du maxi. en cm.	Variation du mini. en cm
BAILA	$\bar{H} = 127$	+ 16,5	- 13
BALANDINE	H = 143	+ 16,5	- 16,5
DJIBIDIOME	$\bar{H} = 167$	+ 15	- 15
KARTIAK	H = 120	+ 14,5	- 14,5
St Georges	$\bar{H} = 107$	+ 12	- 8,5

# ÉVOLUTION DE L'ONDE DE MARÉE SEMI-MENSUELLE A BALANDINE

Moyenne mobile sur 5 jours des hauteurs moyennes journalières

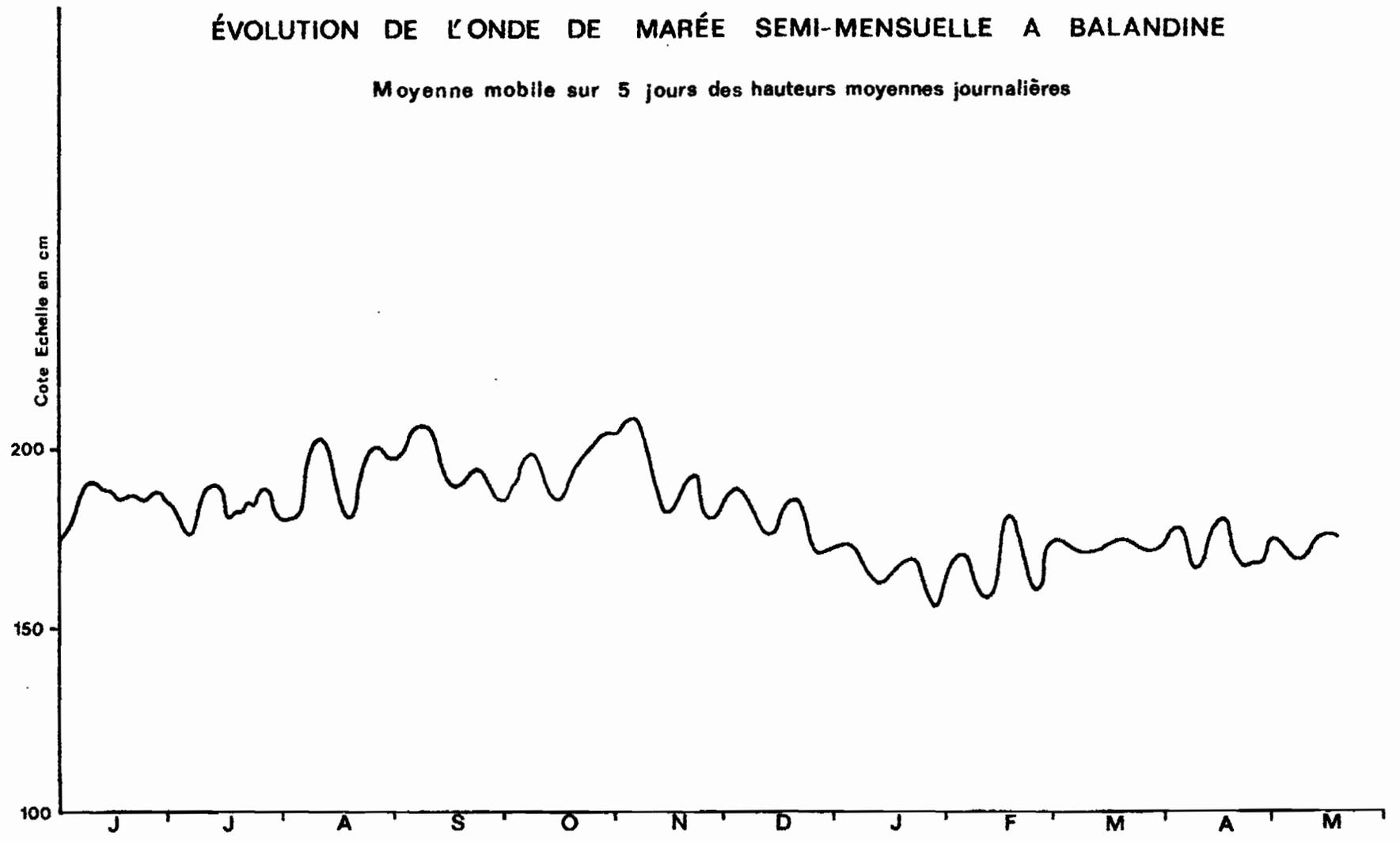
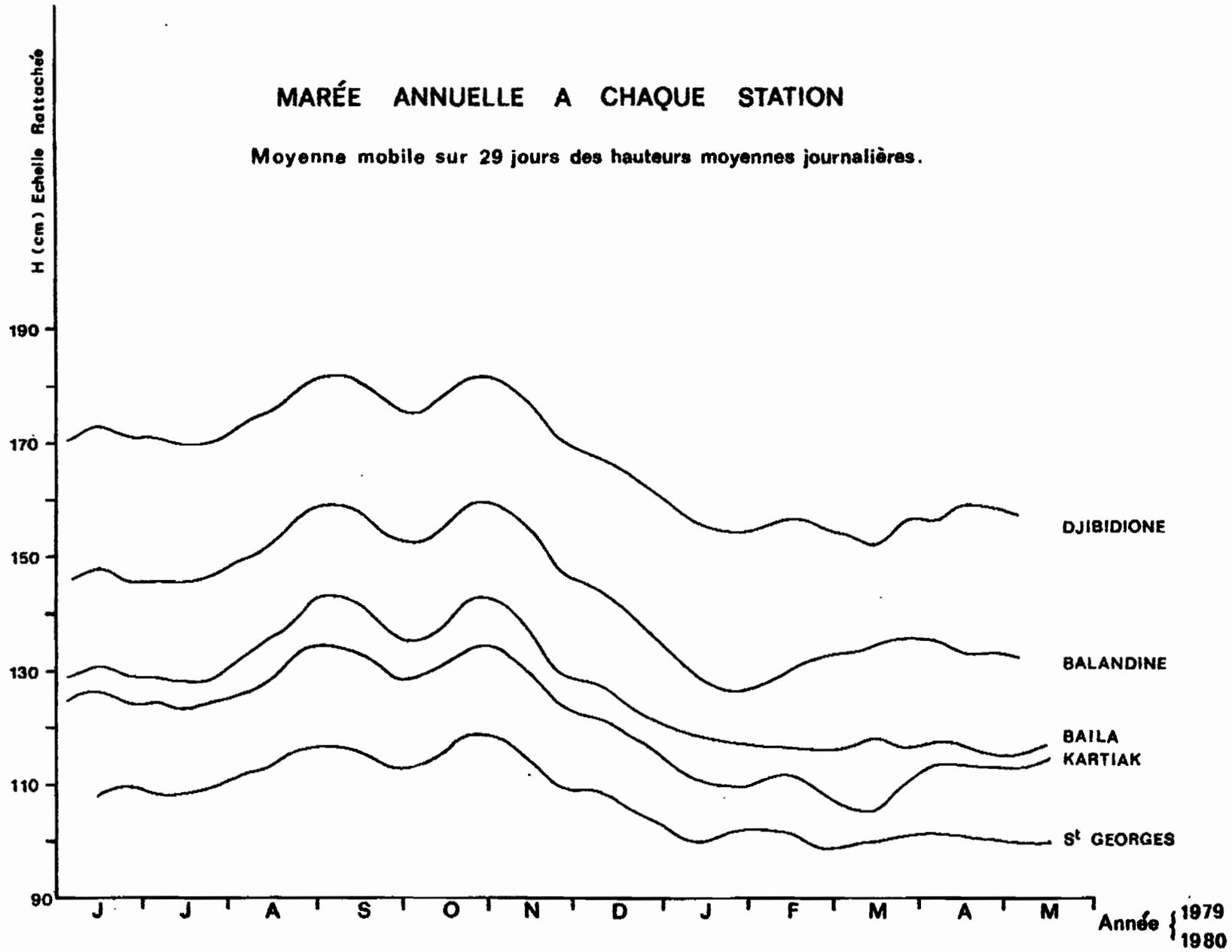


Fig. 22

# MARÉE ANNUELLE A CHAQUE STATION

Moyenne mobile sur 29 jours des hauteurs moyennes journalières.



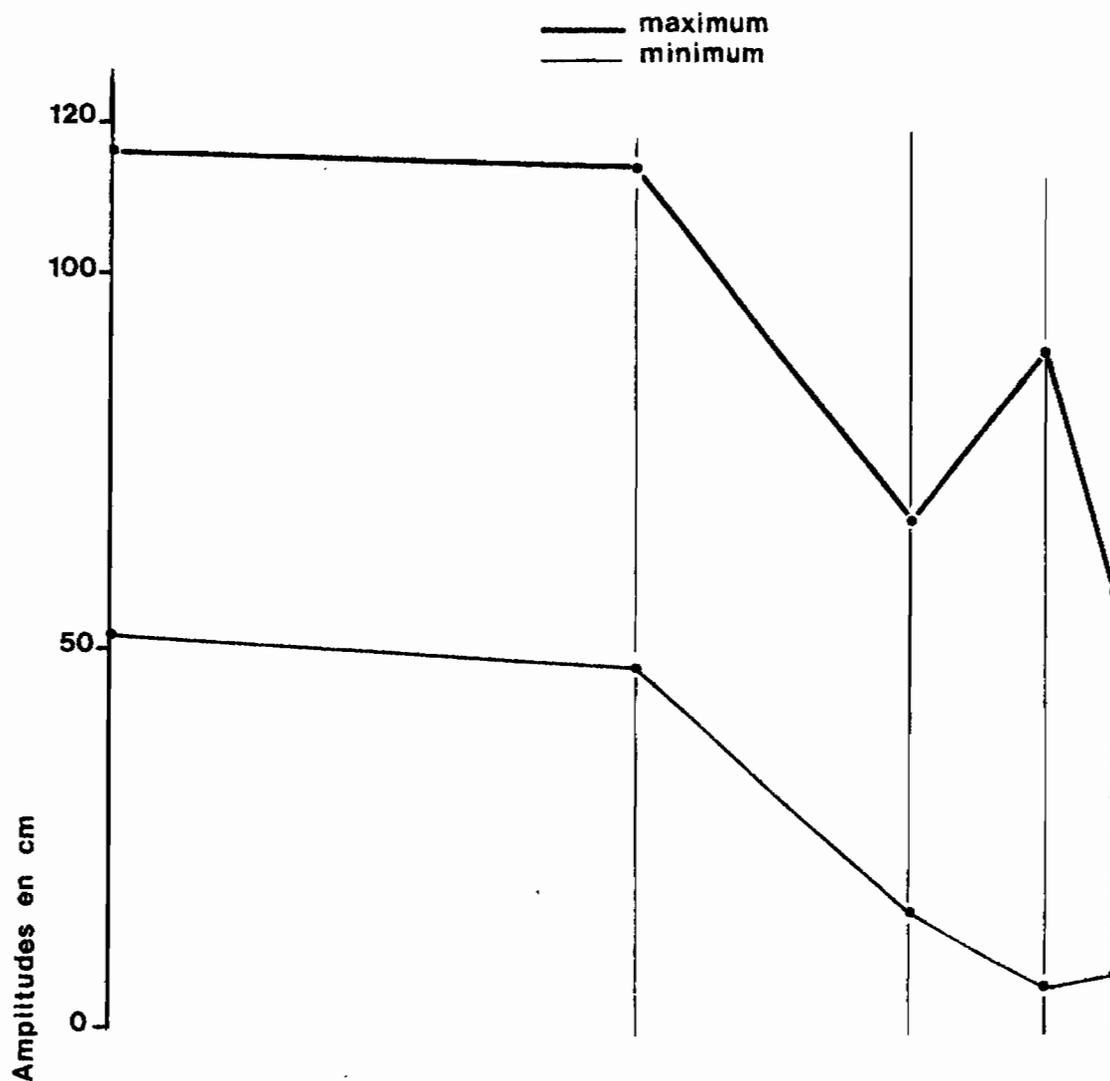
- L'amplitude de l'onde semi mensuelle a été étudiée suivant l'exemple de Y.B. MORET sur la plus forte des 2 marées mensuelles = (fig. 23). Cette amplitude apparaît légèrement supérieure à celle de l'onde annuelle. On note qu'elle ne croît que jusqu'à Balandine et que la répartition reste très bonne avec cependant une prédominance constante du maximum sur le minimum de 22 à 44 % en allant vers l'amont.
- L'amplitude de l'onde semi diurne est la plus forte des trois (fig. 23). Maximums et Minimums décroissent également de l'aval vers l'amont, sauf au niveau de Balandine où le maximum varie en sens inverse en raison, vraisemblablement, du rétrécissement du bief entre BAILLA et BALANDINE.

