

RÉPUBLIQUE UNIE
DU CAMEROUN

L'ALIMENTATION EN EAU DE DOUALA

HYDROLOGIE DU BIEF MARITIME
DE LA DIBAMBA
EN PERIODE D'ETIAGE

NOTE SUR LES ETIAGES DU MUNGO



J. C. OLIVRY

L'ALIMENTATION EN EAU DE DOUALA

HYDROLOGIE DU BIEF MARITIME
DE LA DIBAMBA
EN PERIODE D'ETIAGE

Note sur les étiages du Mungo

J.C. OLIVRY

AVANT - PROPOS

1ère partie : HYDROLOGIE DU BIEF MARITIME DE LA DIBAMBA
EN PERIODE D'ETIAGE

INTRODUCTION

I. ETUDE DES DEBITS NATURELS DE BASSES EAUX DE LA DIBAMBA

- 1) - Les mesures de débit sur la Dibamba à Bonepoupa
- 2) - Analyse des résultats. Le tarissement
- 3) - L'étiage 1974
- 4) - Représentativité de l'étiage 74 de la Dibamba

II. ETUDE DE L'INCIDENCE DES MAREES DANS LE BIEF MARITIME DE LA DIBAMBA

- 1) - Généralités
- 2) - Etude des variations de la marée
 - 2.1. Enregistrements et relevés : leur examen
 - 2.2. Comportement de l'onde de marée dans la Dibamba
- 3) - Mesures du flot et du jusant à Japoma
 - 3.1. Mesure des vitesses
 - 3.2. Mesure des débits
- 4) - Variations de la salinité à Japoma
 - 4.1. Résultats
 - 4.2. Analyse des résultats
 - 4.3. Interprétation du phénomène

III. CONCLUSIONS

2ème partie : LES ETIAGES DU MUNGO A MUNDAME

- 1) - Introduction
- 2) - Les étiages du Mungo à Mundame
- 3) - Le Mungo au pont de Tiko
- 4) - Conclusions

AVANT - PROPOS

La présente étude confiée à l'ORSTOM par la S.N.E.C. devait porter uniquement sur les basses-eaux de la Dibamba. Les résultats obtenus au cours de l'étiage 1974 ont montré aux responsables de la SNEC la nécessité de prévoir à plus ou moins long terme une solution de rechange pour l'alimentation en eau de Douala. La SNEC nous a donc demandé d'étendre nos mesures au Mungo, trop tardivement cependant, pour que la note, que nous présentons dans la 2ème partie, porte sur l'étiage absolu de 1974.

L'étude de la Dibamba à l'étiage impliquait l'étude des marées. Ce type d'étude sort du cadre classique des attributions du Service Hydrologique de l'ORSTOM au Cameroun. Le phénomène des marées extrêmement complexe, nous a donc retenu plus longtemps qu'il n'était prévu aux termes de la convention. Nous avons en effet, estimé nécessaire de souligner ici différents points susceptibles de guider le programme de mesures d'autres opérateurs dans des études comparables. En tout état de cause, ce type d'étude doit porter sur une durée plus longue avec des mesures moins discontinues (d'où un coût plus élevé) ;

L'utilisateur trouvera l'essentiel des démarches de l'hydrologue dans le 1er chapitre sur les débits naturels d'étiage, dans la mesure des débits du flot et du jusant, et l'interprétation des variations de la salinité. Les conclusions de la 1ère partie, rappellent le comportement de la Dibamba à Japoma et permettent à la SNEC d'envisager les limites de l'exploitation de ce fleuve dans l'alimentation en eau de Douala.

Les travaux de terrain ont été effectués par l'ensemble du service hydrologique, MM. BOREL et DUMAS agents techniques, MM. CASENAVE et OLIVRY, ingénieurs.

La présente note a été rédigée par M. OLIVRY.

1ère partie

HYDROLOGIE DU BIEF MARITIME
DE LA DIBAMBA EN PERIODE D'ETIAGE

I N T R O D U C T I O N

1) MOTIVATION DE L'ETUDE

L'augmentation des besoins en eau de la ville de Douala pose le problème de savoir si la Dibamba peut fournir la demande notamment durant la période de basses-eaux.

La Dibamba, comme le Wouri, le Mungo, la Sanaga, est soumise dans son bief aval à l'influence des marées. La salinité de l'eau a atteint jusqu'à 0,8 g/litre à l'étiage 1973 à marée haute. Un tel taux de concentration arrive à un niveau critique pour l'adduction en eau potable de Douala.

Par convention, la SNEC a demandé à l'ORSTOM de mesurer l'apport en eau douce de la DIBAMBA à l'étiage et d'étudier le comportement de la DIBAMBA au site de la station de pompage à JAPOMA en rapport avec les marées. La SNEC se chargeait d'effectuer les mesures de salinité. La durée des études porte sur les mois de janvier, février et mars.

2) DESCRIPTION SOMMAIRE DU BASSIN VERSANT DE LA DIBAMBA

Le bassin versant de la DIBAMBA est drainé par trois branches majeures orientées sensiblement N.S. à NNE-SSW qui sont, de l'ouest vers l'est : la haute DIBAMBA, l'EBO et l'EKEM.

Le cours de l'Eken prend une orientation E.W pour confluer avec l'Ebo. Le cours de l'Ebo garde cette orientation pour rejoindre la Dibamba, une dizaine de kilomètres en amont de Bonepoupa (pont route d'Edéa). Le cours aval de la Dibamba reste grosso-modo orienté E.W jusqu'à Japoma.

L'influence de la marée se fait sentir jusqu'aux premiers rapides situés cinq kilomètres en amont de Bonepoupa. Le haut bassin est entièrement recouvert par la forêt dense et le réseau hydrographique est fréquemment coupé de rapides et de chutes (chutes de Massoumbon). A Bonepoupa le bassin versant de la Dibamba a une superficie de 1 750 km² environ.

A Japoma, le bassin versant atteint 2 220 km². La partie aval du bassin de la Dibamba est couverte par une forêt très dégradée dans la partie exondée et une forêt de mangrove dans la zone inondée de l'estuaire. La flore spécifique de la mangrove se limite en amont de Japoma aux berges de la Dibamba soumises au renversement de courant des marées.

Japoma est à 35 km de la pointe Malimba qui marque le débouché de l'estuaire de la Dibamba (large de 3 km) et à 20 km environ du point où l'estuaire s'élargit considérablement. Bonepoupa est à 28 km en amont de Japoma.

3) EQUIPEMENT ET PROGRAMME DE MESURES

La mesure des débits naturels d'eau douce de la Dibamba ne pouvait se faire dans le bief influencé par la marée. L'installation d'un limnigraphe OTT XX (et d'échelles limnimétriques) à Bonepoupa devait permettre l'enregistrement des variations de hauteurs d'eau et de connaître le décalage horaire entre les marées mesurées à Bonepoupa et Japoma.

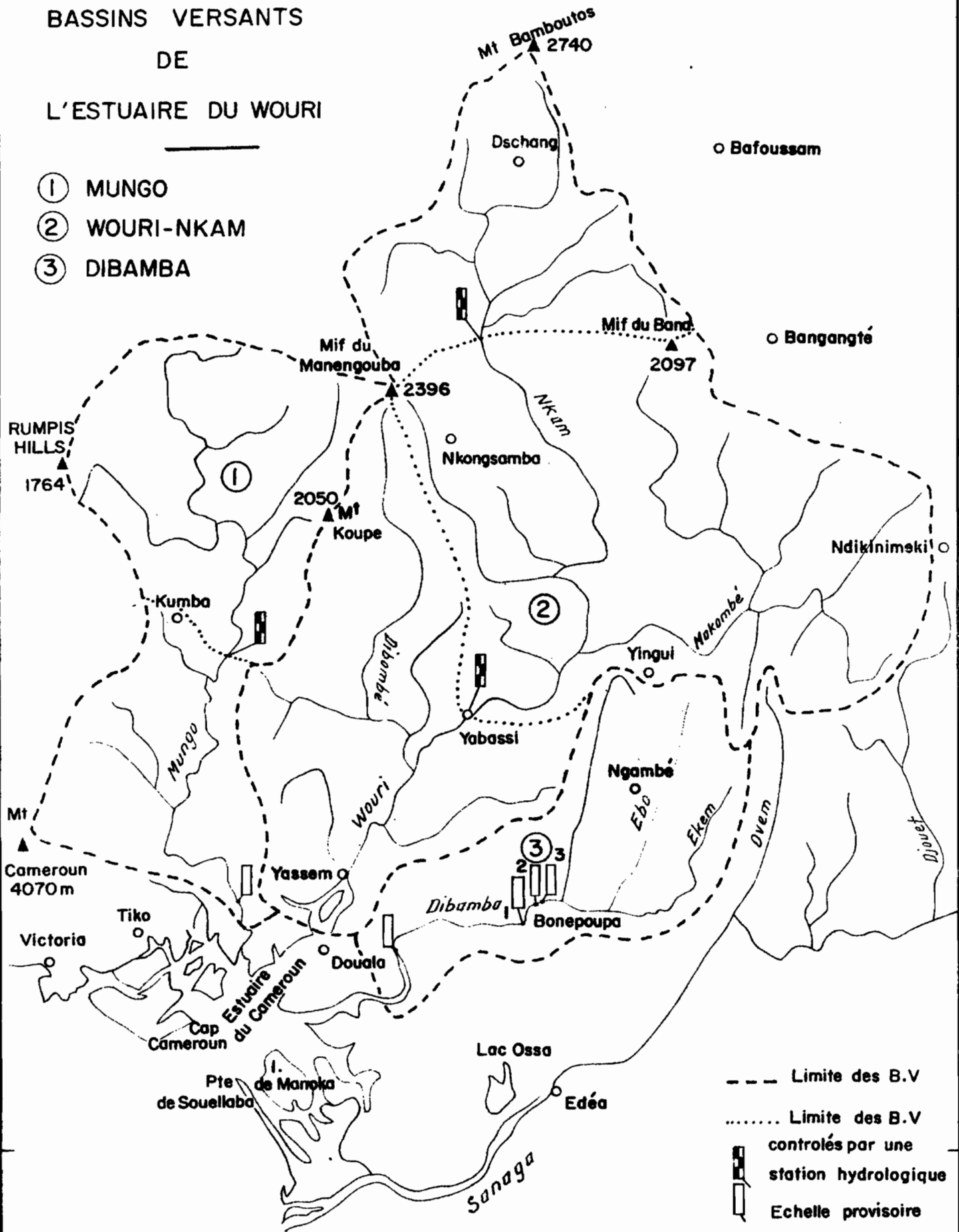
Des échelles limnimétriques ont été installées à la section de mesure au niveau des rapides à 5 km en amont de Bonepoupa. A Japoma un limnigraphe OTT XX a été posé sur l'escalade de la station de pompage ainsi que des éléments d'échelle de 0 à 3 m. Une autre station a été installée 1 km en amont afin de vérifier l'amplitude de la marée et le décalage horaire des marées entre les deux postes. Ce second limnigraphe soumis à de fortes humidités au sein d'une flore épaisse n'a pas donné toute satisfaction et les enregistrements sont discontinus



Le programme de mesures prévoyait environ 4 fois par mois une **mesure de débit** sur la Dibamba amont et des mesures de vitesses du flot et du jusant sur une section située légèrement en amont de la station de pompage à Japoma à marée montante et marée descendante.

Conjointement à ces mesures de vitesse, des mesures de salinité devaient être faites par la SNEC.

BASSINS VERSANTS DE L'ESTUAIRE DU WOURI

- ① MUNGO
- ② WOURI-NKAM
- ③ DIBAMBA



--- Limite des B.V.
 Limite des B.V. contrôlés par une station hydrologique
 Station hydrologique
 Echelle provisoire

Echelle : 1/1.000.000

I. ETUDE DES DEBITS NATURELS DE BASSES EAUX
DE LA DIBAMBA

1. LES MESURES DE DEBIT SUR LA DIBAMBA A BONEPOUPA.

1.1. Généralités :

Des mesures du débit naturel sur la Dibamba impliquaient une station où l'influence de la marée ne soit plus sensible. La première station (I) installée à Bonepoupa même, au pont de la route d'Edéa, subit encore une influence notable de la marée bien que l'on n'y observe pas de "flot". Nous verrons plus loin l'amplitude des variations de la marée à cette station.

Une seconde station (II) a été installée à 5 km en amont du pont de Bonepoupa sur une section de qualité médiocre juste à l'aval des premiers rapides rencontrés sur le fleuve. Nous avons été amenés à poser successivement 2 échelles, la 1ère s'étant trouvée hors d'eau à certaines marées. En effet la marée se fait encore sentir par de petites fluctuations. A cette station toutefois le ralentissement des vitesses à marée haute est compensé par une augmentation de la section mouillée.

Au bief maritime de la Dibamba succède en amont un lit coupé de rapides entre lesquels on observe des biefs très calmes où les vitesses sont trop faibles pour être mesurées. De ce fait, les sections de mesure sont rares. Ceci explique que l'ORSTOM n'ait jamais installé de station hydrométrique permanente sur ce fleuve, d'autant plus que le seul accès possible reste le fleuve et que les observations n'auraient pu être faites régulièrement par un lecteur.

Une troisième station (III) a été installée en amont des rapides de la station II à partir de février.

La superficie du bassin versant contrôlé est de 1 640 km² environ.

Autrement dit, les mesures de débit ne concernent que 74 % des 2 220 km² du bassin de la Dibamba à Japoma.

1.2. RESULTATS DES MESURES DE DEBIT

Date	Debit m ³ /s	Station	Hauteur échelle cm
9. 1. 74	11,5	II	150
16. 1. 74	8,69	II	119
20. 1. 74	10,1	II bis	120
26. 1. 74	7,36	II bis	114
29. 1. 74	7,92	II bis	126
5. 2. 74	6,18	III	45 ⁵
12. 2. 74	4,75	III	32
22. 2. 74	4,98	III	34
28. 2. 74	9,18	III	56 ⁵
13. 3. 74	9,62	III	56 ⁵

Les hauteurs de la station II ont été ramenées à celles de la station II bis; celles de la station III n'ont aucun rapport avec les hauteurs précédentes.

1.3. Critique des mesures

Les premières mesures effectuées aux stations II et II bis ne permettent pas d'établir une relation hauteur-débit; les hauteurs varient en fonction de la marée, sans toutefois que les débits en soient très affectés. La dispersion des points dépend surtout de la mauvaise qualité des sections mesurées.

Des mesures effectuées à la station III permettent d'établir une courbe de tarage (fig. 3 a) sur laquelle les points s'ordonnent sans dispersion notable.

2) - ANALYSE DES RESULTATS - LE TARISSEMENT

Les faibles précipitations reçues par le bassin de la Dibamba de janvier jusqu'à la mi-février permettent de penser que les débits observés sur cette période correspondent à des débits de vidange des nappes, c'est à dire du tarissement de celles-ci.

La décroissance des débits du tarissement au cours de la saison sèche suit une ou plusieurs lois exponentielles de la forme

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$$

dans laquelle Q_t est le débit à l'instant t , Q_0 le débit à l'instant 0, α le coefficient de tarissement fonction de la perméabilité et des caractéristiques des nappes et t le temps en jours écoulé depuis l'instant 0.

Nous avons reporté en graphique semilog les débits observés en fonction de la date d'observation (graph. 2). La loi de tarissement se traduit par une droite en graphique semilog.

Le report des points montre une première droite de tarissement jusqu'en février, puis une seconde droite de tarissement à pente plus forte dans la 1ère quinzaine de février. Ensuite les premières pluies perturbent l'étiage et nous n'avons plus de tarissement pur.

