

MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE ET DE LA RECHERCHE

SECRETARIAT D'ÉTAT AUX DOM-TOM

L'ESTUAIRE DU KOUROU EN GUYANE FRANÇAISE.

POSSIBILITÉS D'ALIMENTATION EN EAU

D'UNE USINE DE PATE DE BOIS

ET RISQUES DE POLLUTION

PAR REJETS INDUSTRIELS DANS L'ESTUAIRE

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE O.R.S.T.O.M. DE CAYENNE



L'ESTUAIRE DU KOUROU EN GUYANE FRANÇAISE.

POSSIBILITÉS D'ALIMENTATION EN EAU
D'UNE USINE DE PATE DE BOIS
ET RISQUES DE POLLUTION
PAR REJETS INDUSTRIELS DANS L'ESTUAIRE

MICHEL-ALAIN ROCHE
MAITRE DE RECHERCHE A L'O.R.S.T.O.M.

AVRIL 1977

Résumé

L'évolution longitudinale de la dynamique des eaux estuariennes du Kourou ainsi que celle des matières associées dissoutes ou en suspension est caractérisée par les observations réalisées d'aval en amont, à l'inversion du courant à marée haute, à cinq stations réparties sur une cinquantaine de kilomètres depuis l'embouchure. L'emplacement optimal du site de pompage se révèle situé à Gourdonville.

En ce lieu, les possibilités d'alimentation en eau d'une usine de pâte de bois paraissent suffisantes. La consommation en eaux de l'usine représenterait par rapport à l'apport fluvial amont 6% du débit mensuel minimum moyen et 8% du débit mensuel minimum de fréquence décennale. Des salures ioniques globales très faibles, de 13 à 15 mg/l, caractéristiques des eaux de la rivière Kourou, sont conservées pendant l'étiage jusqu'à une quarantaine de kilomètres de l'embouchure. Les fluctuations de la remontée saline ayant été observées, seul un traitement de floculation et de défer- risation s'imposera au site choisi.

Les deux processus hydrodynamiques de pollution dans un estuaire sont définis et examinés. L'un s'exerce sur une distance limitée avec des dilutions faibles au cours de la rapide dérive de flot ou de jusant, l'autre accompagne loin en amont, mais avec des dilutions fortes, la lente remontée saline qui se produit durant l'étiage.

1er processus : Les dérives de fréquences variées sont estimées d'après les relations établies entre les dérives, les coefficients de marée et les débits fluviaux amont. Depuis le point de rejet, la dérive de fréquence décennale, s'arrête quelques kilomètres en aval du site de pompage conseillé. L'écart entre les dérives amont de fréquences annuelle et décennale est de l'ordre de 3 km. Les résultantes de dérives dans la zone de la prise d'eau sont toujours orientées vers l'aval, tant en surface qu'au fond. La dilution consécutive à la dérive amont varie entre 0,8 et 0,06 selon les marées observées. Aussi, les deux prises d'eau en cause ne courent pas de risque de pollution par des produits dissous.

Les composantes transversales et verticales de l'écoulement, mises en évidence par l'observation de flotteurs, régleront dans une large mesure, la dérive de produits flottés. Ces corps, stockés momentanément sur les rives au cours du jusant, puis repris pendant les flots, pourraient être entraînés sur une distance beaucoup plus importante que les dérives de flot de fréquences rares.

2ème processus : Les polluants suivront le cheminement de l'extension saline, mais subiront une dilution très importante (minimum de 4.10^{-3} en 1976 au site de pompage envisagé) écartant semble-t-il tout danger de pollution pour les prises d'eau.

Une explication nouvelle de l'extension de la marée saline au cours de l'étiage est basée sur la mesure des dérives et les analyses physico-chimiques. Les matières en suspension et les salures, accusent, pour une part d'entre elles, un retard par rapport à la dérive liquide telle qu'elle est mesurée. Ne revenant pas en totalité à leur point de départ initial au terme d'une période de marée, les matières progressent vers l'amont par oscillations et dilutions successives.