Contrairement à Y. Brunet MORET, nous ne possédons qu'une année d'observation complète sur le Marigot de BAILLA, et il nous est difficile en fonction de ces données de préciser les amplitudes maximales possibles que Y. Brunet MORET estimait ne pas devoir dépasser 5 % pour les marées semi diurnes et 10 % pour les marées semi mensuelles, des maximums de la période d'observation.

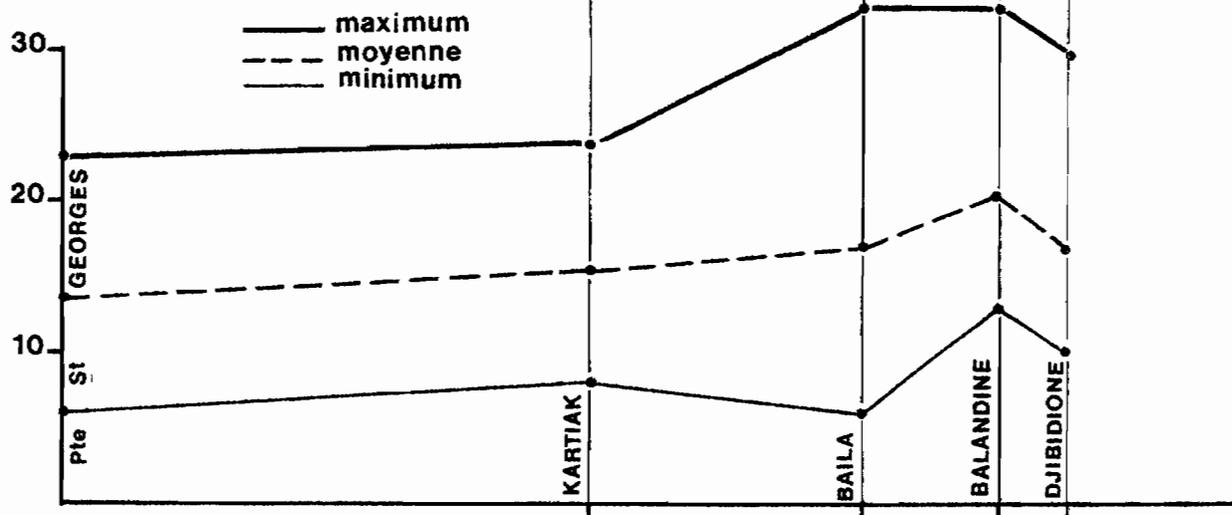
- La variation des amplitudes si elle suit la même tendance que sur la Casamance, n'en présente pas moins des particularités inhérentes à la morphologie du marigot fig. 24. Ces amplitudes sont soumises à une double influence :
  - celle du rétrécissement occasionnel du lit majeur pouvant localement entraîner une augmentation d'amplitude par rapport à l'aval (Balandine)
  - mais surtout, celle de l'éloignement du lieu générateur qui tend à les amortir.

Les amplitudes annuelles des moyennes mensuelles et maximales absolues reflètent le jeu de ces influences. Jusqu'à KARTIAK il y a conservation de l'énergie. Entre KARTIAK et BAILLA le bief reste très large et l'influence 2 s'impose à la 1. Entre BAILLA et BALANDINE le rétrécissement sensible du bief redonne un nouveau souffle à l'onde. Au-delà de BALANDINE l'influence de la distance par rapport à la mer est définitivement prépondérante.

AMPLITUDE DES MARÉES SEMI DIURNES

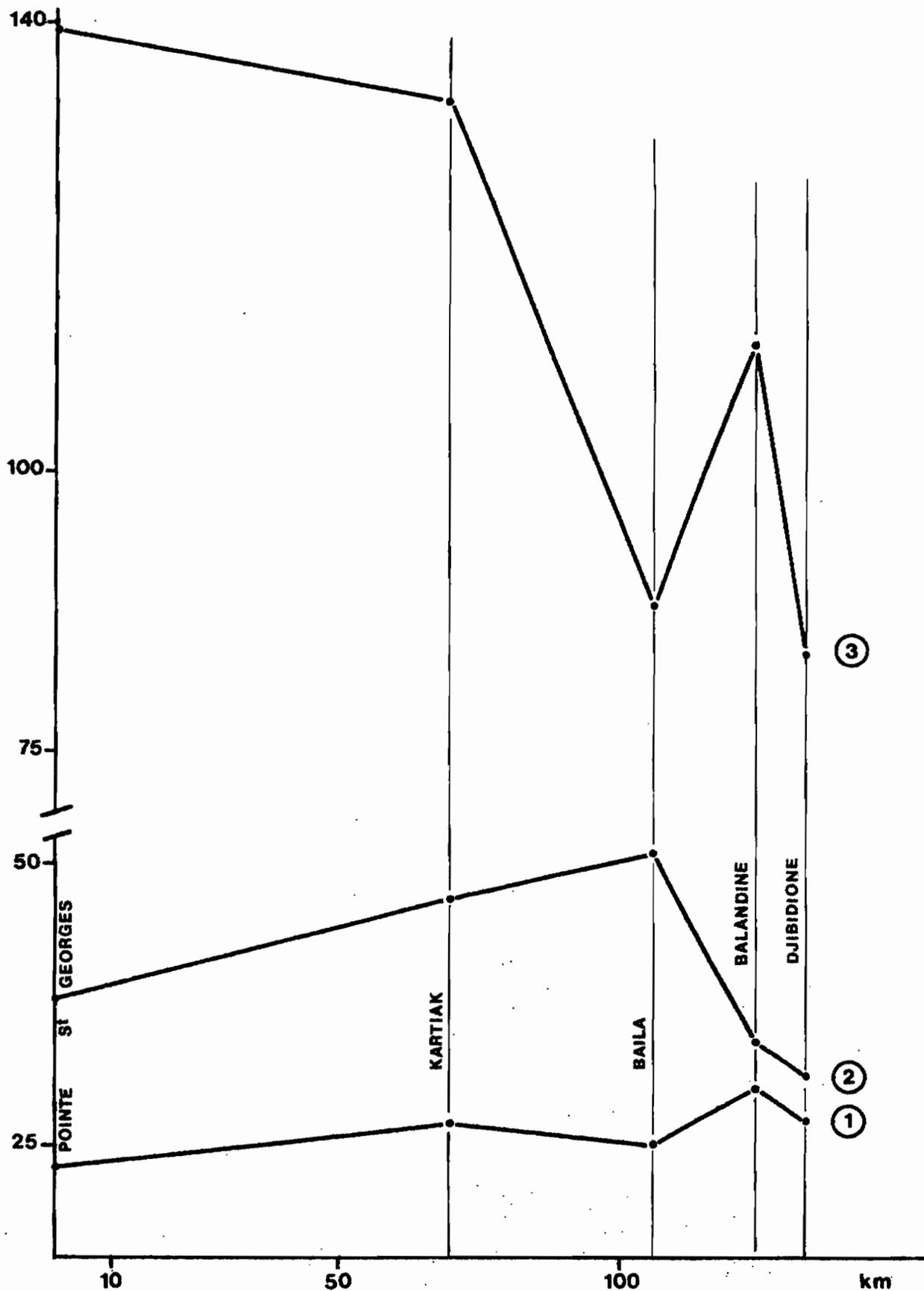


AMPLITUDES DE LA PLUS FORTE PAR MOIS DES DEUX MARÉES SEMI MENSUELLES



AMPLITUDE ANNUELLE

- des  $\bar{M}$  mensuelles de 79 ①
- des  $\bar{M}$  journalières de 79 ②
- maximum absolu de 79 ③



R = L'amplitude annuelle maximale absolue a été établie à partir des données du tableau 32.

Station \ Marée	Pte St Georges	KARTIAK	BAILA	BALANDINE	DJIBIDIONE
Cote Echelle abs. + marée Haute (m)	1,835	1,750	1,650	1,760	1,979
Cote Echelle abs. + marée Basse (m)	0,445	0,420	0,790	0,650	1,145

Un fait est remarquable :

Les plus fortes amplitudes journalières à toutes les stations correspondent aux plus faibles coefficients de marées (en fait seule la valeur relative de ces coefficients est estimée à partir des hauteurs d'eau de la station de référence de DJOGUE à l'embouchure de la Casanance).