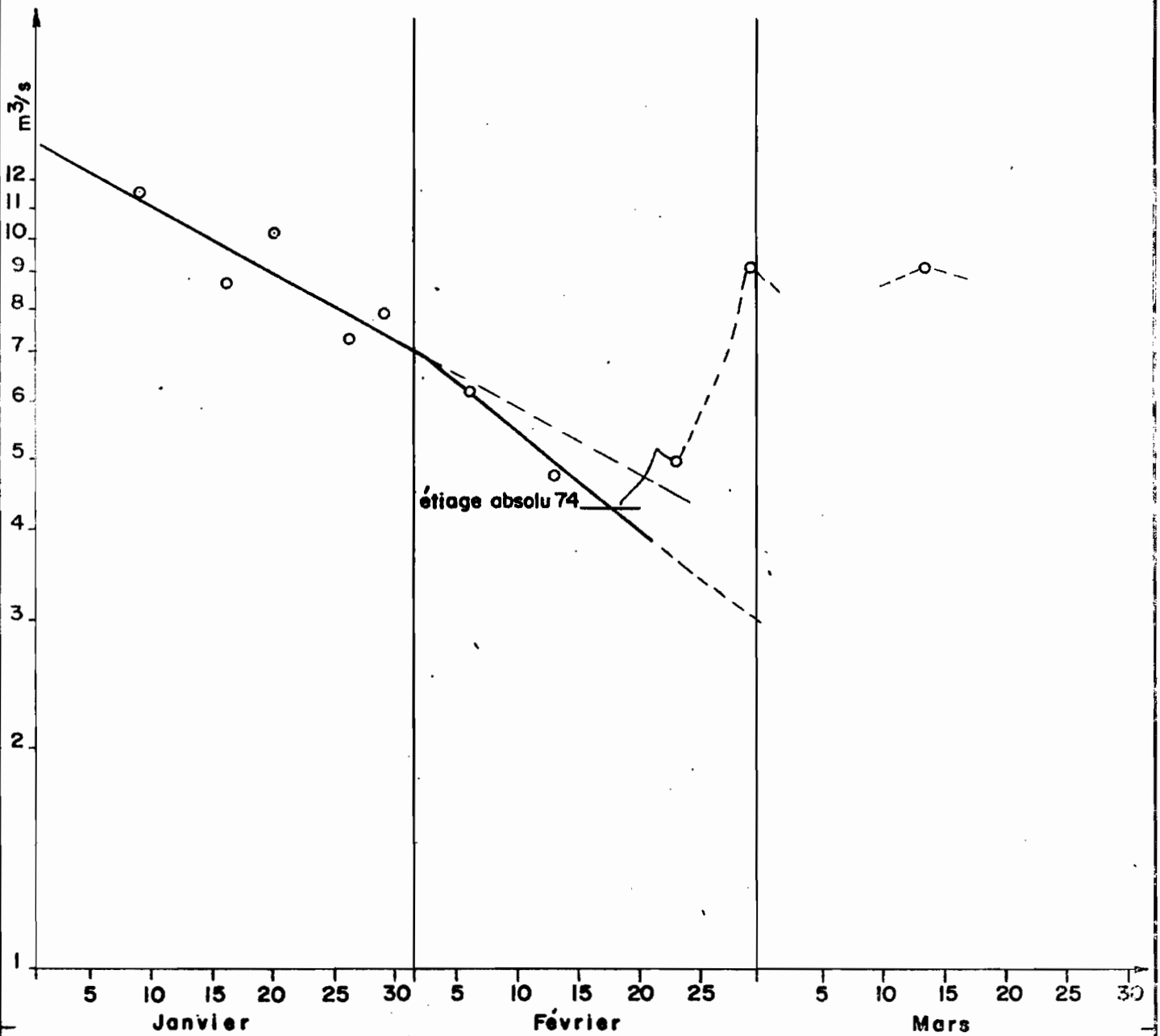
La dispersion des points de mesure pour janvier s'explique par la mauvaise qualité de la section de mesure. La droite choisie est une droite moyenne.

La courbe de tarage établie après le changement de section en février montre qu'il n'y a plus de dispersion des points de mesure. Cela nous conduit à admettre une deuxième droite de tarissement à pente plus forte.

Ces droites de tarissement sont caractérisées par leur coefficient α

$$1^{\text{ère}} \text{ droite de tarissement } \alpha_1 = 2,13 \cdot 10^{-2}$$

$$2^{\text{ème}} \text{ droite de tarissement } \alpha_2 = 3,1 \cdot 10^{-2}$$



LES DEBITS DE BASSES EAUX DE LA DIBAMBA
EN 1974

3) - L'ÉTIAGE 1974

3.1. L'étiage absolu à Bonepoupa amont

La dernière mesure du tarissement pur est obtenue le 12 février avec 4,75 m³/s. La prolongation de la droite de tarissement donnerait un débit de 4,5 m³/s, le 15 février et de 4 m³/s le 19 février. En fait l'étiage absolu doit être supérieur à 4 m³/s en 1974, de fortes pluies étant tombées avant le 19 février, et peut être estimé à 4,3 m³/s, soit 2,62 l/s km².

3.2. L'étiage absolu à Japoma

Nous avons souligné que la station de Bonepoupa amont ne contrôlait que 74 % du bassin versant de la Dibamba à Japoma.

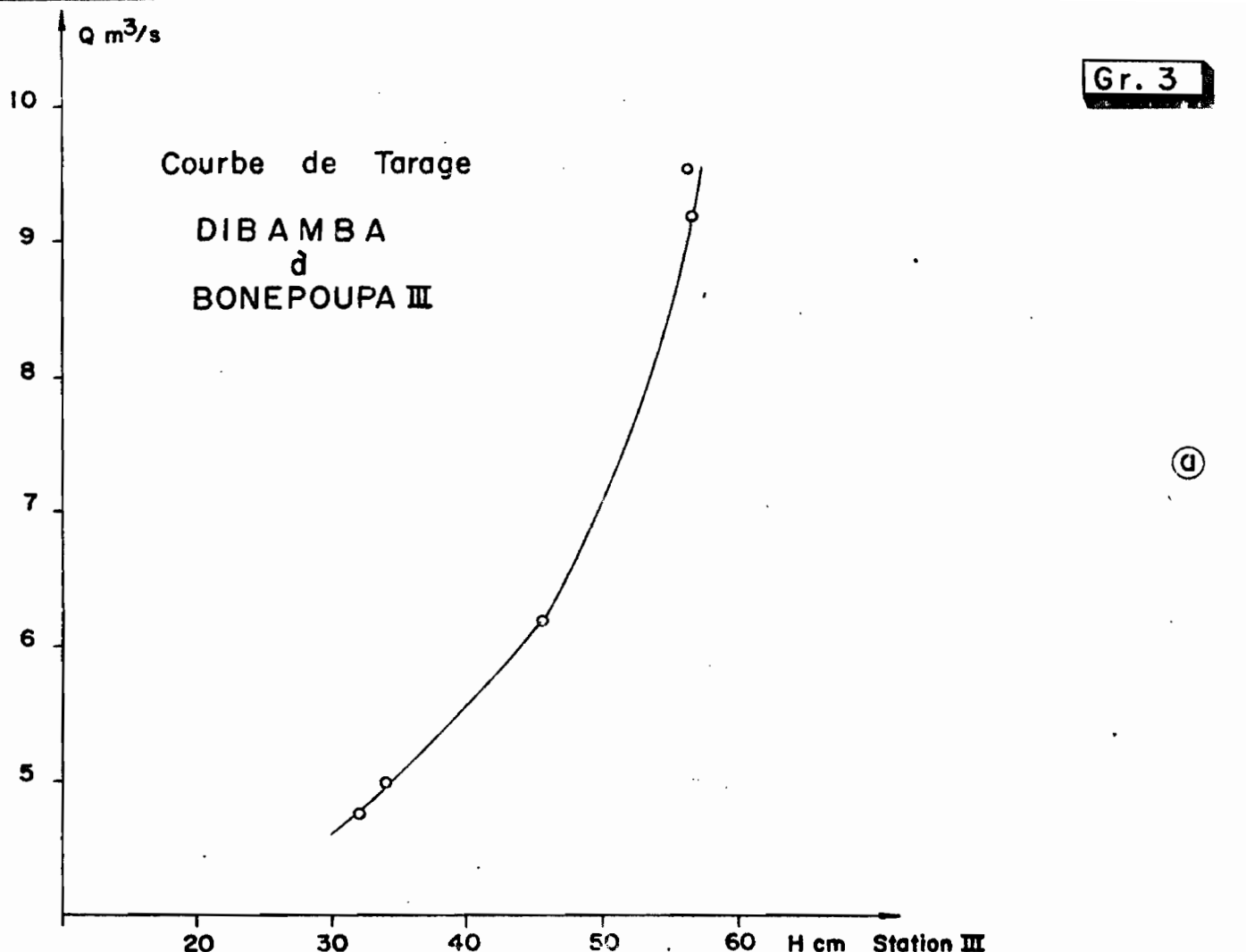
En considérant un même débit spécifique d'étiage (2,62 l/s km²) le débit d'étiage absolu à Japoma serait donc de 5,8 m³/s. Cette estimation se place dans l'hypothèse pessimiste d'un débit spécifique d'étiage inchangé ; or il y a tout lieu de penser que la partie aval du bassin, beaucoup plus arrosée, a un débit spécifique d'étiage plus fort.

4) - REPRESENTATIVITE DE L'ÉTIAGE 74 DE LA DIBAMBA

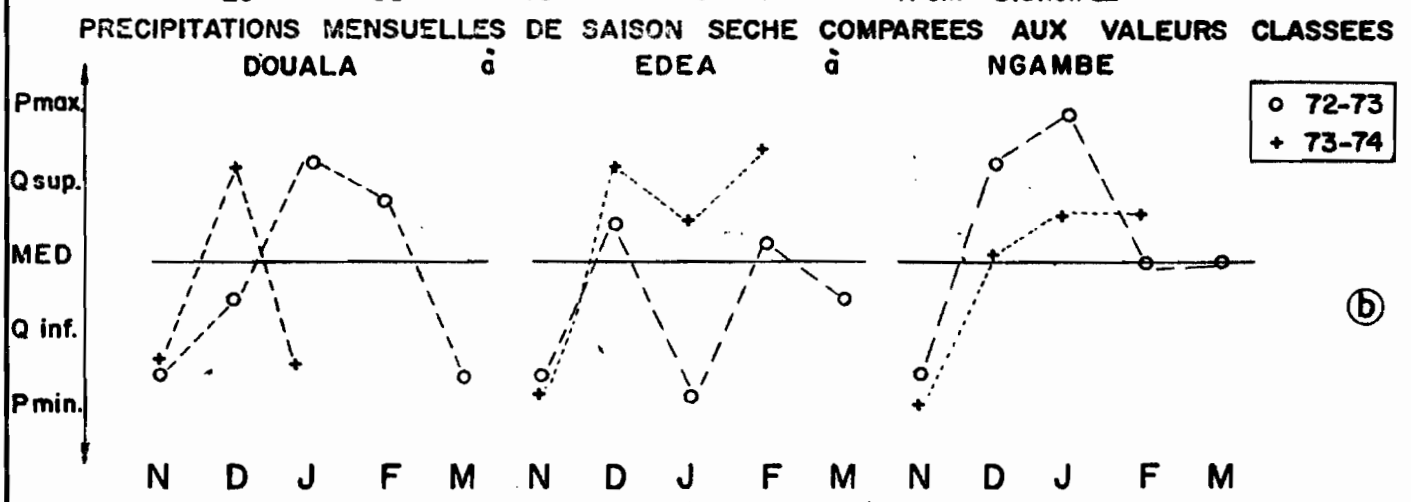
Faute d'un échantillon d'observations des étiages absolus de la Dibamba, il n'est pas possible d'indiquer directement la recurrence de l'étiage 74. L'analyse de certains points va cependant nous permettre de préciser son caractère exceptionnel ou non.

4.1. La pluviométrie

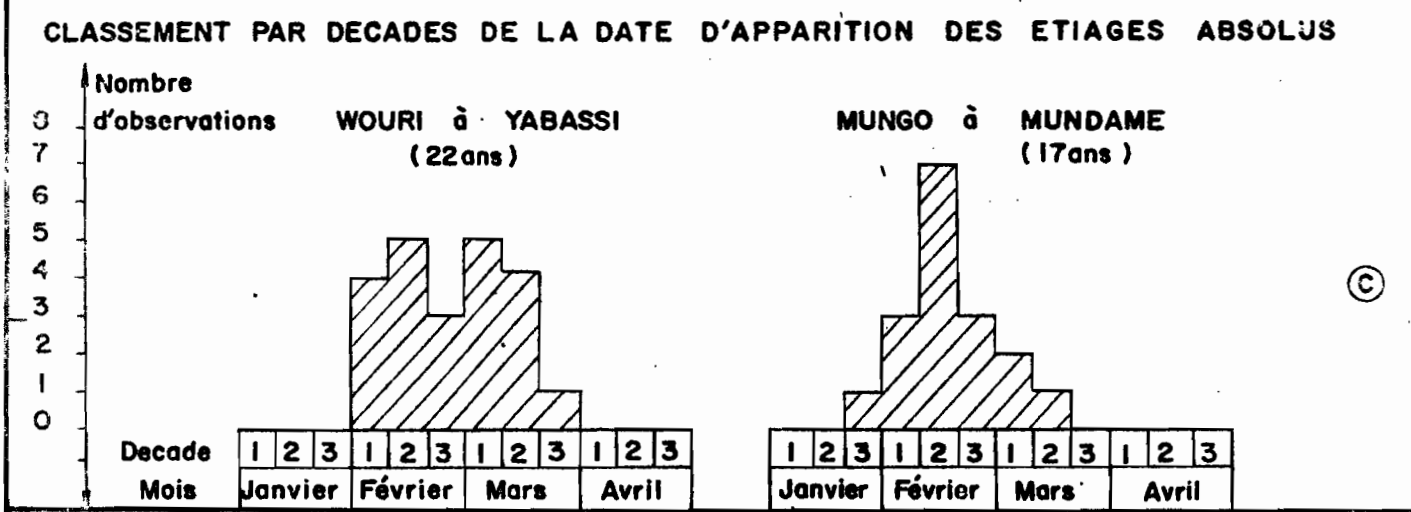
Les coefficients de tarissement représentent une constante physique du bassin considéré. A une date donnée un débit d'étiage sera d'autant plus fort que le débit initial de tarissement est élevé. Le débit initial dépend de l'importance de la mise en réserves de la nappe et par voie de conséquence, de la hauteur des précipitations de la saison des pluies précédente et de son caractère plus ou moins tardif.



(a)



(b)



(c)

Nous indiquons dans les tableaux ci-dessous la répartition statistique des pluies annuelles et les valeurs classées des précipitations mensuelles de novembre, décembre, janvier, février et mars pour les stations de DOUALA, EDEA et NGAMBE.

La carte d'isohyètes donne la répartition spatiale des précipitations moyennes annuelles sur les bassins versants de l'estuaire du Wouri.

REPARTITION STATISTIQUE DES PLUIES ANNUELLES en mm

(sans les années 72 et 73)

```

=====
!Nb. !      !      !Ecart!  Années humides !      !  Années sèches !
!an- !Pmax!Pmin!type !20ans!10ans!5ans !Moyenne!5ans!10ans!20ans!K3
!nées!-----!-----!-----!-----!-----!-----!-----!-----!-----!-----!-----!-----
DOUALA! 34 !5712!3287!485  !5126 !4951 !4738 ! 4330 !3922!3708 !3534 !1,33
EDEA  ! 40 !3490!2158!352  !3312 !3185 !3030 ! 2734 !2438!2283 !2156 !1,40
NGAMBE! 33 !3316!2597!205  !3364 !3290 !3200 ! 3027 !2855!2764 !2690 !1,19
=====

```

VALEURS CLASSES DES PLUVIOMETRIES MENSUELLES en mm

```

=====
                DOUALA                EDEA                NGAMBE
-----
      N   D   J   F   M           N   D   J   F   M           N   D   J   F   M
P max. 298 210 184 189 669       303 193 261 198 366       254 150 79 161 325
Q sup.  181  79  79 123 282       182  59  64  76 208       142  36 33  78 194
P med.  145  39  46  79 217       157  29  33  44 133       120  16 14  51 162
Q inf.  121  21  27  47 165       120  17  12  30 116       92  4  1  22 118
P min.   41   4   0   5  58        30   0   0   1  68        42  0  0   3  69
=====

```


La comparaison des observations pluviométriques de 1972 et 1973 aux valeurs moyennes est instructive.

	1972	Ecart		1973	Ecart	
		mm	%		mm	%
DOUALA	3393	- 937	- 23	3451	- 879	- 20,3
EDEA	2156	- 578	- 21	2294	- 440	- 16
NGAMBE	2585	- 442	- 14,5	2255	- 772	- 26,8

Ainsi, les années 72 et 73 ont respectivement des périodes de retour théoriques de 40 et 30 ans pour Douala, de 20 et 10 ans pour Edéa, de 80 et 10 000 ans pour Ngambe. Pour cette dernière station, la loi de Gauss n'est évidemment pas adaptée à l'échantillon de valeurs observées pour les fréquences rares. Quoiqu'il en soit, on s'aperçoit que le caractère exceptionnellement sec des deux dernières années a été très marqué sur la province du littoral.

Du point de vue répartition mensuelle, la comparaison des valeurs observées en 72-73 et 73-74 à celles du tableau ne met en évidence qu'un déficit général du mois de novembre pour ces dernières années. Pour les autres mois il y a pratiquement équilibre entre valeurs fortes et faibles (1).

	1972-73					1973-74				
	N	D	J	F	M	N	D	J	F	M
DOUALA	77,9	24,4	90,0	102,5	125,5	88,4	99,7	11,6	53,0	159,8
EDEA	87,6	45,9	1,0	62,8	120,2	58,5	70,5	47,2	80,1	
NGAMBE	77,1	62,7	82,6	49,4	169,5	69,3	31,2	26,6	60,2	

Il n'est donc pas possible d'attribuer aux mois de saison sèche un caractère particulièrement sec ou humide. Le fait majeur reste donc pour 1972 et 1973 un très fort déficit pluviométrique sur le bassin de la Dibamba.

(1) Le graphique 3 b montre la position de la pluviométrie mensuelle des 2 saisons sèches considérées par rapport aux valeurs moyennes (MED, Qsup, Qinf, Pmax, Pmin) calculées sur toute la période d'observation.

4.2. Les étiages sur le Mungo et le Wouri

a) Date d'apparition des étiages absolus.

Sur le Wouri, on note deux périodes d'apparition des étiages absolus, 1^o et 2^o décade de février ou 1^o et 2^o décade de mars. Le Wouri est constitué de 2 branches majeures le Nkam et la Makombé. L'étiage du Nkam peut être tardif avec le retard de la saison des pluies, alors que celui de la Makombé (dont la partie orientale du bassin jouxte celui de la Dibamba) a généralement lieu en février. La combinaison des basses eaux de ces deux rivières provoque l'apparition de l'étiage absolu en février ou en mars. Sur le Mungo, la fréquence d'apparition des étiages absolus la plus forte se situe au cours de la 2^o décade de février. Par analogie, nous estimerons que la probabilité la plus forte d'apparition de l'étiage absolu de la Dibamba se situe dans la 2^o décade de février.

L'étiage absolu du 16 février 1974 sur la Dibamba a donc une date d'apparition normale.

b) Etiages 73 et 74 par rapport à l'échantillon des observations

Sur le Wouri à Yabassi, les étiages de 1973 et 1974 correspondent à des étiages moyens. (5,9 l/s km²). Il n'est pas exclu pour cette station que l'ensablement du bief aval ait modifié le tarage ces 2 dernières années et que les débits d'étiages soient surestimés.

Sur le Mungo à Mundamé l'étiage absolu de 1973 est de 22 m³/s ; en 1974 il est de 18,5 m³/s soit le plus faible connu de toute la période d'observation (17 ans). En 1973 la période de retour est quinquennale ; en 1974 elle est vicennale (20 ans).

4.3. Conclusions

De l'analyse qui a précédé on a noté sur les années hydrologiques 72-73 et 73-74 :

- une pluviométrie très déficitaire sur l'ensemble de la région du littoral
- des saisons sèches de durée et précipitations normales
- des étiages absolus moyens ou exceptionnellement bas sur des bassins versants voisins, l'étiage 74 étant plus sévère que l'étiage 73.

On peut donc raisonnablement penser que l'étiage observé en 1974 sur la Dibamba correspond à un étiage de récurrence rare. Les fortes salinités observées en 1973 à Japoma n'impliquent pas forcément un étiage plus bas, mais plutôt une période de basses eaux plus longue.

Nous serions assez enclin à attribuer aux étiages 73 et 74 la fréquence décennale sèche.

Ce caractère exceptionnel de l'étiage 74 doit être abordé avec réserves mais il semble corroboré par l'ensemble des observations hydrologiques recueillies au Cameroun au Nord du 3° parallèle.

En admettant un coefficient d'irrégularité interannuelle relativement faible, tel qu'on l'observe sur le Mungo, le Nkam et le Nyong, de l'ordre de 1,5-1,6 (K3 est le rapport de l'étiage décennal humide sur l'étiage décennal sec), on peut estimer l'étiage absolu moyen à 7 m³/s à Japoma soit un débit spécifique de 3,2 l/s km².

II. ETUDE DE L'INCIDENCE DES MAREES DANS LE BIEF MARITIME DE LA DIBAMBA.

1. GENERALITES

Le phénomène des marées est dû à l'attraction exercée sur les molécules d'eau des océans par la lune et le soleil. Les composants de l'onde marée en un point d'une côte océanique ont donc des périodes bien définies par l'astronomie et des amplitudes dépendant de la latitude et des fonds marins. Les facteurs déterminant la période et l'amplitude des marées sont connus ou calculables d'où la possibilité de prévision des marées au port de Douala par exemple.

1.1. L'onde de marée

L'onde de marée qui se produit devant l'embouchure d'un fleuve donne naissance à une onde dérivée qui remonte le fleuve vers l'amont. Le phénomène est beaucoup plus complexe que celui de la marée proprement dite, le débit fluvial, la pente et la forme du lit intervenant.

En assimilant l'onde marée pénétrant dans le fleuve à une onde de translation, sa vitesse de propagation est, pour une section donnée $v = \sqrt{g(H + h)} - u$

avec g = intensité de la pesanteur

H = profondeur moyenne dans la section pour $h = 0$

h = hauteur de l'onde

u = vitesse moyenne dans la section du débit d'eau douce.

On voit d'après cette formule que la vitesse de propagation de l'onde marée est maximale à marée haute et minimale à marée basse (variation de h).

Ceci entraîne une déformation de l'onde. La marée montante a une durée plus courte que la marée descendante et cela est d'autant plus marqué que l'on va vers l'amont.

L'amplitude de la marée diminue en remontant vers l'amont du fait de la perte d'énergie de l'onde par frottement pendant sa translation.

2. ETUDE DES VARIATIONS DE LA MAREE

2.1. Enregistrements et relevés - leur examen

La propagation de l'onde de marée dans le bief maritime de la Dibanba a été suivie par trois linnigraphes, (utilisés comme marégraphes). Deux seulement ont marché de manière quasi-continue, le premier à la station de pompage de Japoma, le second à Bonepoupa. Le linnigraphe placé 1 km en amont de Japoma ne donne que quelques enregistrements discontinus pour lesquels le décalage de l'onde de marée par rapport à la station de pompage est trop faible pour pouvoir être estimé avec précision - (de l'ordre de 5 minutes). L'annuaire des marées indique les variations de la marée au port de Douala.

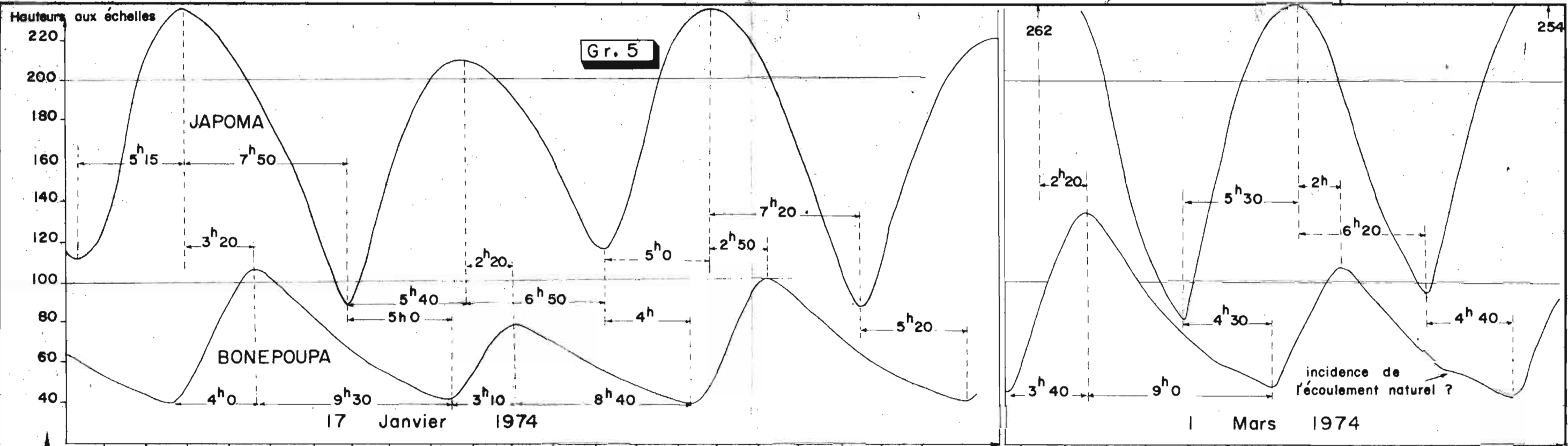
Nous donnons en annexe les variations de la marée observées à Japoma pendant la période d'étude.

Dans le graphique 5 on verra : - d'une part, copie des enregistrements effectués à Japoma et Bonepoupa pour les journées du 17 janvier et du 1er mars à titre d'exemple - d'autre part, les variations de la marée, au cours de la période étudiée, au port de Douala, à Japoma et Bonepoupa.

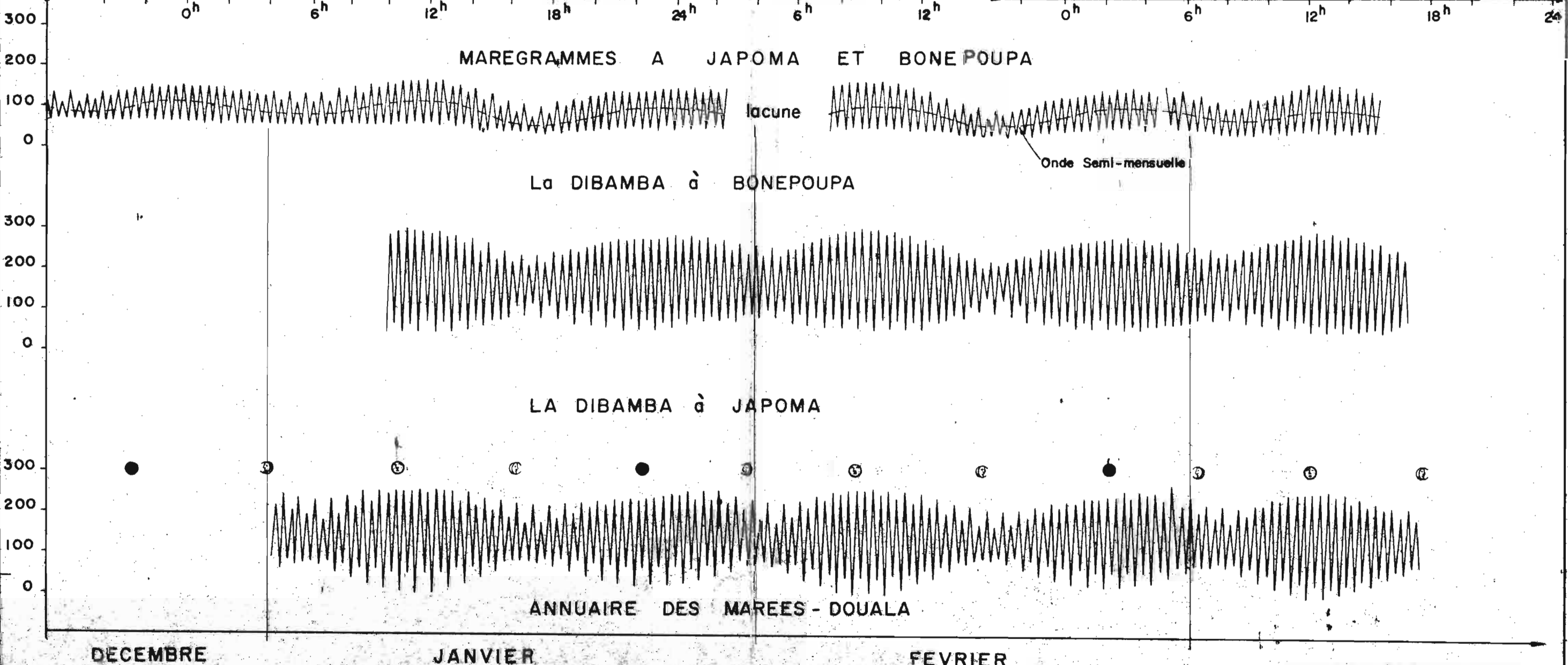
De l'examen des linnigrammes et des relevés se dégagent quelques remarques :

1°/ sur l'ensemble des marées observées pendant les mois de basses eaux on constate :

- a) que d'une manière générale, on observe au cours de la journée une marée de forte amplitude suivie d'une marée de plus faible amplitude. Cette succession se trouve périodiquement perturbée par des marées d'amplitudes égaux avec parfois inversion des marées faibles et fortes.
- b) que les amplitudes de la marée sont du même ordre de grandeur à Japoma et à Douala et peuvent dépasser 2 m 50. A Bonepoupa les amplitudes dépassent rarement 1 m 10.
- c) que les amplitudes et les différences d'amplitude entre marées consécutives dépendent non seulement de la phase de la lune mais aussi de la déclinaison de celles-ci.
- que les plus fortes amplitudes se situent au moment de la pleine lune.



MAREGRAMMES A JAPOMA ET BONEPOUPA



- que de fortes amplitudes légèrement inférieures aux précédentes sont enregistrées peu après la nouvelle lune.
 - que les plus faibles amplitudes se situent peu après le dernier quartier de la lune.
 - que de faibles amplitudes légèrement supérieures aux précédentes sont enregistrées peu après le premier quartier de la lune.
- d) - Que les marées hautes montrent peu de différences entre marées forte et faible consécutives au moment des nouvelles et pleines lunes. Cette différence augmente au premier et dernier quartier (où l'on observe les marées hautes les plus faibles).
- que les marées basses consécutives montrent une différence plus importante que les marées hautes. Cette différence augmente aux nouvelles et pleines lunes et diminue aux premiers et dernier quartiers (où l'on observe les marées basses les plus hautes).
 - que ces différences entre marées basses ou hautes consécutives sont plus fortes à Douala qu'à Japoma.
 - qu'à Bonépoupa, les marées hautes suivent les variations précédemment décrites mais que les marées basses sont les plus basses au moment des premiers et derniers quartiers de la lune, quand celles de Japoma et Douala sont au contraire les plus hautes.

2°/ L'étude des variations dans le temps montre :

- a) que la durée de la marée montante est plus courte que celle de la marée descendante. Ces durées sont du même ordre de grandeur pour le port de Douala et la station de Japoma et leur différence peut varier de 1 à 3 heures suivant l'amplitude de la marée. (Le port de Douala a une situation assez peu différente de celle de Japoma sauf pour ce qui est de la largeur de l'estuaire).

A Bonépoupa, par contre, la différence entre temps de montée et temps de descente est plus importante. Le temps de montée varie de 3 à 5 h, le temps de descente de 8 à 10 h.

b) Le décalage horaire des marées hautes ou des marées basses entre Japoma et Douala varie de moins d'une heure à un peu plus de deux heures suivant les marées. Entre Bonépoupa et Japoma il est plus important. En outre du fait de la dissymétrie plus forte à Bonépoupa de la forme sinusoïdale des marées, le retard n'est que de 2 à 3 heures entre marées hautes mais de 4 à 5 heures pour les marées basses. De plus ces retards varient beaucoup d'une marée à l'autre.