De même les fortes amplitudes des DJOGUE signalant un fort coefficient de marée se traduisent-elles par de faibles amplitudes sur le marigot.

c) Etude des volumes transités par la marée :

Elle a été réalisée suivant la méthode mise au point sur les fleuves Mahury et Approuague (Guyanne Française) par M.A. ROCHE. (voir § III, 2)

Le principe du dépouillement est celui d'une triple intégration graphique. Le volume écoulé au cours d'une onde de marée s'exprimant ainsi : (fig. 25)

$$V = \iiint u \, dz \, dy \, dt$$

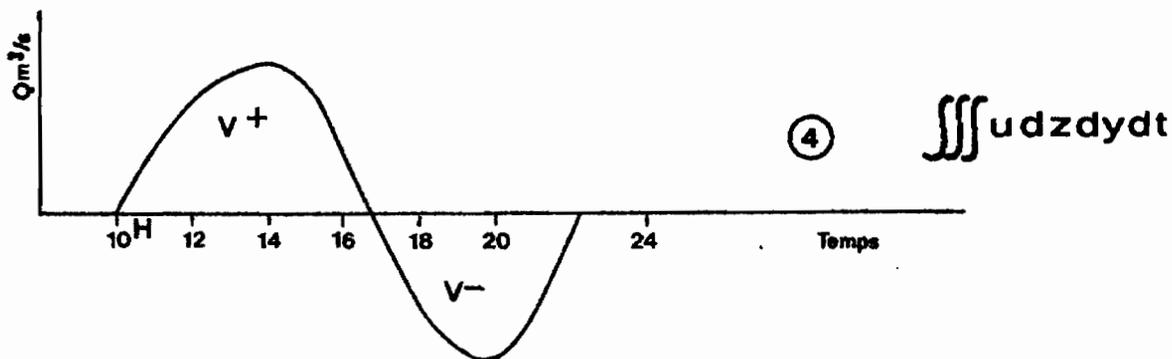
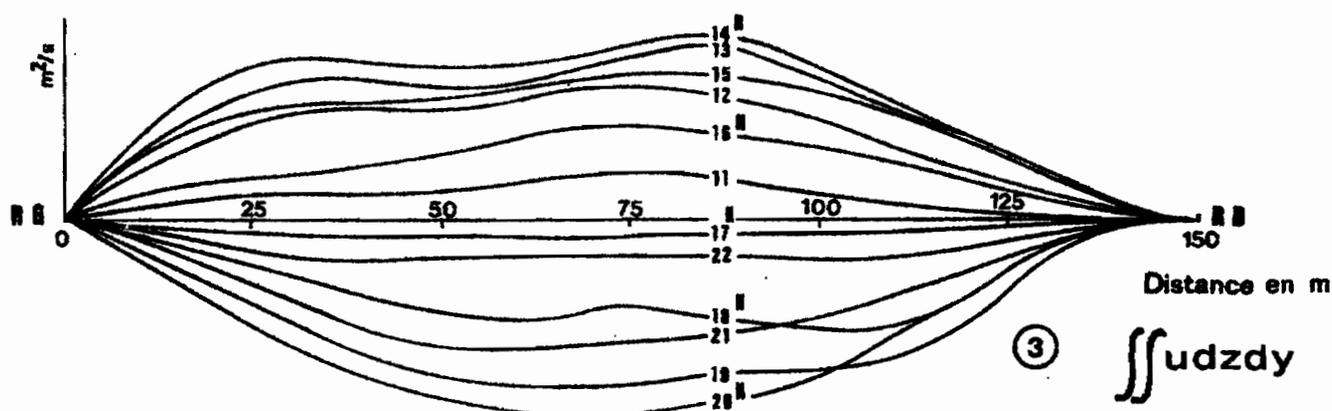
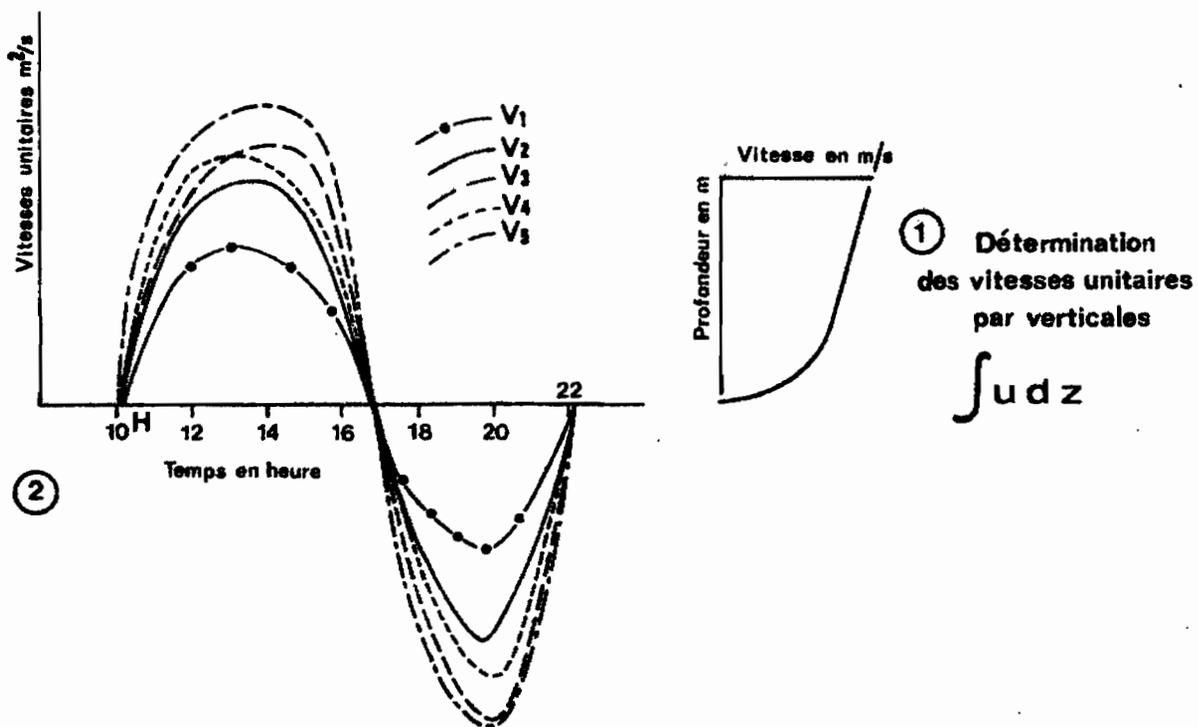
où u = vitesse

z = profondeur

y = l'abscisse dans la section

t = temps

Composition de l'intégration graphique établissant les volumes transités par un flot et un jusant successifs à KARTIAK



Les essais de détermination ont porté sur 3 stations et pour des coefficients de marée différents.

Au cours des dépouillements nous avons remarqué que les vitesses maximales enregistrées décroissaient de l'aval vers l'amont pour des marées de même nature, passant de 0,7 m/s à KARTIAK à 0,61 m/s à BAILLA et à 0,5 m/s à BALANDINE.

Les résultats de jaugeages exploitables sont présentés par le tableau - 34 -.

STATION DATE et MAREE	KARTIAK V en $\bar{M}$ m <sup>3</sup>		BAILLA V en $\bar{M}$ m <sup>3</sup>		BALANDINE V en $\bar{M}$ m <sup>3</sup>	
	FLUX	REFLUX	FLUX	REFLUX	FLUX	REFLUX
5.7. 1979 Mortes Eaux	7,10 ?	5,95				
24.7. 1979 Vives Eaux			2,57	2,4		
25.7. 1979 Vives Eaux					0,43	0,62
27.7. 1979 Vives Eaux	6	4,8				
6.9. 1979 Vives Eaux			2,39	2,08		
7.9. 1979 Vives Eaux	9,14	6,50				

\* La mesure de reflux a précédé la mesure de flux.

- L'observation de ces résultats appelle quelques réflexions :

- Dans tous les cas, sauf un, le flux transite plus d'eau que le reflux en vives eaux.

L'évaporation étant intense et les surfaces potentielles importantes nous avons effectué un calcul de l'évaporation moyenne pouvant intervenir sur un bief considéré au cours

des six heures de haute mer. Dans tous les cas le volume évaporé n'excède pas dix pour cent des volumes résiduels, ce qui nous a fait écarter l'hypothèse d'une compensation par évaporation.

La solution la plus plausible nous a semblé être celle d'une compensation liée aux inégalités diurnes de la marée ou à celles de plus longues périodes ; bimensuelle ou mensuelle. Dans ce but nous avons effectué les 24 et 25 mai à la station de BAILLA un jaugeage continu sur 24 heures à raison de 1 jaugeage toutes les heures.

Cette série de mesures se situait en mortes eaux. Les résultats obtenus ont été les suivants :

BAILLA Mortes EAUX	1er FLUX	REFLUX	2e FLUX	REFLUX
Volumes transités en $\bar{M}$ m <sup>3</sup>	1,980	2,016	2,282	2,614

Le bilan de la marée diurne est négatif.

La compensation existe bien par différence de transit des volumes, mais elle ne s'effectue pas au niveau journalier.

Il est probable étant donné l'importance des volumes résiduels de chaque onde compris à BAILLA entre 1,8 et 13 % et l'amplitude de l'onde semi mensuelle que la compensation intervienne en grande partie dans ce cadre.

Les marées de vives eaux rempliraient relativement les biefs pendant une semaine, les mortes eaux succédant compenseraient en partie par une vidange. Le bilan n'apparaissant équilibré qu'au bout d'un temps beaucoup plus long si l'on se base, dans la même optique, sur les fluctuations annuelles des niveaux moyens mensuels.

5) La Salinité :

a) Son étude : Elle a été réalisée à partir des mesures de conductivité effectuées à Etale Marée Haute (EMH) et Etale Marée Basse (EMB) à chaque station 1 fois par semaine au cours de la saison des pluies, 1 fois par mois au cours de la saison sèche qui a suivi.

Les tableaux 35 à 39 présentent l'ensemble des données de conductivité recueillies au cours de l'année et les minéralisations en g/l correspondantes.

Il existe en effet une relation entre la teneur en sels dissous d'une eau et sa conductivité qui exprime une concentration d'ions dans un volume.

La détermination de la minéralisation par pesée de l'extrait sec, outre la lourdeur de l'intervention en laboratoire, n'apparaît pas très satisfaisante du fait que l'évaporation peut modifier la structure de certains sels comme les carbonates ou les sulfates qui en cristallisant fixent des molécules d'eau.

Au laboratoire de Dakar la minéralisation est obtenue par le calcul à partir de la conductivité.

La formule employée est celle de G. Richard et Nguyen Van Cu, assez fiable du fait qu'elle évolue en fonction de l'importance de la minéralisation

$$\text{Min (en g/l)} = 0,7671 \times \text{Cond. (en millimhos/cm)}$$

Les sondages de détail effectués au cours des jaugeages ont prouvé que la salinité était très homogène dans toute la section et qu'elle évoluait très peu entre marée haute et marée basse.

b) Evolution au cours de l'année

La figure 26 montre l'évolution comparée de la conductivité moyenne mesurée à EMH pour chacune des stations. Elle est minimale en Septembre et maximale en Mai-Juin à la veille des premières pluies.

K A R T I A K

Conductivité (en millimhos/cm) et minéralisation globale (en g/l)

EMH = Etale Marée Haute

EMB = Etale Marée Basse

Mois	Date	Conductivité		Minéralisation	
		EMH	EMB	EMH	EMB
Juin 1979	16	62		47,6	
	22	51		39,1	
Juillet	5	52	53	39,9	40,7
	13	54	50	41,4	38,4
	21	50		38,4	
	27	47	45	36	34,5
Août	3	45	45	34,5	34,5
	8	45	45	34,5	34,5
	17	44	44	33,8	33,8
	23	34	33	26,1	25,3
	31	35	35	26,8	26,8
Sept.	7	31	29	23,8	22,2
	14	29	29	22,2	22,2
	21	34	30	26,1	23
	27	34	31	26,1	23,8
Octobre	2	37	36	28,4	27,6
	12	(19)	(19)	(14,6)	(14,6)
	16	34	32	26,1	24,6
	25	34	34	26,1	26,1
Novembre	15	44	42	33,2	32,2
Décembre	14	49		37,6	
Janvier 1980	6	53	53	40,7	40,7
Février	7	54,5	54,5	41,8	41,8
	26	61	61		
Mars	26	60,5	60	46,8	46
Avril	25	67	65	51,4	49,8
Mai	26	68	65,5	52,2	50,2

Tab. n° 36

B A I L A

Conductivité (en millimhos/cm) et minéralisation globale (en g/l).