2.2. COMPORTEMENT DE L'ONDE DE MARÉE DANS LA DIBAMBA

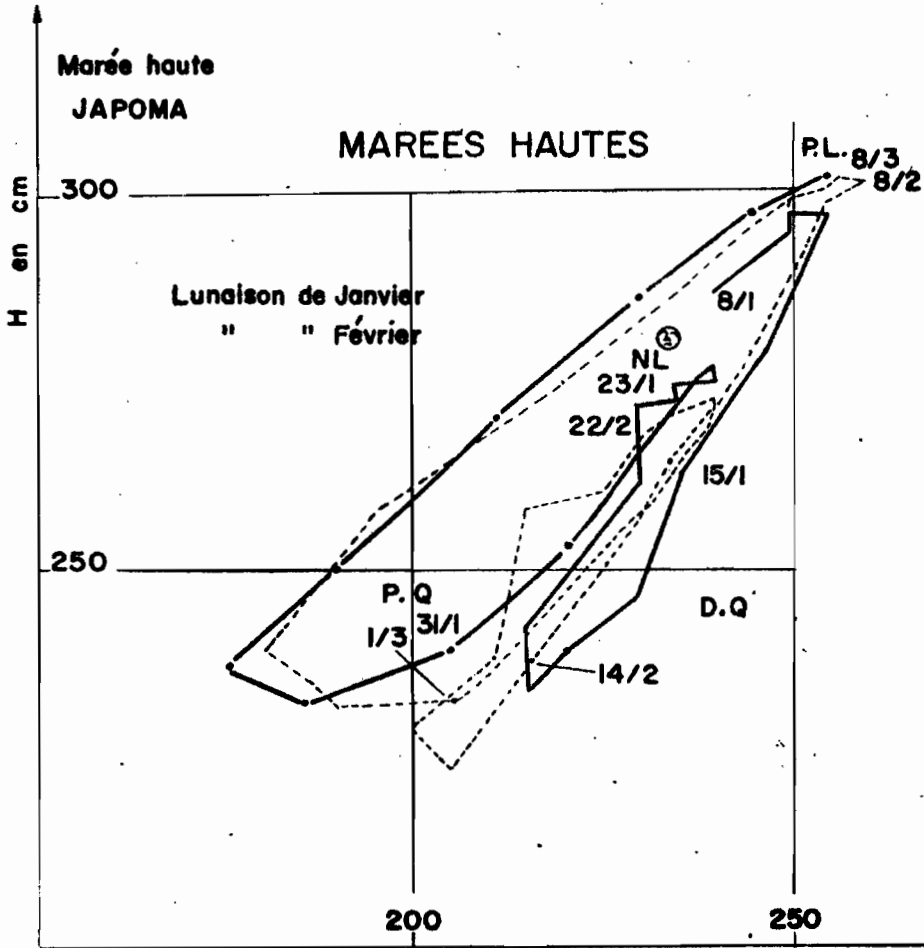
Des deux séries de remarques qui ont été faites, l'une concernant les variations de hauteur, l'autre les variations dans le temps, on peut essayer de définir le comportement de la marée dans le bief maritime de la Dibamba.

2.2.1. Variations de hauteur

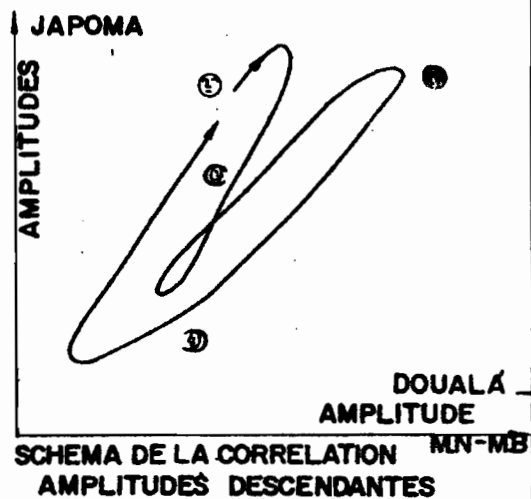
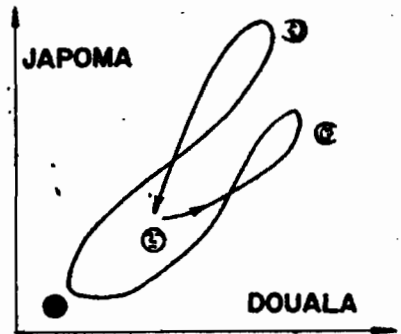
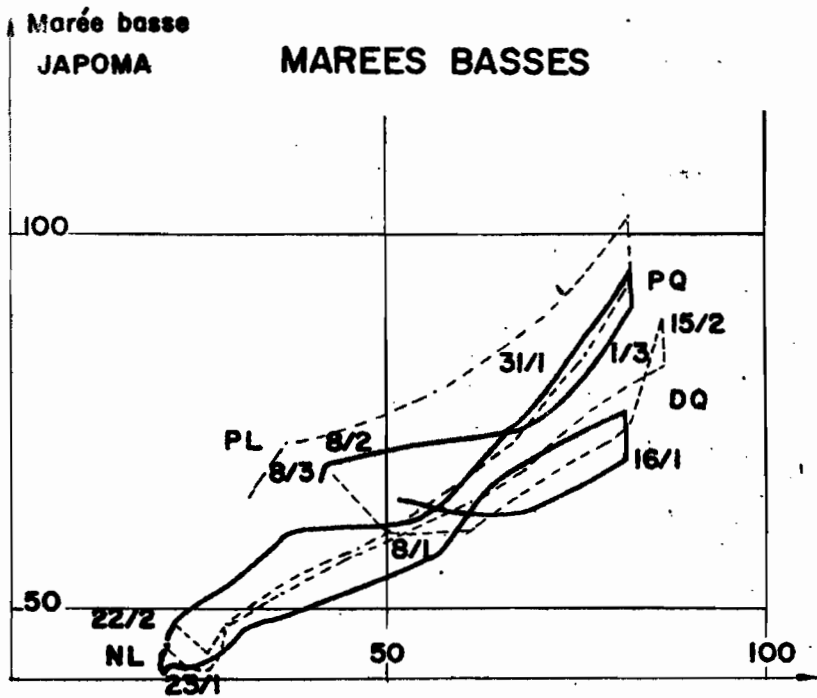
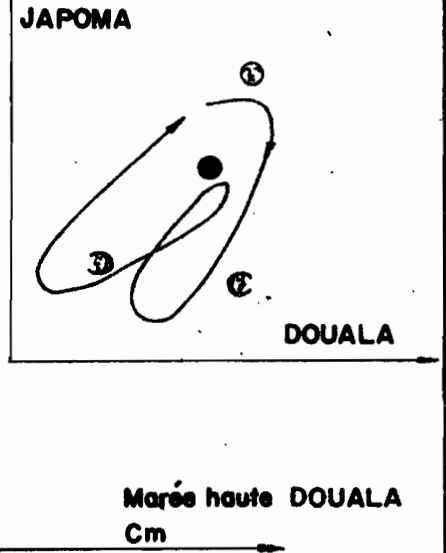
Dans l'examen qui a précédé, nous avons mis en évidence un certain nombre d'ondes de marée de périodes variables : mensuelle, semi-mensuelle, diurne et semi-diurne. La durée d'observation est trop courte pour pouvoir déterminer, par l'analyse harmonique des ondes composantes, dans un développement de FOURIER le coefficient de marée de la station de Japoma.

Pensant qu'il pourrait être intéressant de prévoir les marées à Japoma, dans le cas d'une exploitation de la Dibamba " à la carte " (prévision des heures de pompage pour avoir une salinité minimum), nous avons tenté d'établir des corrélations entre les prévisions de l'annuaire des marées de Douala et les observations effectuées à Japoma.

Le graphique 6 établi pour les marées hautes, puis pour les marées basses montre, pour 2 lunaisons, que ce type de corrélation est soumis à l'influence des différentes phases de la lune ; il en est de même pour les amplitudes dont nous n'avons reporté ici que le schéma. Il est donc vain d'espérer une précision notable dans la prévision des marées à Japoma dans l'état actuel de nos connaissances. On notera cependant l'importance du bief maritime dans la transformation des caractéristiques de l'onde de marée.



NB : Ces correlations portent sur une marée par jour; la marée basse suit la marée haute considérée



CORRELATIONS ENTRE MAREES HAUTES
PUIS MAREES BASSES POUR DOUALA ET
JAPOMA -

2.2.2. Variations dans le temps

Les remarques effectuées et l'examen des marégrammes confirment ce que nous évoquions dans les généralités concernant l'onde de marée.

La formule donnant la vitesse de propagation d'une onde de translation $v = \sqrt{g (H + h)}$ - u suffit pour expliquer la déformation de l'aspect quasi-sinusoidal de l'onde de marée semi-diurne, par des vitesses plus faibles à marée basse qu'à marée haute (h). Cette vitesse dépend des amplitudes des marées d'où l'irrégularité des marégrammes.

De plus nous avons signalé que l'amplitude d'une même marée diminue vers l'amont du fait de la perte d'énergie de l'onde par frottement pendant sa translation. La vitesse n'est donc pas uniforme, mais progressivement ralentie. Cette vitesse calculée dans la section de mesure de Japona avec u négligeable, va de 8 m/s aux plus hautes eaux, à 6,3 m/s aux plus basses eaux.

2.2.3. Onde semi-mensuelle et onde annuelle

Enfin nous devons souligner l'incidence des ondes semi-mensuelle et annuelle sur l'ensemble des observations précédemment décrites. Ces ondes rendent encore plus complexes les phénomènes étudiés. L'onde semi-mensuelle, due aux variations de déclinaison de la lune s'observe nettement à Bonepoupa (gr. 5).

Il est pratiquement certain qu'il existe également une onde annuelle, mais nos enregistrements sont de durée beaucoup trop courte pour qu'elle soit décelable.

Ces ondes se propagent vers l'amont avec un amortissement plus faible que la marée journalière - ceci explique que l'onde semi-mensuelle soit plus facilement décelable à Bonepoupa qu'à Douala.

L'existence de ces ondes et notamment de l'onde semi-mensuelle peut amener également une variation sensible, avec la déclinaison de la lune, de la forme des courbes présentées dans le graphique 6.

3. MESURES DU FLOT ET DU JUSANT A JAPOMA

Ces mesures ont été effectuées sur une section du fleuve située deux cents mètres en amont de l'estacade de la station de pompage à Japoma. La section a été équipée d'un cable fixe jusqu'à la fin janvier. Le cable ayant été emporté par le flottage de grumes organisé à cette époque, a été remplacé ensuite par chaque mesure. Ces mesures dont l'exploitation, nous le verrons plus loin est difficile, ont été arrêtées à la mi-février et remplacées par des mesures évoquées dans la 3ème partie.

3.1. Mesures des vitesses du courant

La section choisie a une largeur de 160 m à marée haute et de 140 m environ à marée basse. Cette variation de la section est due à l'exondation en rive gauche d'un banc de vase situé à faible profondeur. La figure 7 donne le profil de la section aux moyennes eaux et la superficie de la section mouillée en regard de la hauteur à l'échelle.

Les mesures de vitesse ont été effectuées sur différentes verticales de la section de mesure à différentes profondeurs, à l'aide d'un moulinet Arkansas C 31 (OTT) fixé au nez d'un saumon de 25 kg muni d'un contact de fond. L'ensemble de l'appareillage était descendu à l'aide d'un treuil NEVA indiquant les profondeurs.

A l'examen des paraboles de vitesse, on note le plus souvent les fortes vitesses dans la moitié supérieure des verticales, ceci n'est pas particulier à la Dibamba et est en général observé sur les cours d'eau naturels. La vitesse moyenne pour l'ensemble de la section n'apporte pas non plus, dans l'échantillon de mesures, d'information nouvelle, sinon qu'elle nous permettra de déterminer les débits du flot et du jusant (voir plus loin).

Le graphique montre des corrélations établies entre la vitesse de surface, de 2 verticales, 40 m et 100 m, et la vitesse moyenne dans la section. Les corrélations sont très bonnes pour les mesures de vitesses du jusant ; celles du flot ne sont pas assez nombreuses pour que l'on puisse leur attribuer une corrélation différente. La dispersion s'explique d'ailleurs par la durée de la mesure globale, pendant laquelle la marée a évolué, en regard de la durée d'une mesure ponctuelle.

L'existence de telles corrélations, indépendantes du cycle des marées, mériterait donc d'être précisée car elle permet à partir d'une mesure ponctuelle de la vitesse de connaître la vitesse moyenne dans la section de mesure, et, connaissant la section mouillée par simple lecture à l'échelle, de déterminer les débits correspondants.

Nous verrons dans le chapitre IV, l'évolution des vitesses au cours de la marée, conjointement à celle de la salinité.

RD

PROFIL DE LA SECTION DE MESURES A JAPOMA

RG

Plus hautes eaux observées

Gr. 7

40m

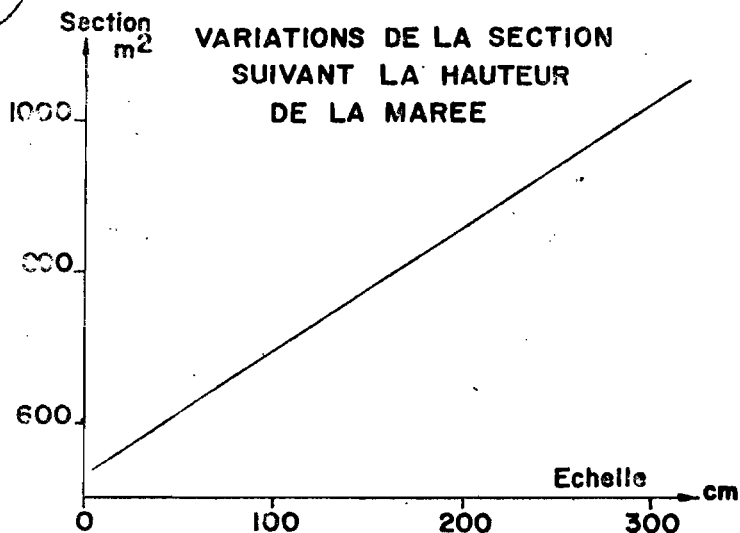
100m

moyennes eaux

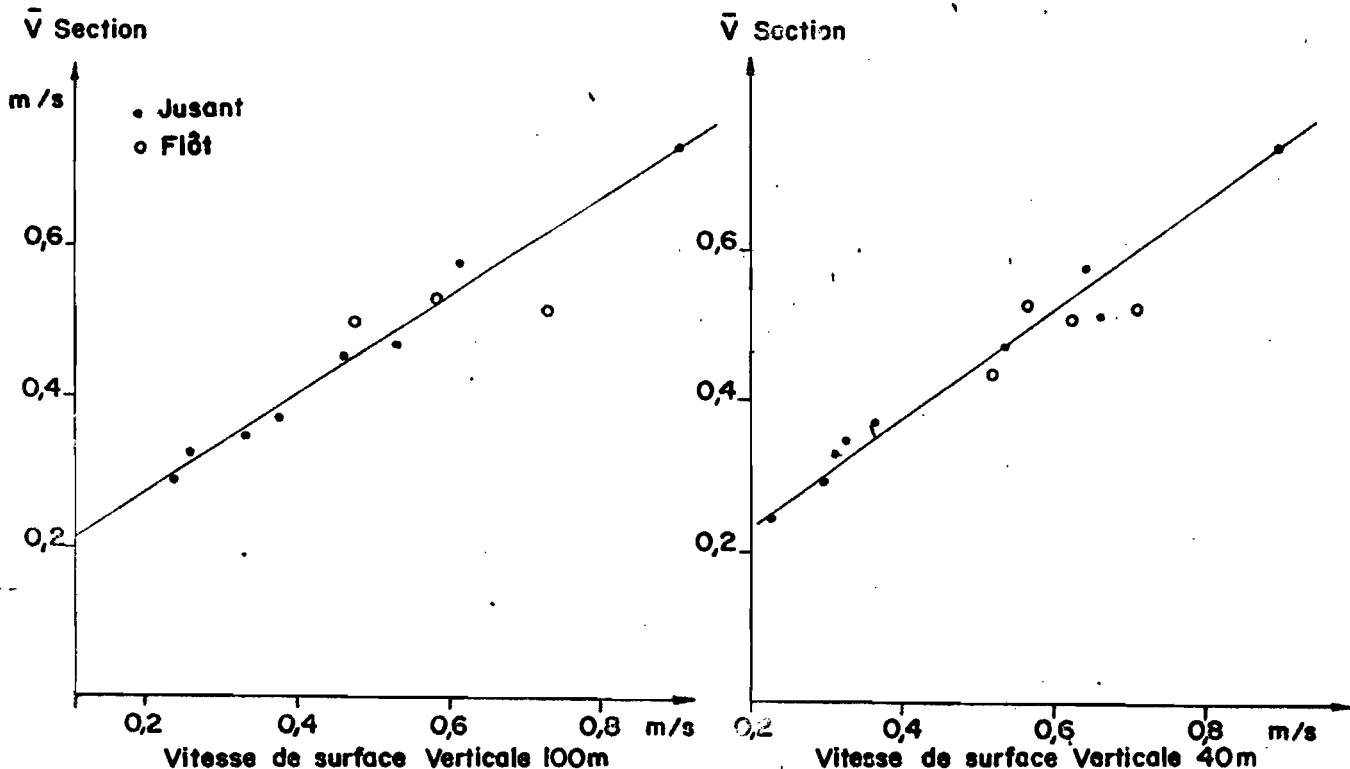
Plus basses eaux observées

10 m

1m



CORRELATIONS ENTRE LA VITESSE DE SURFACE D'UNE VERTICALE DONNEE ET LA VITESSE MOYENNE DANS LA SECTION



3.2. Mesures de débit

Elles découlent des précédentes. Précisons que la rapidité des variations de la marée exigeait pour chaque jaugeage une exécution rapide. Celle-ci a été obtenue en diminuant le nombre des verticales ; la précision obtenue dans nos mesures est meilleure (régularité de l'écoulement dans la section) que si nous avions multiplié les verticales, les variations de hauteur d'eau étant alors plus importantes (irrégularité des vitesses dans le temps). Le tableau ci-dessous réunit les mesures effectuées entre le 18 décembre et le 14 février.