Mois	Date	Conductivité		Minéralisation	
		EMH	EMB	EMH	EMB
Juin 1979	14	67		51,4	
	20	60		46	
	26	61		46,8	
Juillet	6	55	56	42,2	43
	12	59	57	45,3	43,7
	16	51	49	39,1	37,6
	24	47	47	36	36
	30	47	45	36	34,5
Août	6	42	40	32,2	30,7
	13	41	40	31,5	30,7
	20	39	37	29,9	28,4
	29	(21)	26	(16,1)	19,9
Septembre	6	25	25	19,2	19,2
	14	22	22	16,9	16,9
	19	22	21	16,9	16,1
	26	24	23	18,4	17,6
Octobre	4	27	25	20,7	19,2
	11	26	25	19,9	19,2
	17	25	22	19,2	16,9
	24	27	25	20,7	19,2
Novembre	16	36	34	27,6	26,1
Décembre	13	44	42	33,8	32,2
Janvier 1980	8	49	48	37,6	36,8
Février	6	53	52	40,7	39,9
	23	61	60	46,8	46
Mars	29	64	64,5	49,1	49,5
Avril	24	73	74	56	56,8
Mai	22	77,5	79	59,5	60,6

B A L A N D I N E

Conductivité (en millimhos/cm) et minéralisation globale (en g/l).

Mois	Date	Conductivité		Minéralisation	
		EMH	EMB	EMH	EMB
Juin 1979	15	62		47,6	
	20	47		36	
	27	50	45	38,4	34,5
Juillet	6	50	40	38,4	36,8
	10	51	50	39,1	38,4
	16	47	45	36	34,5
	25	36	35	27,6	26,8
	30	35	35	26,8	26,8
Août	6	34	33	26,1	25,3
	13	34	33	26,1	25,3
	21	35	34	26,8	26,1
	30	30	28	23	21,5
Septembre	9	26	25	19,9	19,2
	14	25	23	19,2	17,6
	18	22	19	16,9	14,6
	25	24	23	18,4	17,6
Octobre	3	25	24	19,2	18,4
	10	24	23	18,4	17,6
	18	22	21	16,9	16,1
	23	25	25	19,2	19,2
Novembre	20	30	29	23	22,5
Décembre	12	35	34	26,8	26,1
Janvier 1980	7	42	41	32,2	31,5
Février	5	47	47	36	36
	28	58	50	44,5	44,5
Mars	28	63	65	40,3	49,9
Avril	26	76	80	58,3	61,4
Mai	21	82,5	86,5	63,3	66,4

D J I B I D I O N E

Conductivité (en millimhos/cm) et minéralisation globale (en g/l).

Mois	Date	Conductivité		Minéralisation	
		EMH	EMB	EMH	EMB
Juin 1979	15	58		44,5	
	20	43		33	
	28	41	40	31,5	30,7
Juillet	6	48	47	36,8	36
	10	50	50	38,3	38,3
	16	47	47	36	36
	26	26	25	19,9	19,2
	30	28	27	21,5	20,7
Août	6	28	28	21,5	21,5
	13	29	29	22,2	22,2
	20	32	31	25,5	23,8
	30	28	27	21,5	20,7
Septembre	8	24	24	18,4	18,4
	14	23	21	17,6	16,1
	18	22	21	16,9	16,1
	25	25	25	19,2	19,2
Octobre	3	27	27	20,7	20,7
	10	25	25	19,2	19,2
	18	26	25	19,9	19,2
	23	25	25	19,2	19,2
Novembre	20	32	32	25,5	25,5
Décembre	12	36	36	27,6	27,6
Janvier 1980	7	43	43	33	33
Février	5	50	51	38,4	39,1
	28	62	63,5	47,5	48,7
Mars	28	73	74	56	56,8
Avril	26	80	91	67,5	69,8
Mai	21	96	99	73,6	75,9

O U P O U E L

Conductivité (en millimhos/cm) et minéralisation globale (en g/l).

Mois	Date	Conductivité		Minéralisation	
		EMH	EMB	EMH	EMB
Juin 1979	14	67		51,4	
	21	41		31,5	
Juillet	6	55	52	42,2	39,9
	16	40	35	30,7	26,8
	30	31		23,8	
Août	6	30	25	23	19,2
	13	19	17	14,6	13
	20	27	24	20,7	18,4
	29	16	15	12,3	11,5
Septembre	19	11	10	8,4	7,7
	26	15	15	11,5	11,5
Octobre	4	20	18	15,3	13,8
	11	16	15	12,3	11,5
	17	16	16	12,3	12,3
	24	20		15,3	
Novembre	16	31	30	23,8	23
Décembre	13	43	43	33	33
Janvier 1980	8	51	51	39,1	39,1
Février	6	59	60	45,3	46
	25	71,5	74	54,8	56,8
Mars	28	80	83	61,4	63,7
Avril	24	94	99	72,1	75,9
Mai	22	101	105,5	77,5	80,9

ÉVOLUTION COMPARÉE DE LA CONDUCTIVITÉ  
A Étale Marée haute en millimhos/cm.cm<sup>2</sup>

90  
80  
70  
60  
50  
40  
30  
20  
10  
0

JUIN JUL AOUT SEPT OCT NOV DEC JANV FEV MARS AVRIL MAI JUIN

- STATIONS
- POINTE S<sup>t</sup> GEORGES
  - ..... KARTIAK
  - ..... BAILA
  - BITI BITI
  - BALANDINE
  - ..... DJIBIDIONE

La figure 27 montre l'évolution comparée des conductivités à EMH et à EMB à la station de BAILA.

- A l'amont au cours de la saison des pluies la conductivité à marée basse est généralement inférieure à celle de la marée haute. En saison sèche les valeurs de marée basse rejoignent et dépassent progressivement celles de marée haute. Le phénomène est d'autant plus précoce et d'autant plus net que l'on va vers l'amont où les volumes des biefs sont plus faibles.
- A l'aval le phénomène disparaît ; l'inertie de la salinité due à la masse d'eau salée est trop grande (ex. Kartiak). La figure 28 qui présente l'amplitude des variations de la salinité au cours de l'année en fonction de la position des stations illustre bien le phénomène. On note une croissance de l'amplitude de l'aval vers l'amont :
- Au cours de l'hivernage, les apports en eau douce, même réduits comme en 1979, font que la salinité diminue très sensiblement en amont en raison du faible volume d'eau "à dessaler" : jusqu'à 7 à 8 g/l à OUPUELE ; - 16 g/l à DJIBIDIONE.

A l'aval, le poids des apports en eau douce diminue par rapport aux volumes soumis à l'influence plus proche du milieu maritime, la marée montante se comporte comme un agent salinisant, d'où une teneur plus forte en sel qu'à l'amont.

Au cours de la saison sèche, l'absence d'apport en eau douce favorise la remontée du front salin et la forte évaporation qui intervient sur des volumes relativement réduits en amont conduit à observer une concentration en sels qui dépasse rapidement celle de l'aval et de l'eau de mer (36 g/l).

Le flot fait transiter à marée montante des eaux relativement moins concentrées, ce qui explique que les salinités à l'EMH soient inférieures à celles de l'EMB au cours de cette période.

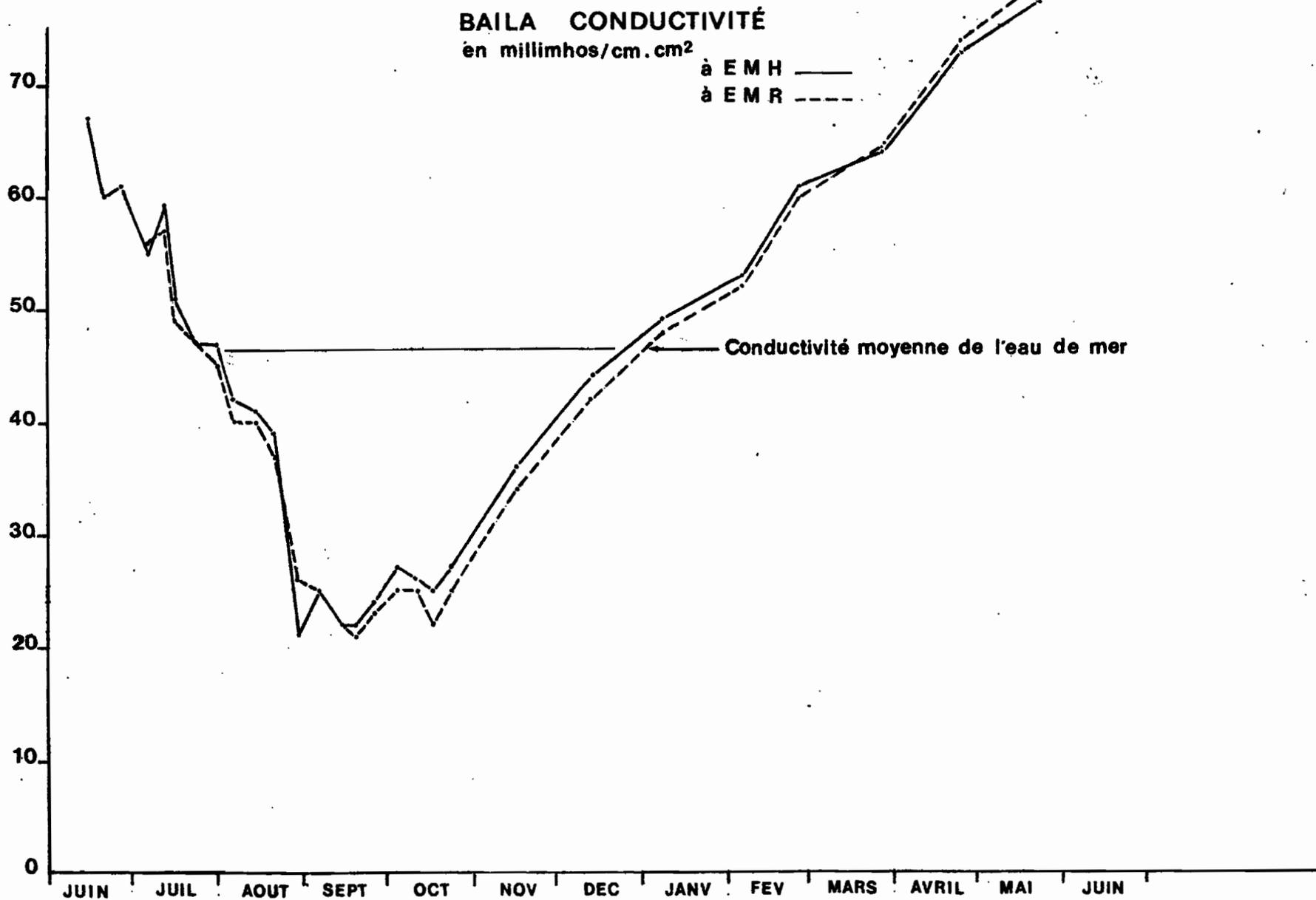
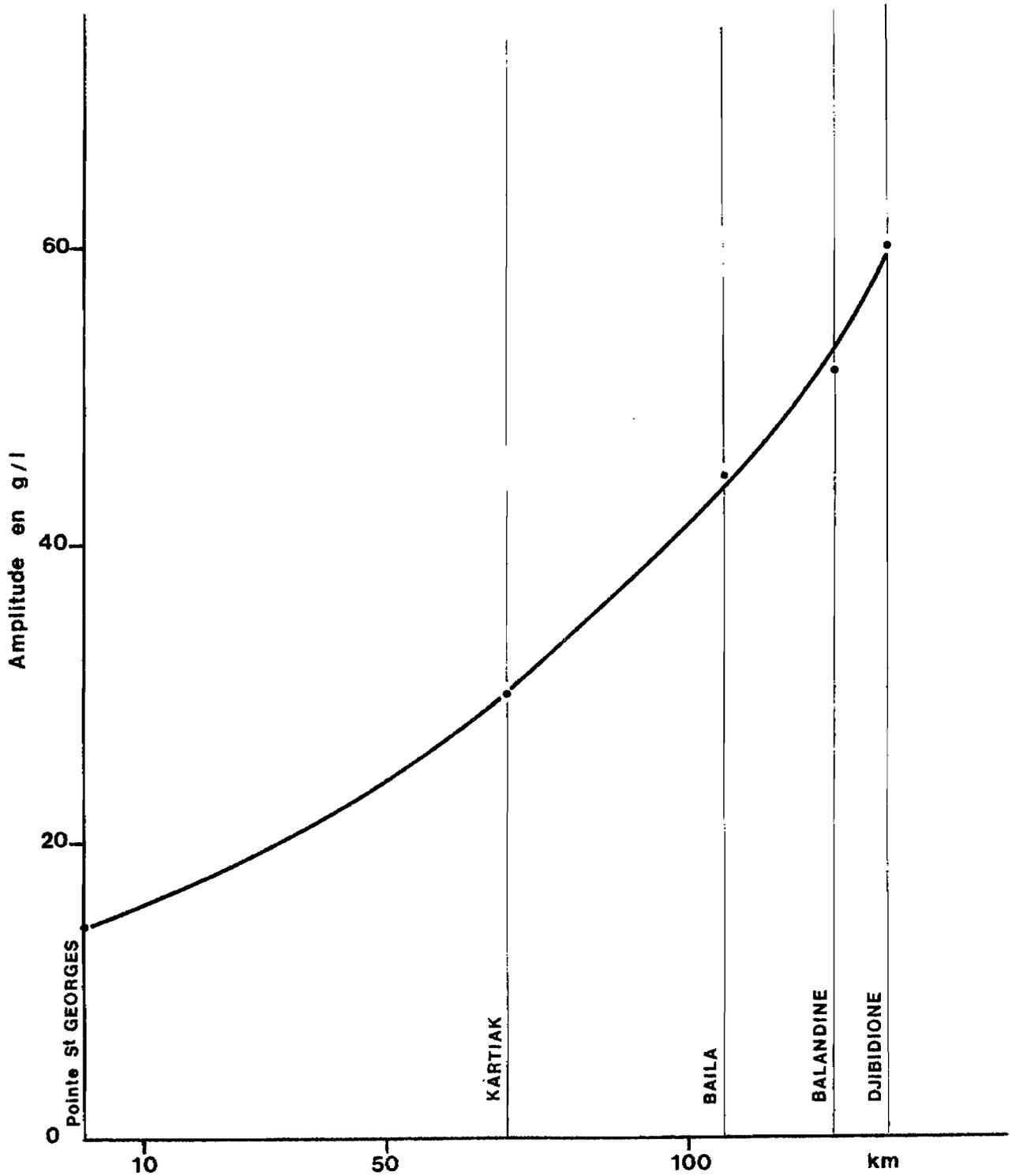