MESURES EFFECTUEES A JAPOMA

Date	Heure		Hauteur		H moy	marée ! descendante! ! montante	Débit en m ³ /s	
	D	F	Début	Fin			Flot	Jusant
18.12.73	16h05	16h50	189	169	179	D	395	0,47
20.12	8h35	9h00	104	090	97	D	401	0,58
8. 1.74	8h35	9h30	240	210	225	D	657	0,73
8. 1.	14h10	14h30	050	050	050	D	150	0,245
8. 1.	15h20	15h45	132	160	146	M	395	0,515
16. 1.	16h30	17h10	151	129	140	D	348	0,455
17. 1.	10h00	10h35	150	177	163	M	397	0,50
19. 1.	10h20	11h10	79	115	97	M	108	0,155
19. 1.	12h20	13h20	140	181	160	M	417	0,530
30. 1.	13h45	14h25	180	154	167	D	294	0,375
30. 1.	14h30	15h15	151	130	140	D	266	0,350
30. 1.	16h05	16h50	107	086	97	D	228	0,330
30. 1.	17h00	17h40	085	077	81	D	194	0,290
14. 2.	7h40	8h15	128	158	143	M	332	0,440

Comme on pouvait s'y attendre, les mesures de débit du flot et du jusant n'apportent pas de résultats exploitables dans le problème étudié.

Cependant, elles permettent de mieux comprendre le phénomène complexe des marées dans un bief maritime.

Dans la figure 8 nous avons reporté en débits positifs les valeurs mesurées au jusant, en débits négatifs celles du flot en fonction des hauteurs de la marée descendante ou montante.

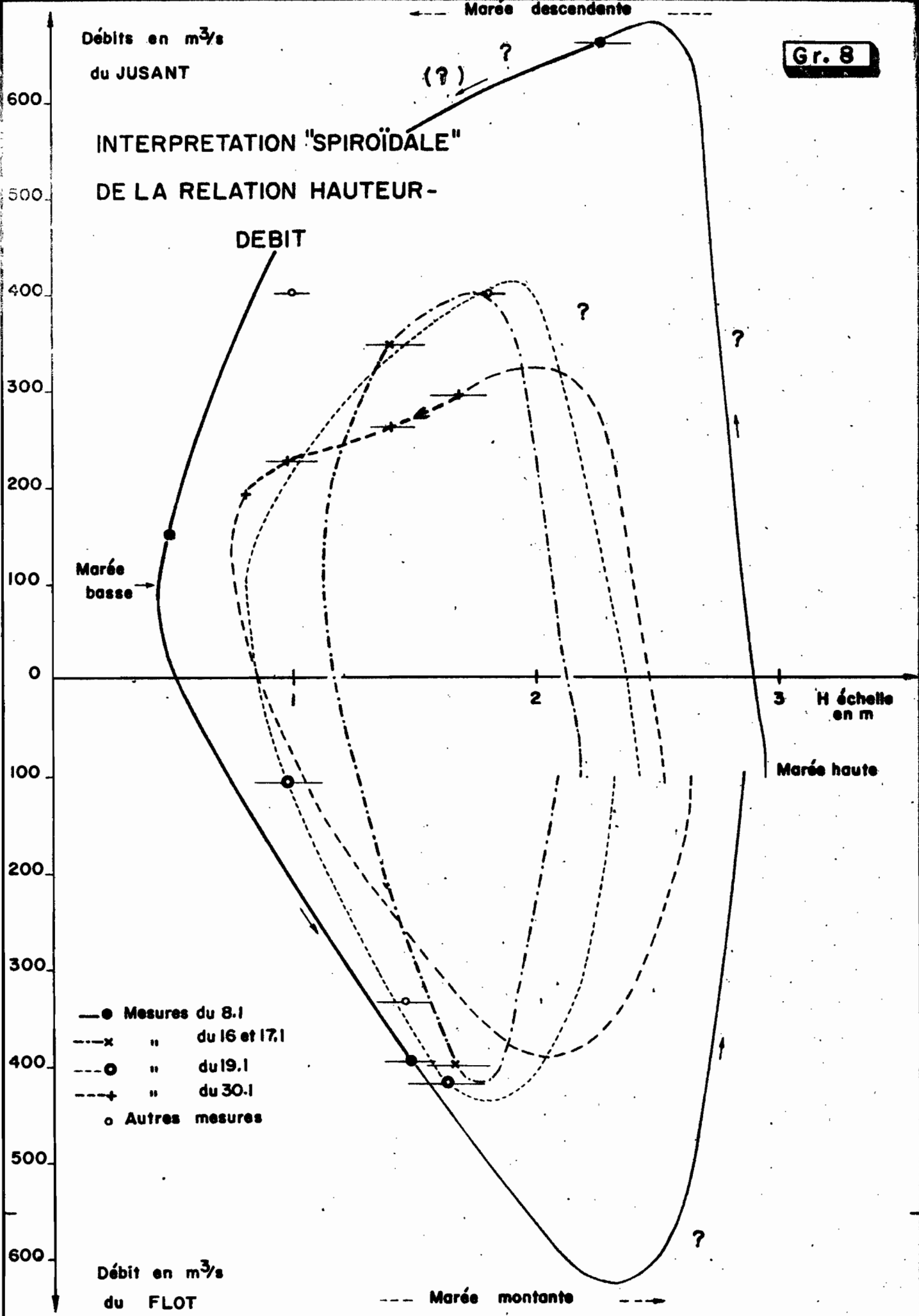
Que ce soit pour la marée descendante ou la marée montante, on passe par un maximum du débit de jusant ou du débit du flot et de l'un à l'autre par l'étale basse et haute où le débit est nul.

On notera à ce propos un décalage sensible entre l'étréme des marées ($Q = 0$) et leurs maximum et minimum. Le flot et le jusant se font encore sentir au début des marées respectivement descendante et montante pendant environ 10 minutes.

Ces variations de débit se traduisent par une courbe en boucle qui ne peut évidemment pas être univoque puisque les marées sont irrégulières, que marées basses et marées hautes se situent dans le temps à des cotes différentes, (faute de mesures continues, le tracé de la courbe est incertain d'où les points d'interrogation).

A chaque marée correspond une courbe de tarage qui se raccorde aux courbes des marées précédentes et suivantes constituant ainsi une courbe en spire irrégulière. (La représentation de la courbe de tarage est bien traduite par la forme d'un solénoïde à spires irrégulières dans lequel l'axe longitudinal représenterait l'axe des temps, un axe transversal l'axe des hauteurs à l'échelle et un axe transversal perpendiculaire au précédent, l'axe des débits de flot ou de jusant).

En période de crue si l'on observe toujours des variations de hauteurs d'eau de la marée, on n'observe plus par contre de flot ; seule une variation du courant de jusant doit être sensible.



Avec l'augmentation du débit naturel de la Dibamba, on a un décalage progressif de la spire hauteurs-débits vers les débits positifs (jusant) ; au coeur de la saison des pluies, les vitesses du courant et le débit étant de plus en plus forts, les amplitudes de la marées sont plus réduites et les variations de débit plus faibles pendant une même marée. A la limite les spires se réduisent aux points d'une courbe de tarage normale.

Nous nous sommes attardés à interpréter la relation hauteur-débit d'un bief maritime à partir des mesures effectuées pour montrer l'extrême complexité du phénomène.

Nous avons tenté vainement d'introduire des facteurs correctifs accessibles, susceptibles de régulariser la forme des spires. L'amplitude des marées, la hauteur de la marée haute, ou celle de la marée basse pour le flot, la hauteur moyenne de la marée et différents rapports entre ces paramètres n'amènent pas d'amélioration dans la relation.

Ceci ne veut pas dire qu'aucun de ces paramètres ne soit déterminant dans la relation hauteur-débit, mais il est probable que les marées antérieures gardent une incidence au niveau des volumes emmagasinés par le flot et restitués par le jusant. Le problème n'est donc pas insoluble mais il impliquerait des mesures continues du débit pour chaque marée pendant un à deux mois pour détermination d'un modèle mathématique en calcul automatique (1).

3.3. Conclusions

Il serait vain de chercher à déterminer à partir de ces mesures la part du débit naturel de la Dibamba par différence des volumes écoulés au jusant, et réintroduits au flot.

Même pour les marées qui ont été les mieux suivies, le tarage est interpolé sur la majeure partie de la spire. L'imprécision systématique dépasse de loin la part du débit naturel de la Dibamba. Ainsi par rapport au débit moyen du flot et du jusant mesuré le 8 janvier (environ $\pm 400 \text{ m}^3/\text{s}$) les $12 \text{ m}^3/\text{s}$ d'eau douce prévisibles à Japona ne représentent que 3 % du total.

- - - - -

(1) Les corrélations obtenues à partir d'une vitesse ponctuelle de surface, plus facile à mesurer de manière continue, faciliteraient l'obtention des débits.

4. MESURES DE LA SALINITE A JAPOMA

Ces mesures ont été effectuées par la SNEC, régulièrement au cours de la période de basses eaux. Les prélèvements étaient effectués en surface à partir de l'estacade de la station de pompage. Le dosage des chlorures montre que la salinité passe par un maximum et un minimum décalés par rapport aux maximum et minimum de la marée. Ceci est normal puisque nous avons observé que le renversement de courant (étale) survenait avec un léger retard sur les maximum ou minimum des hauteurs d'eau.

Nous avons fait quelques mesures complémentaires qui permettent de préciser l'évolution de la salinité au cours de la marée.

Ces mesures ont été faites sur une verticale située au milieu de la Dibamba entre les picux en bois centraux de l'ancien pont du chemin de fer.

Deux séries de mesures ont été faites, la première pendant la marée montante le 1er mars, la seconde pendant la marée descendante le 14 mars.

Le 4 avril une dizaine d'échantillons ont été prélevés régulièrement en surface entre Japoma et le bac de la route de la Dizangué (à marée descendante). L'ensemble des prélèvements a duré 40 minutes.

4. 1. Les résultats

a) Mesure du 1er mars

Marée montante

Hcn	Prof.	6 m	5 m	4 m	3 m	2 m	1 m	surface
180-190	Cl ng/l	27,0	27,3	28,0	28,4	30,4	32,5	32,5
	Prof.	6,20	5	4	3	2	1	surface
200-208	Cl ng/l	33,1	34,5	35,8	37,2	36,9	34,8	34,5
	Prof.	6,35	5	4	3	2	1	surface
218-225	Cl ng/l	43,7	47,5	48,3	48,8	48,3	46,3	42,6

Mesures à l'estacade :

H. 230-233	10 h	Prof. 7 m	Cl ng/l :	52,1
		Prof. 3,50 m	" :	52,5
		Prof. 0,50 m	" :	53,6

Marée haute 2,39 m

b) Mesure du 14 mars

Marée descendante

H. 232-238	Prof.	8,60	7	5,5	4,0	2,5	1	surface
	Cl ng/l	157,4	161,7	150,4	143,3	174,5	160,3	143,3
H. 238-232	Prof.	8,70	7	5,5	4,0	2,5	1	surface
		148,9	163,1	171,6	167,4	174,5	158,9	167,4
H. 228-220	Prof.	8,5	7	5,5	4	2,5	1	surface
		144,7	146,1	130,5	188,6	117,7	106,4	116,3
H. 210-194	Prof.	8,2	7	5,5	4	2,5	1	surface
		100,7	80,8	69,5	95	89,4	73,8	78,0
H. 155-145	Prof.	7,8	7	5,5	4	2,5	1	surface
		38,3	53,9	39,7	42,6	39,7	38,3	39,7
H. 128-122	Prof.	7,6	6	4,5	3	1,5		surface
		39,7	35,5	32,6	29,1	30,1	32,6	
H. 101- 95	Prof.	7,3	6	4,5	3	1,5		surface
		25,5	25,5	26,6	24,8	24,5	23,0	
H. 90- 88	Prof.	7,15	6	4,5	3	1,5		surface
		22,7	21,3	18,8	32,6	32,6	20,2	

c) Mesure du 4 avril

	JAPOMA							BAC DIZANGUE		
Km	0	2,2	3,4	4,8	7,7	9,7	12,0	13,5	14,8	16,9
Cl ng/l	10,43	16,03	21,7	22,55	30,35	52,5	319	964	1638	1943

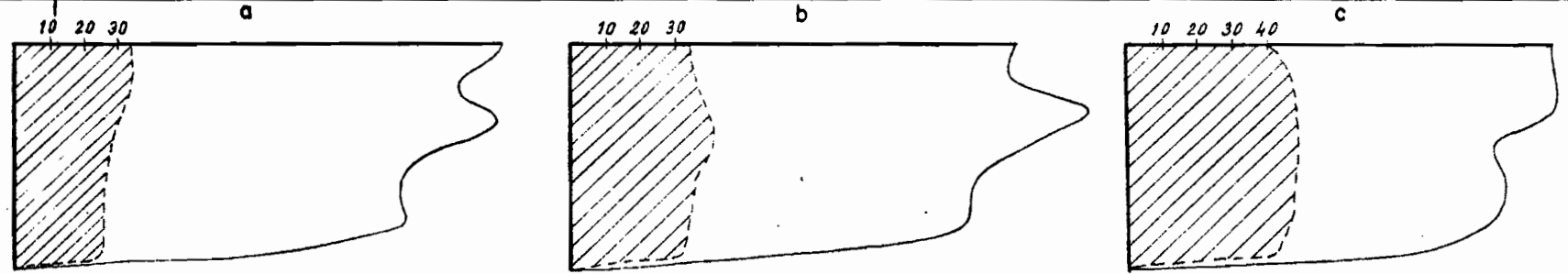
4.2. Analyse des résultats

Les prélèvements effectués par la SNEC s'échelonnent dans le temps et indiquent une évolution générale de la salinité au cours de la saison des basses eaux. Nos propres mesures précisent le sens des variations de la salinité suivant la marée et la profondeur du prélèvement ; la mesure simultanée des vitesses permet d'interpréter les variations de salinité.

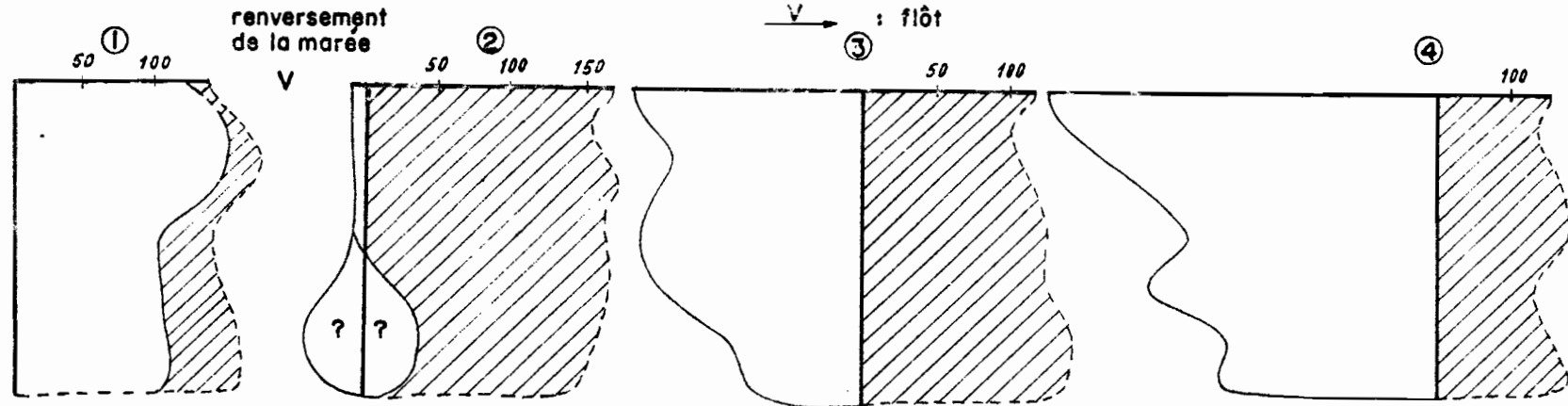
Dans le graphique 9 nous avons donné les paraboles de vitesse et les courbes de variations de la salinité. Les valeurs moyennes (après planimétrage des aires respectives) de la vitesse et de la salinité sur l'ensemble de la verticale ont été reportées dans le graphique 10 en regard des variations de hauteur de la marée.

L'examen des trois séries de mesures du 1er mars à marée montante montre une évolution rapide de la salinité. La salinité est d'abord plus forte en surface puis les concentrations maximales gagnent le milieu de la verticale et à la fin du flot, la teneur en chlorure tend à s'équilibrer sur toute la verticale.

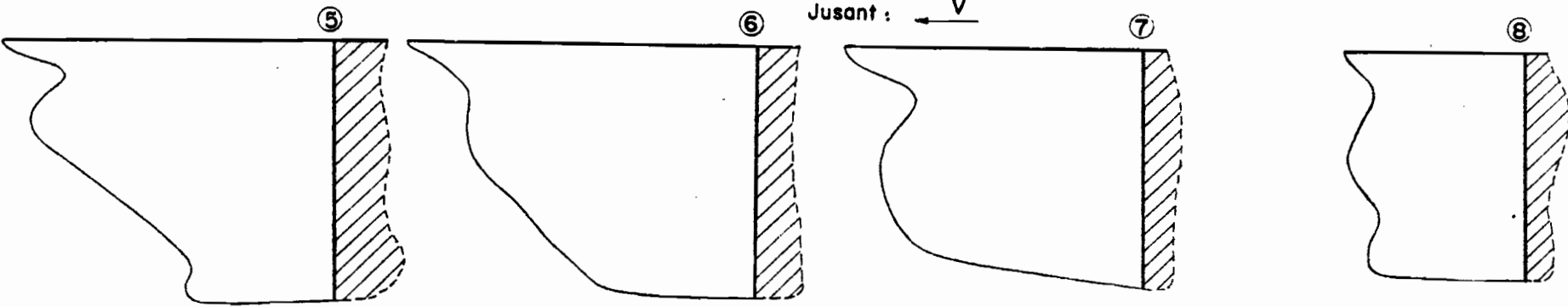
Pour les mesures du 14 mars, les concentrations sont beaucoup plus fortes que deux semaines auparavant ($\times 3$ environ), ce qui montre que malgré un débit d'eau douce plus élevé, la salinité continue d'augmenter (nous y reviendrons plus loin). L'évolution verticale de la salinité suit un processus inverse de celui observé à marée montante. Les concentrations sont du même ordre de grandeur au début de la marée descendante, puis diminuent plus rapidement dans les horizons superficiels de la tranche d'eau qu'en profondeur. En fin de marée basse, les concentrations tendent de nouveau à s'équilibrer. Les "bombements" ou "creux" observés dans les paraboles s'expliquent par des variations de la vitesse au même niveau de la verticale. A marée montante une forte vitesse entraîne une augmentation de la salinité ; à marée descendante une forte vitesse entraîne une diminution de la salinité. Il existe donc une relation étroite entre la vitesse et la concentration en sel.



v 0,1m/s
2m
cl 20mg/l
2m
1-3-74



v 0,1m/s
2m
cl 50mg/l
2m



DIBAMBA à JAPOMA

14-3-74

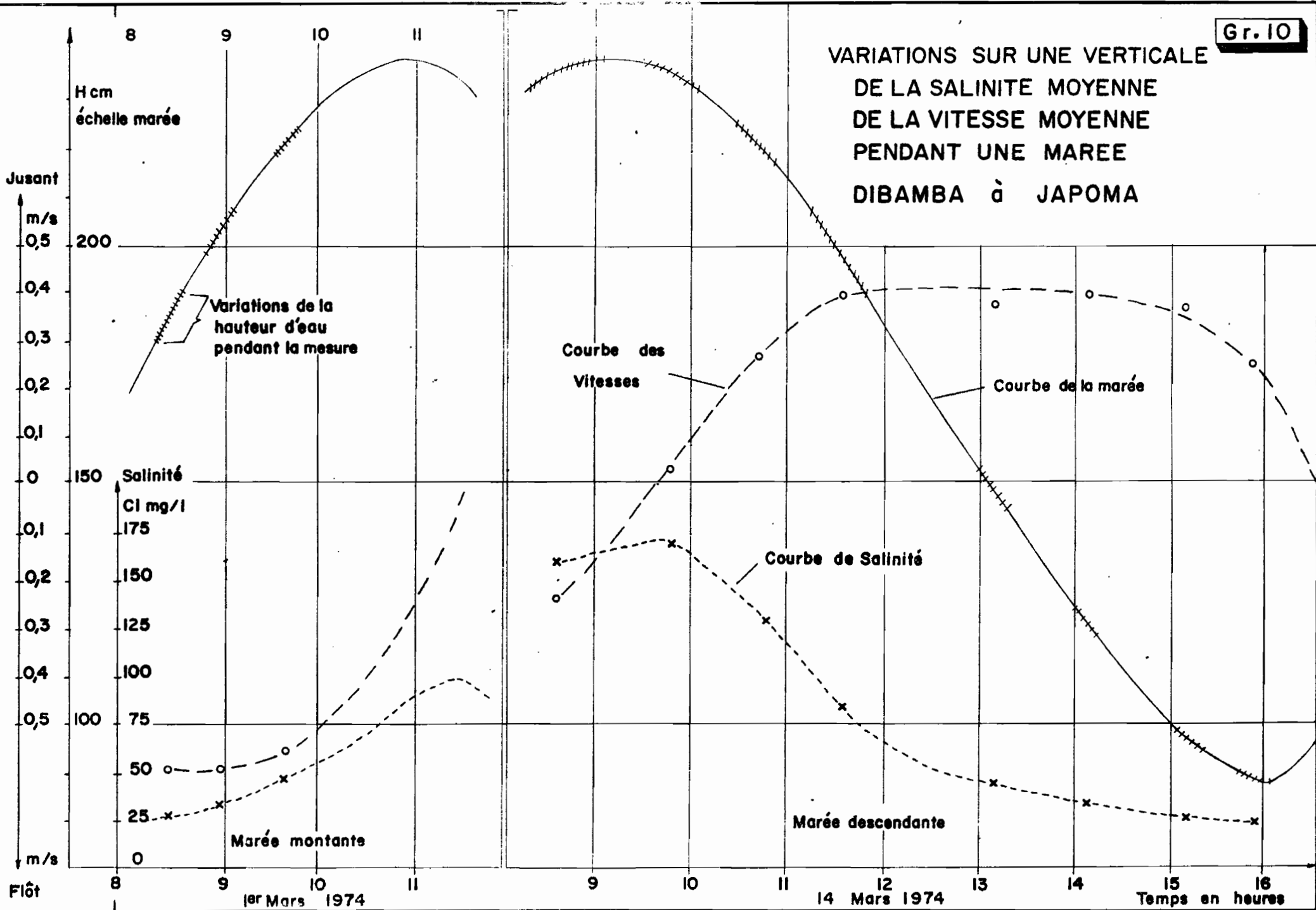
EVOLUTION DE LA SALINITE ET DE LA VITESSE DU COURANT AVEC LA MAREE

NB: L'échelle des salinités du 14.3 n'est pas la même que celle du 1/3

L'aire hachurée concerne les concentrations en chlorures

Gr. 9

VARIATIONS SUR UNE VERTICALE
DE LA SALINITE MOYENNE
DE LA VITESSE MOYENNE
PENDANT UNE MAREE
DIBAMBA à JAPOMA



Flôt

1er Mars 1974

14 Mars 1974

Temps en heures

Les mesures du 4 avril montrent que la salinité croît rapidement plus on se rapproche de la mer. En dépit de l'imprécision de ces mesures (distances, H marée, ...), il semble que la progression de la salinité ait une forme quasi exponentielle.

4.3. Interprétation

En l'absence de marée, la surface de contact de deux masses d'eau, dont l'une est chargée en sels, est déterminée par leur densité respective. L'eau de mer ayant une densité plus forte se trouve sous l'eau douce où elle s'enfonce en coin. Il n'y a de contact franc (visible sur les photos aériennes infra-rouge) que si l'apport d'eau douce est important (saison des pluies). Quand ces apports sont nuls ou négligeables, comme sur la Dibamba dès le mois de décembre, il y a charge progressive du milieu eau douce en sels pour deux raisons :

- les lois physico-chimiques entre milieux plus ou moins concentrés impliquent la "diffusion" de sels d'un milieu à l'autre avec des vitesses très lentes (d'autant plus lentes que les différences de concentration des milieux diminuent : diffusion ionique de l'ordre du cm/s)

- la mer tend à envahir le bief maritime du fleuve pour compenser le déficit des apports d'eau douce en saison sèche. La pénétration du milieu salin croît lorsque le débit diminue.

Si l'on représente dans un bief maritime les variations de la salinité par des courbes isosalines entre lesquelles la différence de concentration est constante, on peut s'attendre à ce que ces courbes soient d'autant moins espacées que l'on se rapproche de la mer.

Au cours de la saison sèche, il y a progression vers l'amont des courbes isosalines sans modifications de la position de ces courbes les unes par rapport aux autres (voir schéma a et b graphi. 11).

Ceci explique qu'en fin de saison sèche les variations de salinité au cours d'une même marée soient, en valeur absolue, plus élevée qu'au début des basses eaux. La marée entraînant courants de flot et de jusant vient perturber ce schéma.

Les vitesses sont inégalement réparties dans la hauteur de la tranche d'eau et entraînent une déformation des courbes de salinité. Les vitesses sont en général plus fortes dans la moitié supérieure de la tranche d'eau surtout au début de la marée, que ce soit au flot ou au jusant. Les vitesses du fond augmentent en fin de marée.

Les schémas c, d, (graph. 11) donne une interprétation de la déformation, en cours de translation, d'une courbe isosaline pendant la marée montante et la marée descendante.

En conclusion, la salinité de l'eau de Japoma dépend donc :

- 1°/ - de la progression du milieu salin dans le bief maritime de la Dibamba au cours de la saison sèche. Mesurée dans les mêmes conditions (de marée, de hauteur, d'amplitude...), la concentration augmente, probablement de façon exponentielle :
- dans le temps en avançant dans la saison sèche ;
- dans l'espace en allant vers la mer.

2°/ - de la marée, amenant la translation d'une masse d'eau importante en amont au flot, en aval au jusant. Cette translation (qui concerne 10 000 000 m³ environ) porte en moyenne sur une dizaine de kilomètres mais varie en fonction de l'amplitude de la marée. La variation de salinité, au cours d'une marée complète, suit donc le mouvement quasi-sinusoidal de celle-ci.

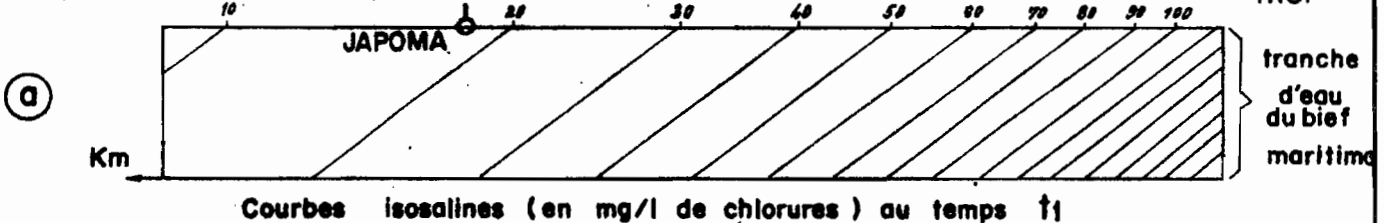
La variations de la salinité au cours de la saison sèche résulte de la composition d'une loi exponentielle et d'une loi sinusoidal complexe. Dans le graphique 11 (e), nous avons porté en coordonnées semi-logarithmiques la forme des variations de la concentration en sels, en fonction du temps. Faute de mesures systématiques permettant de quantifier ces variations, nous soulignons que ce graphique ne propose qu'une interprétation morphologique de ces variations.

**PROGRESSION DE LA SALINITE DANS UN BIEF MARITIME
EN SAISON SECHE EN ABSENCE DE MAREES**

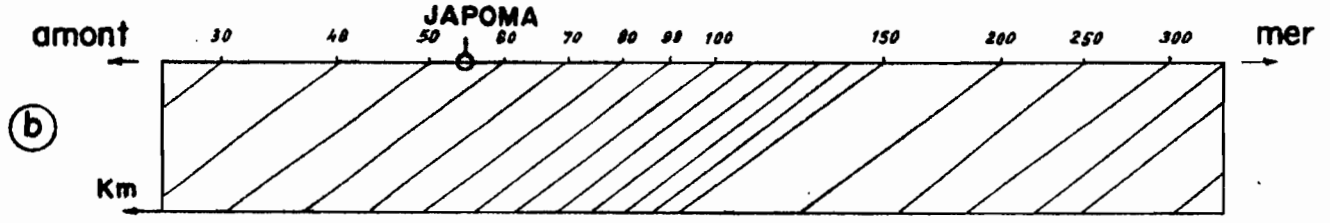
Gr. 11

amont ←

→ mer

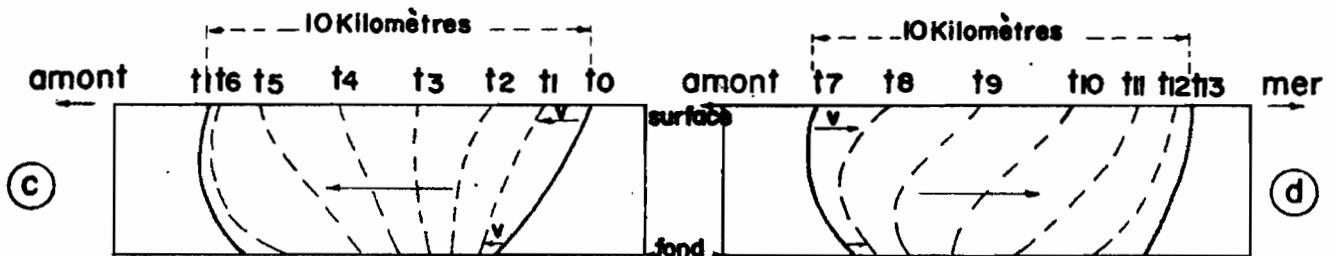


Courbes isosalines (en mg/l de chlorures) au temps t_1



Courbes isosalines (en mg/l de chlorures) au temps $t_2 = t_1 + x$

TRANSLATION D'UNE MEME COURBE ISOSALINE AVEC LA MAREE

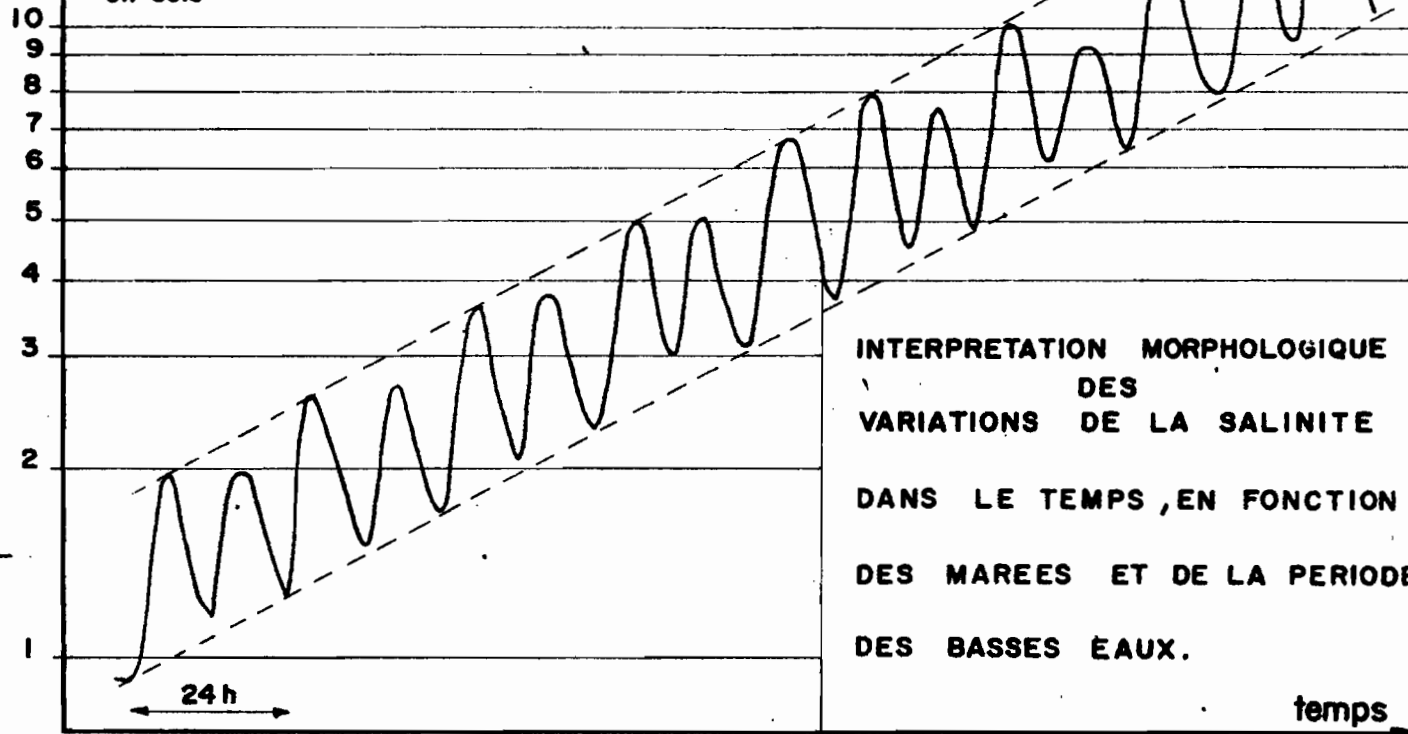


Marée montante
heure de marée basse = t_0
heure de marée haute = t_7

Marée descendante
heure de marées haute = t_7
heure de marée basse = t_{13}

DIBAMBA à JAPOMA

Concentration en sels



**INTERPRETATION MORPHOLOGIQUE
DES
VARIATIONS DE LA SALINITE
DANS LE TEMPS, EN FONCTION
DES MAREES ET DE LA PERIODE
DES BASSES EAUX.**

III. CONCLUSIONS

Nous rappellerons d'abord les quelques données fondamentales recueillies au cours de cette étude.