Fig. 27

AMPLITUDE DES VARIATIONS DE LA SALINITÉ DU MARIGOT DE BAILA  
 entre Juin 1979 et Mai 1980



Il ressort néanmoins de cette étude que même en période déjà très déficitaire comme cette année, la pluviométrie et l'écoulement qui en résulte sont suffisants pour dessaler en grande partie l'eau des biefs. En année normale on peut avancer sans danger que l'adoucissement des eaux du marigot au cours de l'hivernage serait presque complet, même très en aval entre BAILLA et KARTIAK.

c) Etude de la liaison Evaporation - Concentration en sel

En admettant, ce qui est probable, que les échanges avec la nappe soient négligeables, en saison sèche la concentration en sel des eaux du marigot ne peut être que la conséquence de l'évaporation.

A partir des quelques données de conductivité recueillies à DJIBIDIONE au cours de la saison sèche et des valeurs cumulées correspondantes de l'évaporation sur bac de Class A tab. 40 a été tentée une corrélation qui souligne l'existence d'une liaison. La relation est malheureusement inexploitable du fait de la spécificité des caractéristiques du bac de DJIBIDIONE.

Date	Conductivité en millimhos à DJIBIDIONE	Evaporation cumulée sur Bac assimilé Class A en mm
23/10/79	25	-
20/11	32	136,7
12/12	36	287
7/1/80	43	429
5/2	50	602
28/2	62	768
28/3	73	1013
26/4	88	1278

## 6) Etude du Contact entre le Marigot et les nappes

Il s'est effectué à partir de l'étude des compositions chimiques des eaux du marigot et des eaux recueillies dans la nappe adjacente grâce à une série de piézomètres. Cette étude commencée à DJIBIDIONE, BALANDINE et BAILLA, n'a pu, pour des raisons de malveillance, être poursuivie qu'à BALANDINE et BAILLA.

- a) A DJIBIDIONE les premiers prélèvements ont été réalisés le 20/11/79 en début de saison sèche, après mesure des hauteurs piézométriques et nivellement par rapport au 0 Echelle de la station. La seconde mesure, incomplète, n'a pu être réalisée qu'en fin de saison sèche.

- La figure 29 présente le contact des 2 nappes douces et salées au début de la saison sèche et l'évolution du coin salé en fin de saison sèche.

Elle montre en particulier que le contact piézométrique des 2 nappes est très proche du marigot lui-même. La pente du coin salé est donc nette, de l'ordre de 5%. Celle de la nappe l'est moins, et se situe en dessous de 1%.

Ce contact est très franc entre les 2 nappes puisque l'on passe sur 3 mètres environ entre les piézomètres 4 et 6 de 161 milliéquivalents/l à 4 milliéquivalents/l.

- L'étude chimique des prélèvements effectués le même jour à E.Marée Haute et E.Marée Basse dans le Marigot fait apparaître quelques points intéressants.

Les ions  $\text{Na}^+$  en très forte majorité avec les  $\text{Cl}^-$  sont moins nombreux à Marée basse qu'à Marée haute, alors que les  $\text{SO}_4^{--}$  et les  $\text{K}^+$  sont en légère progression.

- La balance ionique restant équilibrée, les rapports caractéristiques  $\frac{\text{Cl}^-}{\text{SO}_4^{--}}$  et  $\frac{\text{Na}^+}{\text{K}^+}$ , en valeur constante de  $\text{Cl}^-$  et  $\text{Na}^+$  entre Marée Haute et Marée basse, montrent qu'un échange, aussi faible soit-il existe entre la nappe salée proche et le marigot, dans le sens nappe-marigot.



Tab. 41

PH et Rapports caractér. Prélèvement car.	PH	$\frac{Cl^{-}}{SO_4^{--}}$ en %	$\frac{Nat}{K^{+}}$ en %
E. Marée Haute	7,8	15,50	37,33
E. Marée Basse	7,9	14,80	35,40
Piezo 1	7,8	13,51	34,54

b) A BALANDINE ; l'évolution de la nappe salée est présentée par la fig. 30

La faiblesse des échanges nappe-marigot est soulignée par la fig. 31 qui présente l'évolution dans l'espace et le temps des ions  $Cl^{-}$  \* au sein du marigot et de la nappe adjacente.

Les prises d'échantillon ont été effectuées sur le marigot et dans 6 piézomètres disposés en R.G. à 200 m en amont de la Station. Elles sont situées en périodes caractéristiques de début, milieu et fin de saison sèche.

La variation peu marquée des valeurs relevées au piézomètre 3 situé à seulement 5,40 m de la rive du marigot souligne la faiblesse des échanges entre les 2 milieux et le peu d'importance de la partie de la nappe concernée par ces échanges.

\* La représentativité de la salinité par les ions  $Cl^{-}$  a été vérifiée par corrélation sur 50 couples de valeurs :

$$CE = 0,0635 Cl^{-} + 8,3003$$

$$r = 0,9844$$

BALANDINE. Etude du coin Salé

----- au 21/11/79  
 - - - - - au 21/5/80

P<sub>1</sub> : Piezomètre n°1  
 R.G. : Rive gauche  
 (38) : Conductivité en millimhos/cm