- 1°/ - Le débit d'étiage absolu en 1974 est estimé à 5,9 m³/s et pourrait être en moyenne de 7 m³/s à Japona ;
- 2°/ - Le débit moyen pendant le flot ou le jusant est, pour les grandes marées, d'environ 400 m³/s ;
- 3°/ - La salinité moyenne augmente au fur et à mesure que l'on avance dans la saison sèche ;
- 4°/ - Au cours du transfert en amont d'une masse d'eau importante pendant le flot, la salinité augmente à marée montante puis diminue avec la marée descendante.

L'exploitation de la Dibanba pour l'alimentation en eau de Douala dépend du taux de salinité de cette eau. Les normes relatives aux eaux de captage pour l'eau de boisson, suivant les réglementations ou recommandations internationales, européennes ou françaises, indiquent pour les chlorures une concentration maximale acceptable de 200 à 250 mg/l et une concentration maximale admissible de 600 mg/l. Ces valeurs ont été dépassées de manière exceptionnelle semble-t-il en 1973, mais n'étaient pas atteintes à la mi-mars 1974. Il est possible que le revêtement intérieur des canalisations soit sensible à des concentrations plus faibles.

La progression de la salinité dans le bief maritime de la Dibanba au cours de la saison sèche ne dépend pas du débit d'eau douce de l'étiage, qui varie relativement peu d'une année à l'autre, mais du caractère plus ou moins tardif des hautes eaux de la saison des pluies précédente, qui détermine dans le temps le début de cette progression.

En fin de saison sèche, lorsque les concentrations en sel sont fortes, l'augmentation des débits d'étiage n'améliore pas sensiblement la qualité de l'eau. On pourrait alors envisager un pompage "à la carte" entre la mi-marée descendante et la mi-marée montante, et la mise en réserves d'un volume de 100 000 m³ (soit 1 à 2 % du volume total qui passe à Japona à

chaque marée) distribué pendant les hautes eaux de la marée. Les durées de pompage devraient être modulées suivant les fortes et faibles marées...

Mais l'incertitude concernant la progression de la salinité dans la Dibanba à chaque période de basses eaux nous conduit à penser que l'alimentation en eau de Douala devra, en fonction des besoins croissants de la ville, faire appel d'ici quelques années, à d'autres ressources en eau que celles actuellement exploitées. L'amélioration des conditions de pompage en saison sèche à Japoma n'apparaît que comme une solution provisoire.

Bibliographie : BRUNET-MORET Y.- Etude des marées dans le fleuve Casanance.
Cahiers Hydrologie ORSTOM vol. VII, n° 4, 1970.

2ème partie

LES ETIAGES DU MUNGO

INTRODUCTION

Au cours de cette étude sur la Dibamba, il s'est avéré très vite que ce fleuve ne pourrait continuer longtemps encore à assurer l'approvisionnement en eau de Douala en période de basses eaux, du fait de l'accroissement de la consommation lié au développement de la ville. La SNEC prévoit d'ores et déjà les solutions de recharge et nous a demandé une estimation des étiages du Mungo. Ce fleuve au pont de la route de Douala-Tiko est en effet le plus proche de Douala, l'estuaire du Wouri largement ouvert aux marées ne pouvant être pris en considération malgré le débit d'étiage important.

La station hydrologique de l'ORSTOM sur le Mungo située près de Kumba à Mundane, est suivie depuis 1953. Notre étude portera donc sur les étiages de ce fleuve à cette station puis sur l'estimation des étiages sur l'ensemble du bassin versant contrôlé au pont de la route de Tiko.

LES ETIAGES DU MUNGO A MUNDAME

Nous disposons pour cette station qui contrôle un bassin de 2 500 km² de 21 années d'observations (1953-1973) dont 17 ont été utilisées pour les calculs des étiages (les relevés des années 1961 à 1964 sont incomplets ou douteux). Le tableau ci-dessous donne les valeurs des étiages absolus et des DC 10 (débit journalier égalé ou non dépassé pendant 10 jours de l'année) pour la période considérée.

Année	Etiage absolu			DC 10		
	H om	Q m ³ /s	Date	H om	Q m ³ /s	
1953	54	20,0	10/2	58	22,0	
1954	56	21,0	129 au 31/1	60	23,0	
1955	71	28,5	18-19/2	88	38,0	
1956	68	27,0	5-6/3	74	30,0	
1957	71	28,5	21-27/1	80	33,0	
1958	65	25,5	12-16-19/2	72	29,0	
1959	(53)	19,5	11/3	(73)	29,5	
1960	52	19,0	13-24/2	56	21,0	
1965	81	34,0	18 au 10/2	94	42,0	
1966	66	26,0	14 au 10/2	67	26,5	
1967	58	22,0	13/3	63	24,5	
1968	69	28,0	17/2	78	32,0	
1969	69	28,0	14-15/2	74	30,0	
1970	66	26,0	6/3	69	28,0	
1971	62	24,0	13/2	67	26,5	
1972	63	24,5	20-21-22/2	69	28,0	
1973	58	22,0	13/3	65	25,5	

Etude statistique des débits d'étiage (graphique 12)

Ces débits, étiage absolus et DC 10 se répartissent suivant une loi de Galton qui dérive de la loi de Gauss par un changement de variable réduite $u = a \log (Q - Q_0) + b$

. Etiages absolus

La moyenne calculée sur les 17 années est de 24,9 m³/s soit environ 10 l/s km², la variance est de 16,625 et l'écart type $\sigma = 4,1$ ce qui donne un coefficient de variation

$$Cv = \frac{\sigma}{\bar{Q}} \quad \text{de } 0,16$$

Le Q_0 de la loi de Galton estimé graphiquement est nul, les paramètres a et b sont respectivement égaux à 14,10 et -19,60. La loi de Galton est représentée par :

$$u = 14,10 \log Q - 19,60$$

Le calcul de l'intervalle de confiance à 95 % sur la moyenne estimée nous donne :

$$22,6 \leq \bar{Q} \leq 27,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{soit } 9,0 \leq \bar{Q} \leq 11,0 \text{ l/s km}^2$$

L'étiage absolu de récurrence 10 ans est de 19,9 m³/s soit 8,0 l/s km² avec pour bornes de l'intervalle de confiance à 90 % 18 et 22 m³/s soit respectivement 7,2 et 8,8 l/s km².

L'étiage absolu de récurrence 20 ans est de 18,8 m³/s soit 7,5 l/s km² avec pour bornes de l'intervalle de confiance à 90 % 16,8 m³/s (6,7 l/s km²) et 21,0 m³/s (8,4 l/s km²).

. DC 10

La moyenne calculée est de 28,7 m³/s soit 11,50 l/s km². La variance et l'écart type sont respectivement de 29,2 et 5,4 d'où un coefficient de variation $Cv = 0,287$.

Ces DC 10 s'ajustent à une loi de Galton de la forme $u = 12,40 \log Q - 17,99$ avec un Q_0 nul (estimation graphique)

Les résultats des calculs de l'intervalle de confiance à 95 % sur la moyenne, du DC 10 de récurrence 10 et 20 ans (avec intervalle de confiance à 90 %) sont les suivants :

$$26,4 \leq \bar{Q} \leq 31,3 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{soit} \quad 10,6 \leq \bar{Q} \leq 12,5 \text{ l/s km}^2$$

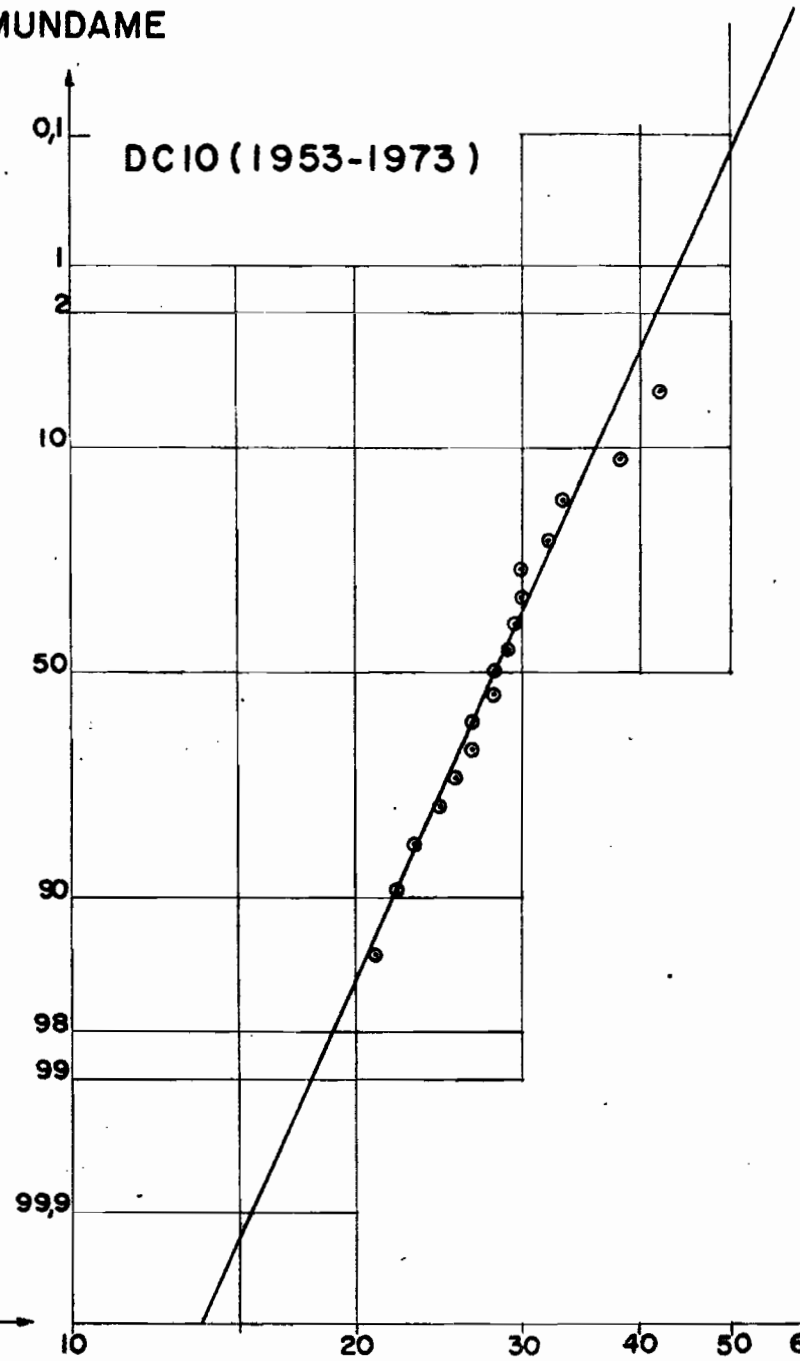
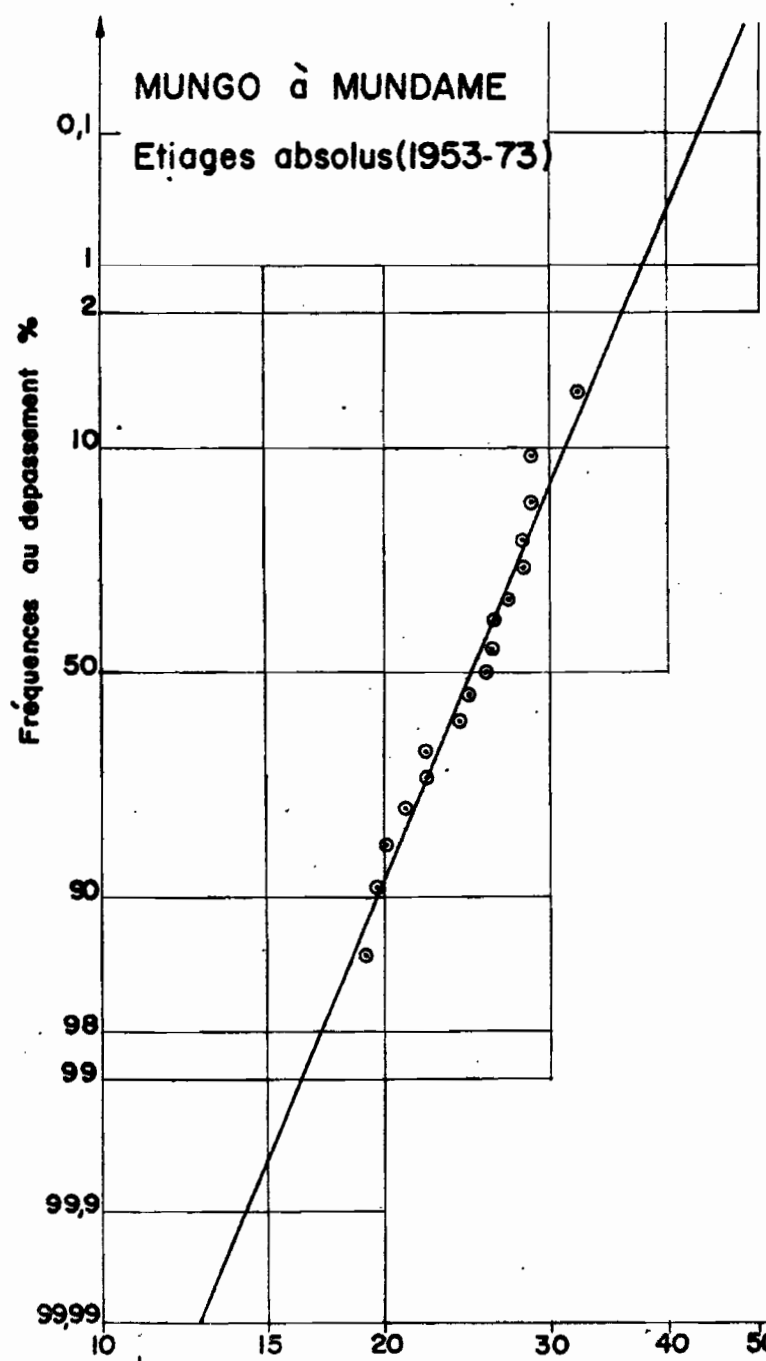
DC 10 de récurrence 20 ans 20,8 m³/s soit 8,3 l/s km².

avec $18,7 \leq \text{DC } 10 \leq 23,3 \text{ m}^3/\text{s} \quad 7,5 \leq \text{DC } 10 \leq 9,3 \text{ l/s km}^2$

DC 10 de récurrence 10 ans 22,3 m³/s soit 8,9 l/s km²

avec $20,2 \leq \text{DC } 10 \leq 24,6 \text{ m}^3/\text{s} \quad 8,1 \leq \text{DC } 10 \leq 9,8 \text{ l/s km}^2$.