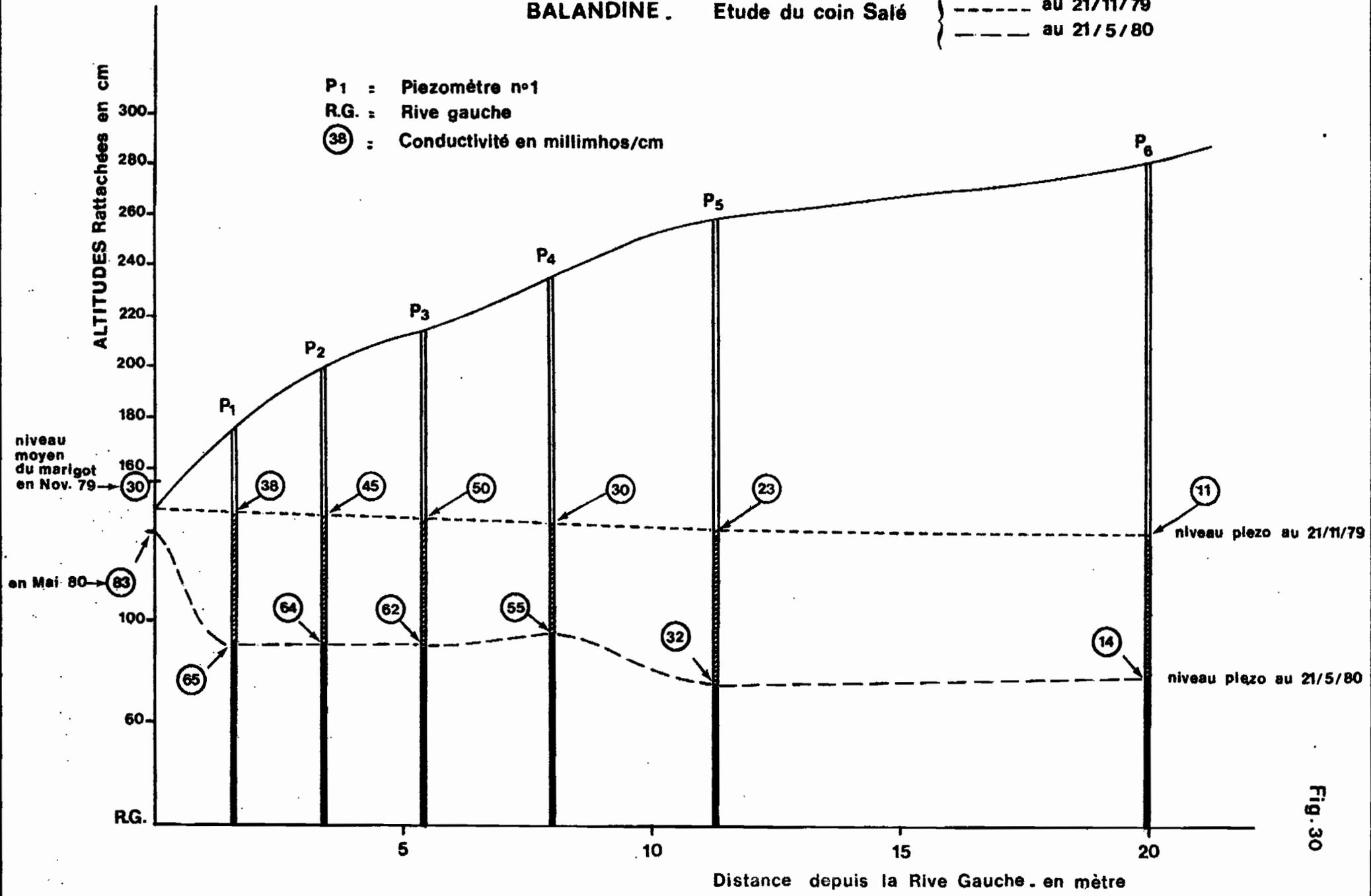
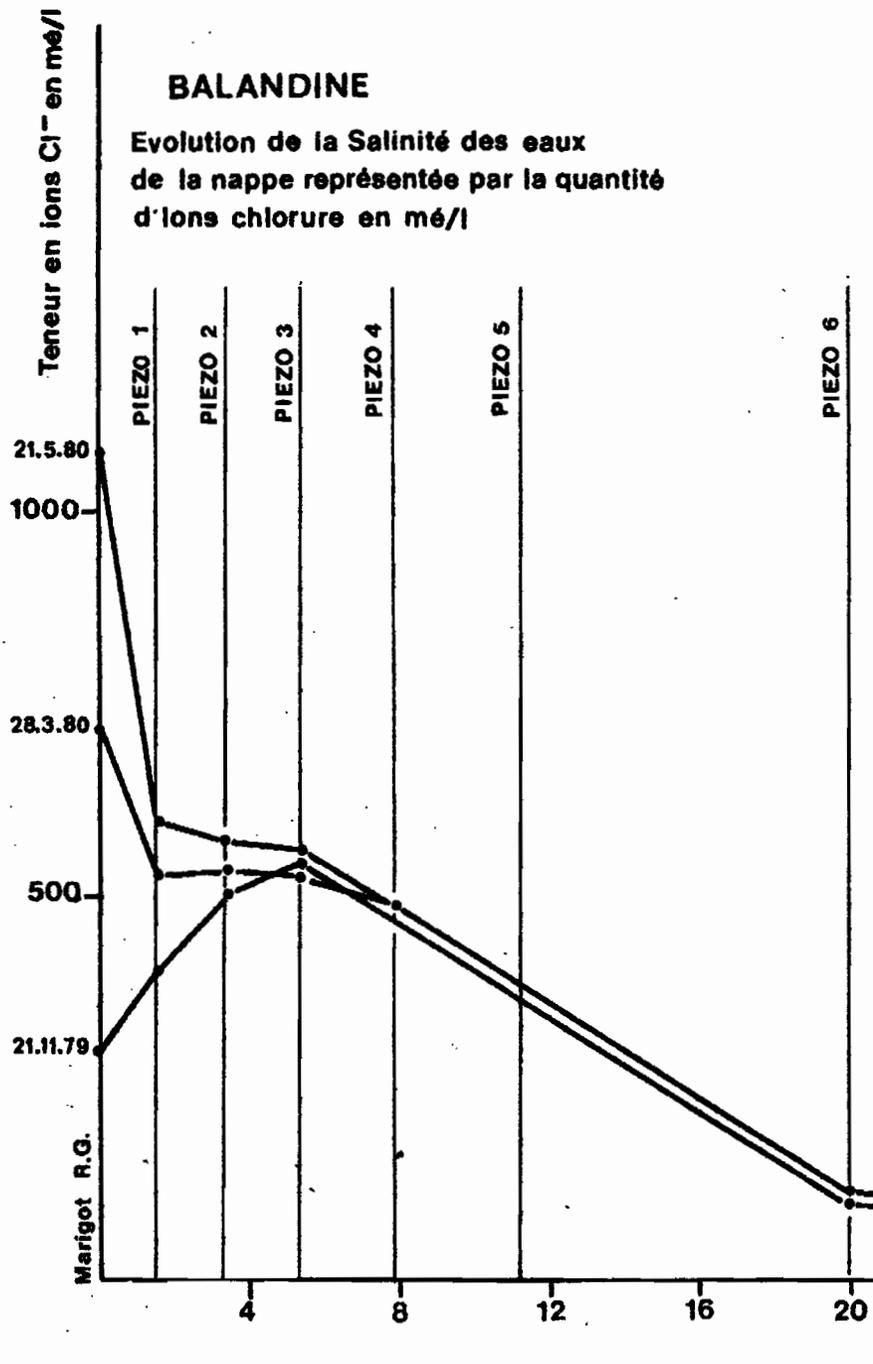


Fig. 30

**BALANDINE**

Evolution de la Salinité des eaux de la nappe représentée par la quantité d'ions chlorure en mé/l



**BAILA**

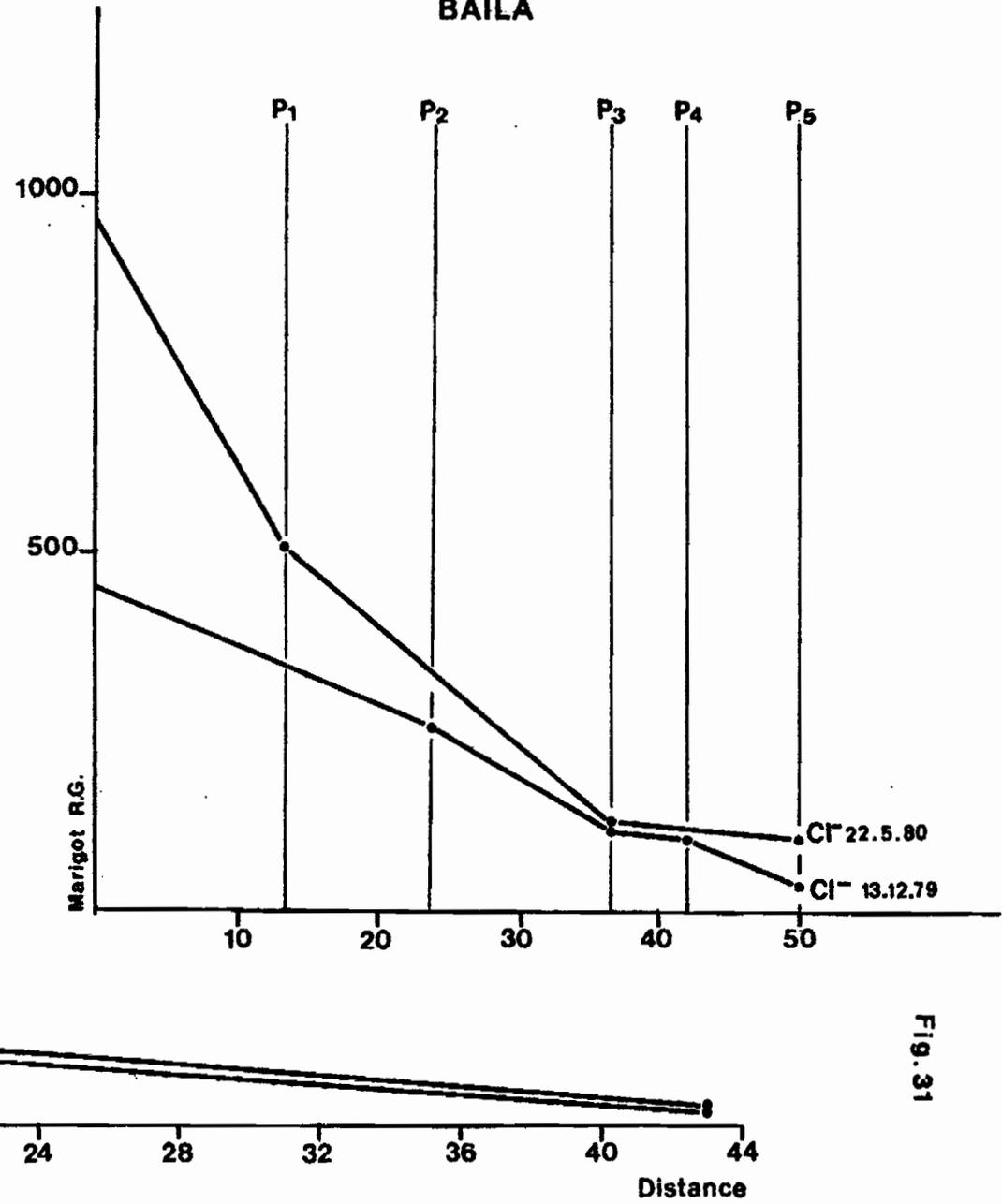


Fig. 31

c) A BAILA : La partie de la nappe sous l'influence sensible du marigot est plus importante (fig. 32). Il faut atteindre le piézo 4, situé à 36 m de la rive G en amont du pont entre la route et l'ancien bac, pour obtenir une stabilisation de la courbe et une variation faible des chlorures (fig. 31).

Il semble bien donc que l'importance du coin salé soit directement lié à la taille du lit du marigot dans la région où les sols encadrants présentent les mêmes caractéristiques.

D'une manière générale cette importance est limitée par l'épaisseur des vases argileuses noires qui colmatent le fond et les berges du marigot, d'où des échanges apparemment faibles entre la nappe et le marigot en saison sèche tout du moins.

Il est fort probable qu'en saison humide l'écoulement possible de la nappe vers le marigot ne puisse s'effectuer que de façon hypodermique ; pour les mêmes raisons qu'évoquées précédemment.

#### 7) Le PH, la Composition chimique des eaux :

- Les mesures de PH ont été effectuées au labo à Dakar sur les échantillons destinés à l'analyse chimique. Les valeurs sont très homogènes d'une station à l'autre et varient peu au cours de l'année (fig. 33). Minimum au cours de la saison des pluies avec des valeurs parfois légèrement acides, il est maximum en début et milieu de saison sèche (de novembre à février suivant les stations) avec des valeurs approchant "8".

Les fluctuations les plus importantes d'une station à l'autre se situent en hivernage et il semble qu'elles soient dues à l'étendue et à la nature variables de zones de Schorres qui influencent l'évolution chimique du milieu aquatique.

Néanmoins on peut remarquer qu'en général les valeurs les plus basses sont, en toutes saisons, celles des stations amonts ; les plus fortes celles des stations aval. Cela tient sans doute au rôle tampon bien supérieur que joue à l'aval la grande masse d'eau des biefs.