DISTRIBUTION STATISTIQUE DES ETIAGES
MUNGO à MUNDAME



LE MUNGO AU PONT DE TIKO

1. Extension des données de Mundame.

Au pont de la route Douala-Tiko, le Mungo a un bassin versant d'environ 4 400 km², soit 1 900 km² de plus que le bassin versant contrôlé à la station de Mundame.

a) La carte donnant les isohyètes interannuelles des bassins tributaires du Wouri montre que la partie aval du bassin du Mungo est moins arrosée que la partie amont. Cela pourrait surprendre du fait de la proximité de l'océan ; mais cette anomalie est due à l'obstacle orographique du Mont Cameroun qui protège la région d'Ekona des manifestations paroxysmales de la mousson. Quand l'ensemble du bassin du Mungo (Tiko) reçoit 3 100 mm de précipitations moyennes annuelles, le bassin du Mungo à Mundame reçoit 3 500 mm et la partie aval du bassin du Mungo reçoit 2 800 mm.

b) La partie aval du bassin du Mungo draine la majeure partie des flancs Est et Nord du Mont Cameroun et est essentiellement constituée de basaltes anciens et récents où l'infiltration des précipitations est rapide et les réservoirs aquifères importants.

Le bassin du Mungo à Mundame comprend, en dehors des recouvrements volcaniques, une partie non négligeable de formations du socle (granites, ectinites, gneiss, quartzites) pour lesquelles le ruissellement est plus important et la mise en réserves moins considérable.

Nous savons que les débits d'étiage dépendent de l'importance des réserves restituées au tarissement, donc du matériau aquifère et de la pluviométrie. Compte tenu des remarques qui ont été faites on peut admettre que la moindre pluviométrie de la partie aval du bassin du Mungo est compensée par la capacité plus grande des réservoirs.

L'étiage absolu du Mungo à Mundame est de 10 l/s km² en année moyenne. Les observations hydrologiques effectuées sur les torrents du Mont Cameroun donnent des étiages absolus très soutenus (de 30 à 60 l/s km²) sur la façade maritime. Nos mesures sur le

Ndongo à Tiko en 1974, donnent un étiage absolu de 10 l/s km² (versant Est du Mont Cameroun), étiage probablement déficitaire en regard des précipitations reçues en 1973.

Compte tenu de ces observations il paraît raisonnable, dans l'état actuel de nos connaissances, d'aligner les débits spécifiques d'étiage du Mungo à Tiko sur ceux bien connus du Mungo à Mundame.

Ainsi l'étiage absolu du Mungo à Tiko serait pour			
une année moyenne	de	44	m ³ /s
en année décennale sèche	de	35	m ³ /s
en année vicennale sèche	de	33	m ³ /s

Le débit caractéristique non dépassé pendant 10 jours serait en			
année normale	de	50	m ³ /s
année décennale sèche	de	39	m ³ /s
année vicennale sèche	de	36,5	m ³ /s

2. Observations effectuées sur le Mungo à Tiko

L'intérêt tardif porté à cette station ne nous a pas permis d'effectuer de mesures aux plus basses eaux en 1974.

a) Hauteurs d'eau

Des échelles limnimétriques (2 éléments de 1 m à 3 m) ont été installées le 15 mars en rive gauche à 5 mètres en amont du pont sur le Mungo. Des lectures d'échelle doivent y préciser l'amplitude de la marée. Par ailleurs, la SNEC y a installé un linnigraphe à pression.

L'amplitude de la marée est moins importante que celle observée sur la Dibamba. Ceci s'explique par le fait que le bief maritime du Mungo n'est pas largement ouvert comme les estuaires de la Dibamba ou du Wouri. Le Mungo se jette dans l'estuaire du Wouri par un delta. L'onde de marée est freinée dans le lit étroit du fleuve et les amplitudes sont moins fortes.

b) Mesures de débit

Un jaugeage effectué le 15 mars donne un débit de 114 m³/s. Sur le Mungo à Mundame le débit correspondant était de 90 m³/s. Effectué au cours d'un épisode de crue, ce jaugeage n'apporte pas d'information intéressante.

c) Mesures de salinité

Trois prélèvements ont été effectués en surface le 1er mars 1974 en rive gauche.

	1	2	3
Conductivité à 20° C	158	165	158
Salinité chlorures en mg/l	2,1	2,5	1,1

Dix prélèvements réalisés sur toute la section en surface le 15 mars 1974 donnent les résultats suivants :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Conductivité	107	104	104	107	104	107	107	107	107	104	107
Chlorures mg/l	1,42	1,28	2,13	2,98	2,55	0,85	0,71	0,99	0,99	2,27	3,40

CONCLUSIONS

Que ce soit sur le plan de la quantité de l'eau (débit d'étiage) ou celui de la qualité (salinité), l'utilisation du Mungo semble donc de nature à résoudre les problèmes d'alimentation en eau de Douala.

Cependant l'absence de mesures suivies sur toute la période d'étiage ne permet pas de préjuger du comportement de ce fleuve à l'étiage absolu.

Une étude complémentaire nous paraît souhaitable pour préciser le régime du Mungo en saison sèche, avant d'engager des investissements importants dans l'exploitation de ce fleuve pour l'alimentation en eau de Douala.

MAXIMA ET MINIMA DES MAREES SUR LA DIBAMBA A JAPOMAPERIODE DU 8.1. AU 14.3.74

Date	Temps	Heure	B.M.	P.M.	Amplitude descente	Amplitude montée
8.1.74		14.00	45			
	5.30	19.30		286		241
9.1.74	6.40	02.10	68		218	
	5.30	07.40		291		223
	7.10	14.50	46		245	
	5.50	20.40		294		248
10.1.74	6.30	03.10	69		225	
	5.20	08.40		291		222
	7.05	15.45	44		247	
	5.55	21.40		296		252
11.1.74	6.20	04.00	72		224	
	5.30	09.30		289		218
	7.00	16.30	45		248	
	6.05	22.35		296		251
12.1.74	6.15	04.50	76		220	
	5.20	10.10		279		203
	7.00	17.10	44		235	
	5.35	22.45		285		241
13.1.74	6.45	05.30	74		211	
	5.10	10.40		264		190
	6.50	17.30	51		213	
	6.00	23.30		276		225
14.1.74	6.45	06.15	74		202	
	5.25	11.40		247		173
	6.35	18.35	61		186	
	5.10	23.45		262		201

MAXIMA ET MINIMA DES MAREES SUR LA DIBAMBA A JAPOMA

PERIODE DU 8.1. AU 14.3.74

Date	Temps	Heure	B.M.	P.M.	Amplitude descente	Amplitude montée
15.1.74	6.35	06.20	79		183	
	6.00	12.20		229		150
	6.40	19.00	78		151	
16.1.74	6.40	00.40		247		169
	7.10	07.50	81		166	
	5.40	13.30		216		135
17.1.74	6.10	19.40	112		104	
	6.00	01.40		239		127
	6.15	07.55	88		151	
18.1.74	5.45	13.40		209		121
	6.45	20.25	115		94	
	5.25	0.50		234		119
19.1.74	7.10	09.00	86		148	
	6.40	15.40		218		132
	5.45	21.25	110		108	
20.1.74	6.00	03.25		242		132
	7.05	10.30	80		162	
	6.20	16.50		231		151
21.1.74	5.50	22.40	100		131	
	5.50	04.30		249		149
	7.00	11.30	68		181	
21.1.74	6.20	17.50		246		173
	5.50	23.40	94		152	
	5.40	05.20		256		162
21.1.74	7.00	12.20	63		193	
	6.00	18.20		260		197

MAXIMA ET MINIMA DES MAREES SUR LA DIBAMBA A JAPOMA

PERIODE DU 8.1. AU 14.3.74

Date	Temps	Heure	B.M.	P.M.	Amplitude descente	Amplitude montée
22.1.74	6.55	01.15	98		162	
	4.35	05.50		267		169
	7.10	13.00	59		108	
23.1.74	5.50	18.50		268		209
	6.15	01.05	87		181	
	5.25	06.30		272		185
24.1.74	7.10	13.40	54		218	
	5.55	19.35		272		218
	6.25	02.00	80		192	
25.1.74	5.20	07.20		272		192
	7.10	14.30	54		218	
	5.40	20.10		276		222
26.1.	6.40	02.50	74		202	
	5.20	08.10		274		200
	7.00	15.10	52		222	
27.1.74	5.00	20.10		280		228
	6.20	02.30	78		202	
	6.15	08.45		275		197
28.1.74	6.10	14.55	59		216	
	5.10	20.25		287		228
	6.55	03.10	80		207	
29.1.74	5.25	08.35		276		196
	6.55	15.30	62		214	
	5.55	21.25		283		221
30.1.74	7.25	04.50	86		197	
	4.35	09.25		273		187
	6.45	16.10	71		202	

MAXIMA ET MINIMA DES MAREES SUR LA DIBALBA A JAPOMA

PERIODE DU 8.1. AU 14.3.74.

Date	Temps	Heure	B.M.	P.M.	Amplitude descente	Amplitude montée
29.1.74	5.55	22.05		280		209
	6.40	04.45	88		192	
	5.45	10.30		265		177
30.1.74	5.50	16.20	72		193	
	6.00	22.20		274		202
	6.45	05.05	87		187	
	5.10	10.15		252		165
31.1.74	6.50	17.05	75		177	
	6.25	23.30		264		189
	6.20	05.50	90		174	
1.2.74	5.20	11.10		239		149
	6.40	17.50	92		147	
	6.25	00.15		259		167
	7.05	07.10	88		171	
2.2.74	5.40	12.50		232		144
	6.00	18.50	107		125	
	6.55	01.45		256		149
	5.55	08.40	85		171	
3.2.74	6.25	15.05		238		153
	5.40	20.45	102		136	
	6.35	03.20		259		157
	7.00	10.20	68		191	
4.2.	6.25	16.45		250		182
	6.00	22.45	93		163	
	8.25	07.10		266		173
	4.50	12.00	61		205	
	6.30	18.30		270		209

MAXIMA ET MINIMA DES MAREES SUR LA DIBAMBA A JAPOMA

PERIODE DU 8.1. AU 14.3.74

Date	Temps	Heure	B.M.	P.M.	Amplitude descente	Amplitude montée
5.2.74	6.00	00.30	85		185	
	5.30	06.00		280		195
	6.45	12.45	59		221	
	6.15	19.00		285		226
6.2.74	6.10	01.10	83		202	
	6.00	07.10		290		207
	7.00	14.10	58		232	
	6.00	20.10		297		239
7.2.	6.20	02.30	80		217	
	5.40	08.10		294		214
	7.05	15.15	57		237	
	5.55	21.10		301		244
8.2.74	6.30	03.40	78		223	
	5.10	08.50		295		217
	6.40	15.30	54		241	
	6.10	21.40		301		247
9.2.74	6.20	04.00	79		222	
	9.30	09.30		289		210
	6.45	16.15	53		236	
	5.55	22.10		298		245
10.2.74	6.40	04.50	75		223	
	5.20	10.10		279		204
	6.45	16.55	55		224	
	6.45	22.40		288		233
11.2.74	6.55	05.35	71		217	
	5.10	10.45		268		197
	6.55	17.40	56		212	
	5.50	23.30		277		221

MAXIMA ET MINIMA DES MAREES SUR LA DIBANBA A JAPOMA

PERIODE DU 8.1. AU 14.3.74

Date	Temps	Heure	B.M.	P.M.	Amplitude descente	Amplitude montée
12.2.74	6.45	06.15	72		205	
	5.15	11.30		256		184
	6.40	18.10	70		186	
13.2.74	5.50	00.00		266		196
	7.10	07.10	79	187		
	5.00	12.10		239		160
14.2.74	5.15	17.25	92		147	
	5.45	23.10		250		158
	7.10	06.20	85		175	
15.2.74	5.20	11.40		225		140
	6.15	17.55	116		109	
	5.45	23.40		238		122
16.2.74	7.50	07.30	100		138	
	5.20	12.50		209		109
	7.10	20.00	134		75	
17.2.74	5.40	01.40		224		90
	7.30	09.10	94		130	
	6.00	15.10		213		119
18.2.74	6.20	21.30	126		87	
	5.25	02.55		229		103
	6.25	09.20	88		141	
19.2.74	8.05	17.25		231		143
	5.00	22.25	111		120	
	6.15	04.40		238		127
20.2.74	7.10	11.50	78		160	
	6.20	18.10		237		159

MAXIMA ET MINIMA DES MAREES SUR LA DIBERBA A JAPOMA

PERIODE DU 8.1. AU 14.3.74

Date	Temps	Heure	B.M.	P.M.	Amplitude descente	Amplitude montée
19.2.74	6.10	00.29	102		135	
	5.10	05.30		258		156
	7.30	13.00			190	
	6.05	19.05		254		186
20.2.74	6.25	01.30	87		167	
	5.35	07.05		260		173
	6.15	13.20	63		187	
	6.45	20.05		263		200
21.2.74	6.20	02.25	80		183	
	5.35	08.00		266		186
	5.35	13.35	55		211	
	5.55	19.30		274		219
22.2.74	6.30	02.00	75		199	
	5.40	07.40		270		195
	6.50	14.30	59		211	
	5.45	20.15		276		217
23.2.74	6.30	02.45	78		198	
	5.15	08.00		172		194
		15.00	55		217	
	5.30	20.30		280		225
24.2.	5.55	02.25	71		209	
	6.15	08.40		272		201
	6.50	15.30	55		217	
	5.40	21.10		281		226
25.2.74	6.35	03.45	68		213	
	5.15	09.00		269		201
	7.00	16.00	54		215	
	5.30	21.30		278		224

MAXIMA ET MINIMA DES MAREES SUR LA DIBAMBA A JAPOMA

PERIODE DU 8.1. AU 14.3.74

Date	Temps	Heure	B.M.	P.H.	Amplitude descente	Amplitude montée
26.2.74	7.00	04.30	66		212	
	5.15	09.45		267		201
	6.45	16.30	61		206	
27.2.74	5.40	12.10		275		214
	6.40	04.50	70		205	
	5.10	10.00		256		186
28.2.74	6.50	16.50	69		187	
	5.40	22.30		270		201
	6.40	05.10	72		198	
1.3.74	5.20	10.30		247		175
	6.30	17.00	79		168	
	5.50	22.50		262		183
2.3.74	7.00	05.50	81		181	
	4.15	10.05		233		152
	7.40	17.45	95		138	
3.3.74	5.55	23.40		254		159
	7.00	06.40	84		170	
	6.05	12.45		232		148
4.3.74	5.45	18.30	107		125	
	6.45	01.15		248		141
	6.30	07.45	87		161	
4.3.74	6.45	14.30		239		152
	6.00	20.30	114		125	
	6.00	02.30		256		142
4.3.74	7.10	09.40	78		178	
	6.20	16.00		257		179
	6.10	22.10	102		155	

MAXIMA ET MINIMA DES MAREES SUR LA DIBAMBA A JAPOMA

PERIODE DU 8.1. AU 14.3.74

Date	Temps	Heure	B.M.	P.M.	Amplitude descente	Amplitude montée
5.3.74	6.10	04.20		266		164
	6.30	10.50	71		195	
	6.40	17.30		274		203
6.3.74	5.50	23.20	90		184	
	6.10	05.30		275		185
	6.30	12.00	64		211	
7.3.74	6.20	18.20		286		222
	6.10	00.30	86		200	
	5.55	06.25		286		200
8.3.74	6.35	13.00	67		219	
	6.05	19.05		298		231
	6.25	01.30	83		215	
9.3.74	5.30	07.00		289		206
	6.40	13.40	58		231	
	6.05	19.45		300		242
10.3.74	6.20	02.05	76		224	
	5.25	7.20		288		212
	6.45	14.15	58		230	
11.3.74	5.45	20.00		299		241
	5.45	01.45	72		227	
	6.10	07.55		286		214
12.3.74	6.45	14.40	59		227	
	5.45	20.25		294		235
	5.50	03.15	58		226	
13.3.74	5.15	08.30		280		212
	6.45	15.15	59		221	
	5.25	20.40		283		224

MAXIMA ET MINIMA DES MAREES SUR LA DIBAMBA A JAPOMA

PERIODE DU 8.1. AU 14.3.74

Date	Temps	Heure	B.M.	P.M.	Amplitude descente	Amplitude montée
12.3.74	6.55	03.35	61		222	
	5.05	08.40		265		204
	6.50	15.30	66		199	
	5.00	20.30		274		208
13.3.74	7.30	04.00	59		215	
	5.20	09.20		254		195
	6.30	15.50	70		184	
14.3.74	5.10	21.00		260		190
	8.00	05.00	68		192	
	5.25	10.25		238		170
	6.30	16.55	88		150	