BAILLA . Evolution du coin Salé

- - - - - au 16/11/79  
 - - - - - au 21/5/80

P<sub>1</sub> Piezomètre n° 1  
 (30) Conductivité électrique en millimhos/cm

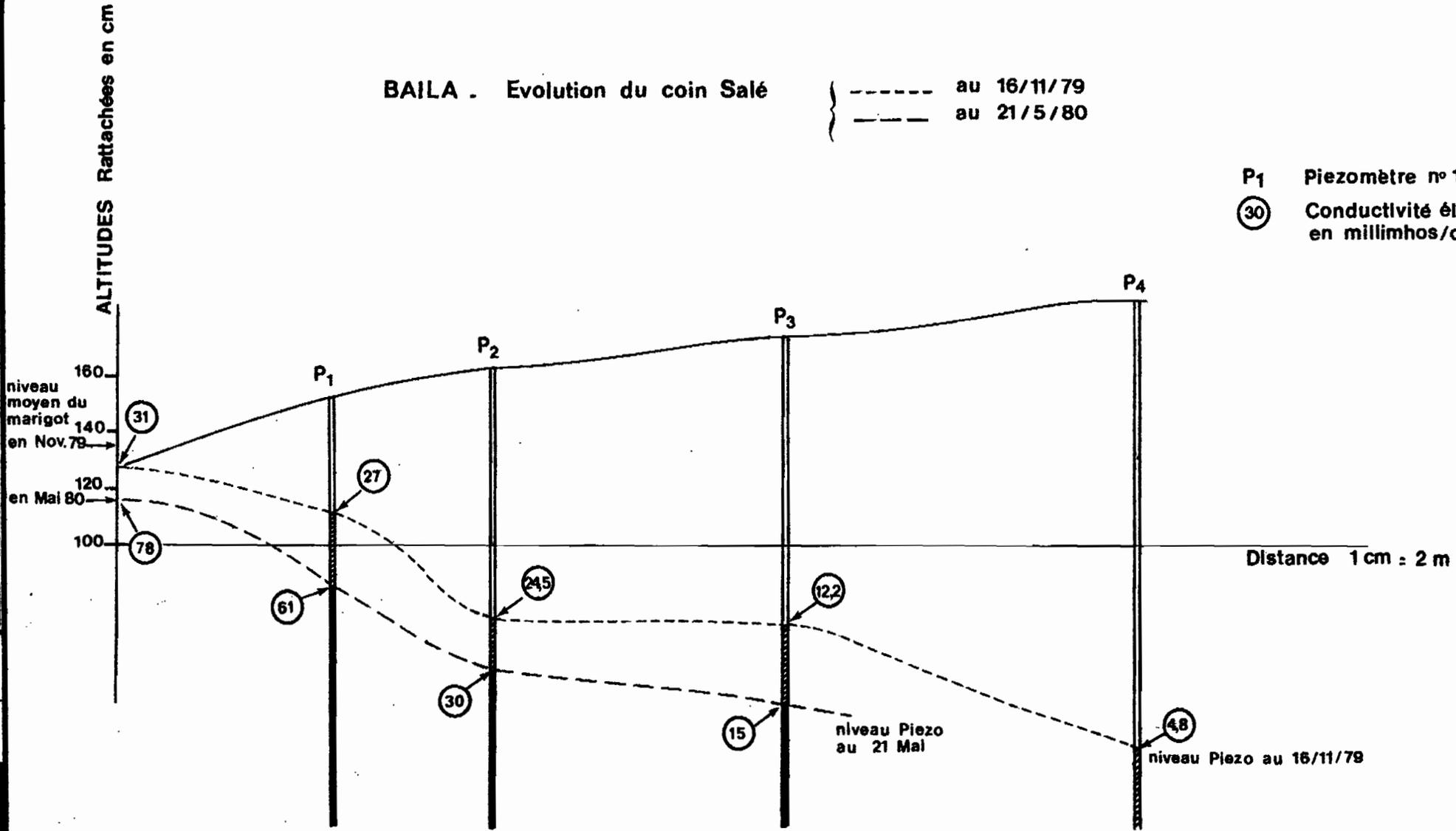


Fig. 32

EVOLUTION DU PH moyen mensuel

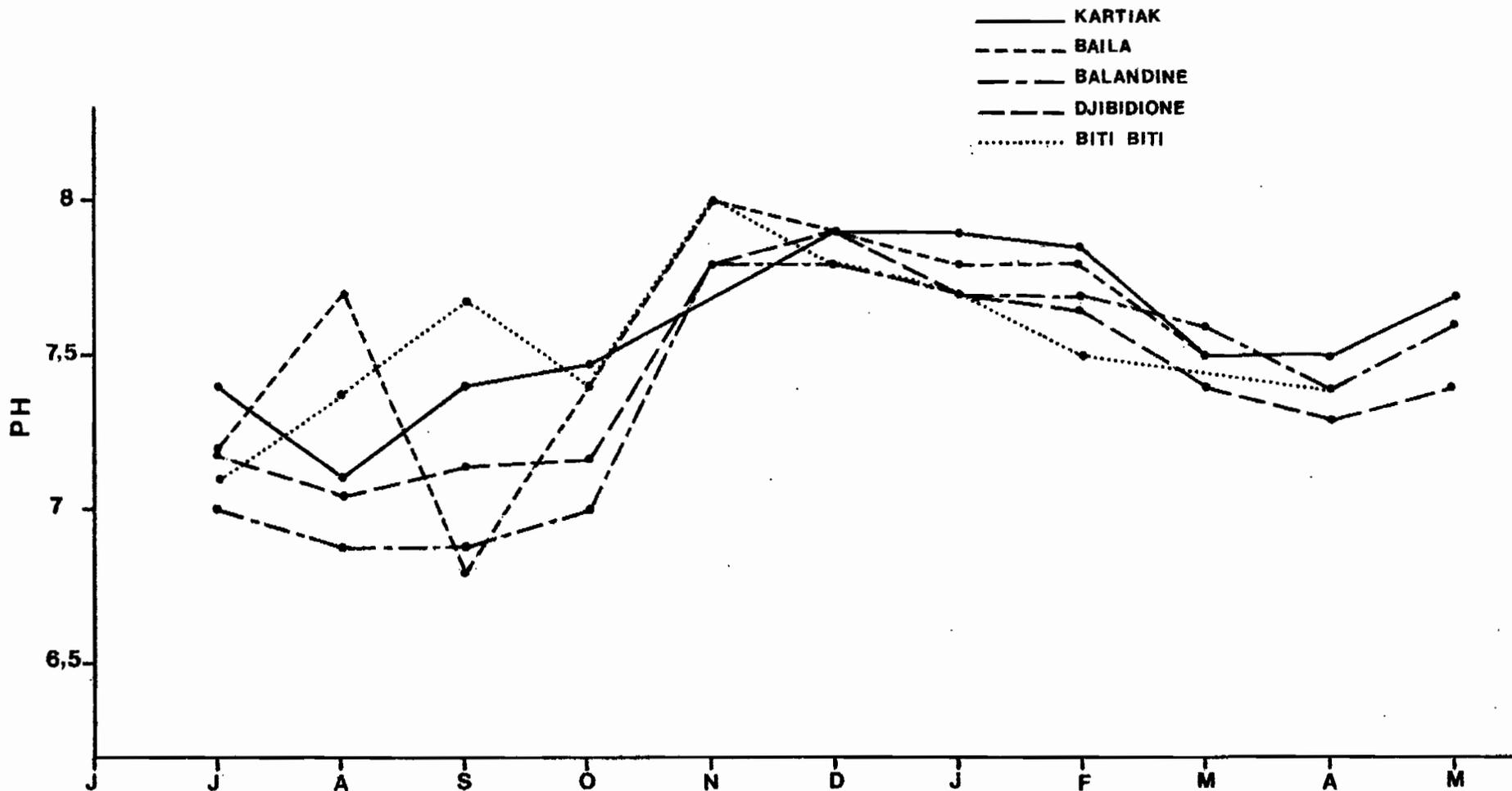


Fig. 33

• La recherche des éléments majeurs a été effectuée dans deux optiques.

• Au cours des premières semaines dans l'optique de mettre en évidence une variation de la composition chimique des eaux au travers des sections de jaugeage. A cette fin un nuage de 20 points par section (les points de prises de vitesse) a été réalisé à ENH et ELB à chaque station.

Aux variations d'analyse près la composition des eaux semble très homogène.

• Par la suite le contrôle de la qualité chimique des eaux a donc été poursuivi à partir de deux prélèvements hebdomadaires en Marée haute et basse en milieu de section. Notre but étant de contrôler l'évolution amont-aval des principaux éléments et leurs fluctuations au cours des saisons. Les éléments chimiques, dits majeurs, retenus pour ces contrôles ont été les suivants par ordre d'importance :

Anions :  $\text{Cl}^-$  ,  $\text{SO}_4^{--}$  ,  $\text{HCO}_3^-$

Cations  $\text{Na}^+$  ,  $\text{Mg}^{++}$  ,  $\text{Ca}^{++}$  ,  $\text{K}^+$

Les comparaisons ont été effectuées après vérification des balances ioniques. Les valeurs nous ont été données par le laboratoire d'analyse en milliéquivalents par litre (m é/l). Comme on pouvait s'y attendre pour des eaux aussi salées les ions dominants sont  $\text{Cl}^-$  et  $\text{Na}^+$ . Leur variation est d'autant plus importante que l'on va vers l'amont. Le coefficient de variation qui se situe entre 2 et 2,5 à KARTIAK atteint 6 à DJIBIDIONE.

L'évolution de la composition chimique des eaux du marigot a été suivie en fait à partir des valeurs caractéristiques des différents ions établies par rapport à l'ion  $\text{Cl}^-$ . L'intérêt du rapport ions/ $\text{Cl}^-$  est qu'il intègre déjà le facteur évaporation.

Le tableau 42. présente pour chaque station et pour 2 périodes remarquables (hivernage et saison sèche) les valeurs de ces rapports caractéristiques. Ceux de la pointe St Georges sur la Casamance sont donnés à titre de référence.

Rapport ionique en milliéquiva- lents/l	Date	$\frac{Ca^{++}}{Cl^{-}}$	$\frac{Mg^{++}}{Cl^{-}}$	$\frac{K^{+}}{Cl^{-}}$	$\frac{Na^{+}}{Cl^{-}}$	$\frac{SO_4^{--}}{Cl^{-}}$
Station						
Pte St GEORGES	20/9/79	0,033	0,152	0,024	0,868	0,077
	27/3/80	0,047	0,193	0,019	0,882	0,098
KARTIAK	21/9/79	0,035	0,0173	0,027	0,865	0,076
	26/3/80	0,055	0,195	0,020	0,862	0,109
BAILA	19/9/79	0,058	0,199	0,020	0,868	0,135
	29/3/80	0,058	0,205	0,019	0,837	0,116
BALANDIIE	18/9/79	0,041	0,203	0,019	0,867	0,100
	28/3/80	0,051	0,206	0,019	0,789	0,118
DJIBIDIONE	18/9/79	0,051	0,204	0,018	0,862	0,104
	28/3/80	0,055	0,210	0,020	0,872	0,139

La fig. 34 illustre ce tableau et met en valeur en particulier :

- l'évolution de l'aval vers l'amont,
- la variation relative en fonction de la saison.

On constate que la teneur relative en ions  $\text{Ca}^{++}$  augmente en saison sèche comme en saison humide entre la Casamance (Pte St Georges) et la station de DJIBIDIONE, Il en est de même pour les ions  $\text{Mg}^{++}$ , Cette augmentation serait due d'après Y. KALCK à la dissolution des tests carbonatés de diatomées pour les  $\text{Ca}^{++}$  et à une mise en équilibre des argiles des berges avec le milieu pour les  $\text{Mg}^{++}$ .

Les concentrations en  $\text{K}^+$  et  $\text{Na}^+$  apparaissent assez constante entre l'amont et l'aval en saison sèche. En saison des pluies les valeurs de  $\text{K}^+$  diminuent de l'aval vers l'amont, et d'une façon d'autant plus nette que les valeurs de  $\text{Cl}^-$  sont elles-mêmes décroissantes.

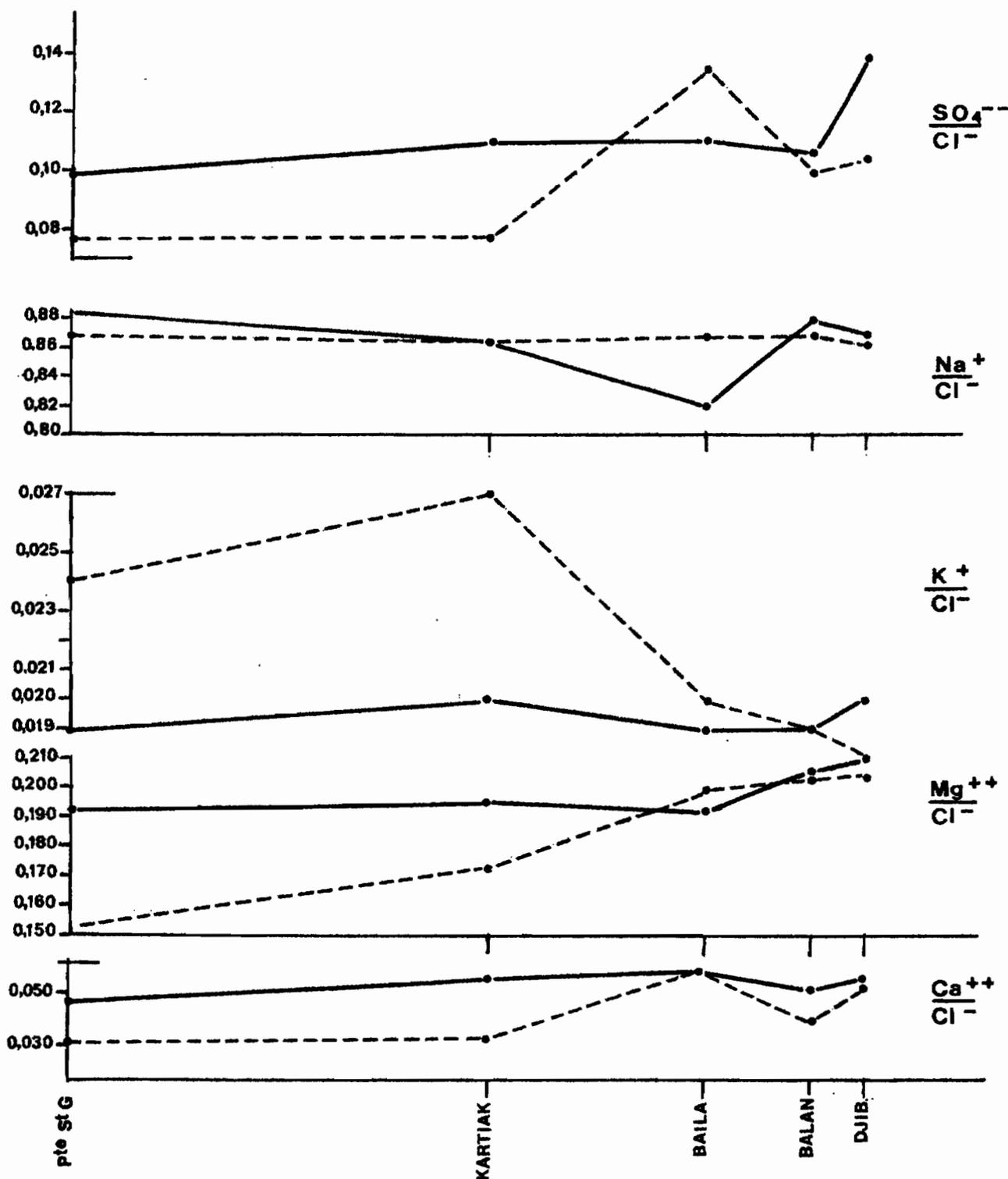
Les  $\text{SO}_4^{--}$  connaissent une progression d'aval en amont, au cours des deux saisons. Mais la progression est plus sensible en hivernage qu'en saison sèche.

Si on compare ces résultats à ceux obtenus en 1977 par Y. KALCK sur le marigot voisin de BIGNONA, on constate leur concordance ; sauf au niveau des sulfates qui évoluent en sens inverse. D'après KALCK l'abaissement progressif de la teneur en  $\text{SO}_4^{--}$  est liée à la fixation des ions par la mangrove au moment des hautes mers.

Le phénomène inverse sur le marigot de BAILLA pourrait s'expliquer par la disparition progressive du rôle de la mangrove qui meurt en amont et par le lessivage en marée haute des zones de vasières et de tannes subissant les transformations minérales consécutives à l'accentuation de la sécheresse des dernières années (formation de Gypse -  $\text{Ca SO}_4$  - en particulier).

**COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX DU BAILA**  
**Au différentes stations à marée haute**

du 26 au 29 Mars 1980 ———  
 du 18 au 21 Sept. 1979 - - - -



## CONCLUSION

Au terme de cette année d'observations, il apparaît qu'un certain nombre d'aspects de cette étude n'ont pu être qu'abordés, en raison de l'indigence des données antérieures, hydrologiques particulièrement, et du caractère marqué de la sécheresse de l'année faisant suite à une décennie déjà très déficitaire. Il sera intéressant de poursuivre ces observations et de vérifier à l'occasion d'une année de pluviosité normale, ou mieux excédentaire, le bien fondé de nos estimations d'écoulement sur les différentes parties du bassin versant.

- TABLE DES FIGURES -

1. Bassin versant du Marigot de BAILA	p. 6
2. Situation du Bassin Versant en Casamance	p. 8
3. Le Réseau du B.V.	p.12
4. Rapport de confluence - Rapport de longueur	p.13
5. Esquisse Géomorphologique de la Moyenne vallée du BAILA	P.15
6. Etude Comparative des températures à Ziguinchor	p.19
7. Humidité relative, Evaporation Piche à Ziguinchor	P.21
8. Vents dominants et vitesses moyennes mensuelles	P.21
9. Isohyètes moyennes annuelles en Casamance	p.24
10. Ajustement statistique de la pluviométrie annuelle à ZIGUINCHOR	p.28
11. Ajustement statistique de la pluviométrie annuelle à DIOULOLOU	p.29
12. Ajustement statistique de la pluviométrie annuelle à BIGNONA	p.30
13. Pluviométrie de l'année 79 sur le Bassin Versant	p.32 bis
14. Principaux types d'averses observées à TOUKARA	p.38
15. Courbes de Tarage à TOUKARA	p.39
16. Relation pluviométrie / lame d'eau écoulée	p.49
17. Ajustement graphique des fréquences de crue à KOLDA	p.54
18. Débits spécifiques de crue en année décennale et en année exceptionnelle	p.56
19. Evolution de l'onde de marée à chaque station le 15/10/79.	p.64
20. Transmission de l'onde de marée	p.65

21.	Détermination des ondes de marée semi mensuelle et mensuelle à BALANDINE	p. 68
22.	Marée Annuelle à chaque station	p. 69
23.	Amplitude des marées Semi diurne et Semi mensuelle	p. 71
24.	Amplitude annuelle des Moy. mensuelles journalières et maximums absolus à chaque station	p. 72
25.	Composition de l'intégration graphique établissant les volumes transités par un Flot et un Jusant successifs à KARTIAK	p. 74
26.	Evolution comparée de la conductivité à EMI pour chacune des stations.	p. 83
27.	Conductivité à Etale Marée Haute et à Etale Marée basse à BAILA	p. 85
28.	Amplitude des variations de la Salinité du Marigot de BAILA entre juin 79 et mai mai 1980	p. 86
29.	DJIBIDIONE : Etude du coin salé	p. 89
30.	BALANDINE : Etude du coin salé	p. 91
31.	Balandine, Baila : Evolution de la salinité des eaux du coin salé	p. 92
32.	BAILA : Evolution du coin salé	p. 94
33.	Evolution du PH moyen mensuel à chaque station	p. 95
34.	Composition chimique des eaux du BAILA à EMI aux différentes stations.	p. 99

BIBLIOGRAPHIE

- BRUNET MORET Y. - 1970 = Etude hydrologique en Casamance - Rapport définitif - ORSTOM -
- KALCK Y. - 1978 - = Evolution des zones à mangroves du SENEGAL au Quaternaire récent - Etudes géologiques et géoclimatiques - Doctorat de spécialité - STRASBOURG -
- MARIUS -C- 1979 = Les Mangroves du Sénégal.  
Ecologie, Pédologie, Utilisation,  
ORSTOM DAKAR
- MONGIARDINI CH. 1966 : La sédimentation éocène au SENEGAL - B.R.G.M  
PARIS -
- NAPIAS J.C. 1967 : Hydrogéologie de la Moyenne et Haute GASAMANCE - Bassin Versant de l'ANALIBE - BRGM -
- OLIVRY J.C. A. CHOURET - Etude Hydrol. du Marigot de BIGNONA - Résultats de la Campagne 70-71.  
à paraître ORSTOM DAKAR
- OTTMANN F. - 1968 : Etude des problèmes estuariens - Revue de géographie physique et de géologie dynamique - Volume X - Fascicule 4  
PARIS.
- ROCHE M.A. - 1976 - Méthodologie de mesure de la dynamique des eaux, des sels et des suspensions en estuaire - Société hydrotechnique de FRANCE - XIVe Journée de l'hydraulique - PARIS -
- ROCHE M.A., DUBREUIL P., HOEPPFNER M. - 1974 : Dynamique des eaux, des sels et des sédiments en suspension dans les estuaires du MAHURY et de l'APPROUAGUE - ORSTOM.
- ROCHETTE C. 1964 : Remontée des eaux marines dans le Fleuve Sénégal - ORSTOM -
- RODIER J., AUVRAY C. - 1965 : Estimation des débits de crues décennales pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km<sup>2</sup> en AFRIQUE OCCIDENTALE - ORSTOM -
- J.A. RODIER - Proceedings of a symposium on flood hydrology held in NAIROBI in OCTOBER 1975 - Transport and road research laboratory CROWTHORNE, BERKSHIRE - 1977.
- VIEILLEFON - J. : Recherche sur la génèse et l'évolution des sols de mangroves et de tannes du Sénégal. ORSTOM - DAKAR - 1969.

ANONYMES :

- GERCA, 1963 - Aménagements hydro-agricoles en CASAMANCE et HAUTE GAMBIE - TOME 4 - Volume 2 -
- SOGREAH, Etude hydrologique de la rizière de KOUTINGOR - Rapport provisoire - Chapitre III.
- SOVINAC - ZIGUINCHOR 1978 - Plan directeur du développement rural pour la CASAMANCE, Climatologie - Hydrologie - Infrastructure -