SOMMAIRE

	Pages
Résumé	3
1. INTRODUCTION	7
2. METHODOLOGIE	9
2.1. Méthodes hydrométriques	9
2.2. Mesures des teneurs en matières dissoutes et en suspension	12
3. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DE L'ESTUAIRE DU KOUROU	15
4. LES APPORTS FLUVIAUX A L'ESTUAIRE	19
4.1. Equipement et étalonnage de la station Léodate	19
4.2. Relations entre la station Léodate, les stations de l'estuaire et du Courcibo	19
4.3. Le régime hydrologique	21
4.4. Les modules	23
4.5. Les débits moyens mensuels	23
4.6. Débits caractéristiques d'étiage et débits journaliers minimums	24
4.7. Conclusion sur les possibilités quantitatives d'alimentation en eau	24
5. CARACTERISTIQUES DE L'ECOULEMENT DANS L'ESTUAIRE DU KOUROU ET RISQUES DE POLLUTION	27
5.1. Mode d'écoulement et incidence sur le risque de pollution	27
5.2. Vitesse d'écoulement	29
5.3. Dérives des polluants au cours d'une période de marée	33
5.3.1. Les différents types de dérives étudiés	33
5.3.2. Relations dérive - coefficient de marée - débit fluvial	33

5.3.3. Comparaison des résultats relatifs aux différents types de dérives	36
5.3.4. Relation dérive - distance à l'embouchure	37
5.3.5. Dérives amont et aval depuis la crique des Pères	37
a) Dérives de flot depuis la confluence de la crique des Pères	
b) Dérives de jusant depuis la confluence de la crique des Pères	
c) Dérives de jusant dans la crique des Pères	
5.3.6. Dilution consécutive à la dérive amont depuis la confluence de la crique des Pères	40
5.3.7. Extension amont de la marée saline et des polluants durant l'étiage	41
5.3.8. Risques de pollution associée à l'extension amont de la marée saline	42
5.4. Volumes et débits oscillants	43
6. QUALITE DES EAUX REQUISE DANS L'INDUSTRIE DE LA PATE DE BOIS	45
7. QUALITE DES EAUX DE L'ESTUAIRE DU KOUROU	47
7.1. Températures	47
7.2. pH	47
7.3. Acidité totale	48
7.4. Demande chimique en oxygène	48
7.5. Demande en chlore, "break point"	48
7.6. Teneurs en suspension	48
7.7. Turbidité	52
7.8. Couleur. Essai de décoloration	53
7.9. Salures globales	53
7.10. Teneurs ioniques spécifiques	56
7.10.1. Les chlorures	56
7.10.2. Les sulfates	57
7.10.3. Les bicarbonates et les titres alcalins	57
7.10.4. Cations ; Essais de déferrisation, duretés	57
7.11. Silice dissoute	59
8. CONCLUSION	61
Bibliographie	67
Annexe	71

1. INTRODUCTION

Dans le cadre d'un projet de construction d'une usine de pâte de bois en bordure de l'estuaire de la rivière du Kourou, en Guyane Française, le Ministère de l'Industrie et de la Recherche et, le Secrétariat d'Etat aux DOM - TOM, ont par convention, confié à l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (O.R.S.T.O.M.), l'étude du risque de pollution que les rejets industriels de la future usine pourraient produire, tant à la prise d'eau devant être utilisée pour son alimentation, qu'à celle desservant déjà la ville de Kourou.

Après lagunage dans la Savane Ouayabo, les déchets seraient rejetés dans la Crique des Pères qui afflue à l'estuaire du Kourou, à 20 km et 40 km en aval des prises d'eau en cause (Gourdonville et Dégrad Saramaca) et à 16 km en amont de l'embouchure (fig. 1 à 3).

Parallèlement à cette étude, devaient être définies, en quantité et en qualité, les possibilités d'alimentation en eau de ladite usine.

Les déterminations à effectuer par l'O.R.S.T.O.M. dans l'estuaire portent notamment sur :

- les apports fluviaux d'eau douce par l'amont,
- les vitesses et les dérives oscillantes des eaux,
- leur salure et la position maximale de remontée des eaux saumâtres.

Ces opérations, dirigées par M.A. ROCHE, ont bénéficié de la collaboration technique de A. BARILLY, J.C. BRON, A. D'ALEXIS, M. GREARD, et J. FONG.

En Afrique, comme en Guyane Française, la Section Hydrologique de l'O.R.S.T.O.M. s'est déjà intéressée aux problèmes estuariens. D'autre part le L.C.H.F. a effectué des études sur les estuaires Guyanais.

Sur le Kourou, la remontée saline dans l'estuaire a fait l'objet, en 1964, d'une étude destinée à situer la prise d'alimentation en eau de la base spatiale et de la ville de Kourou (J. HOORELBECK -1966-). Par la suite, la courantologie et la sédimentation dans la partie aval des estuaires du Kourou et du Mahury ont été mesurées par le LCHF (1967, 1968), en vue d'équipement portuaires.

Par ailleurs, les possibilités d'alimentation

et les risques de pollution, posés par l'implantation d'une usine de pâte de bois, ont été étudiés dans les estuaires du Mahury et de l'Approuague (M.A. ROCHE, P. DUBREUIL, M. HOEPPNER -1974-). Ces mêmes problèmes ont donné lieu à l'établissement d'une méthodologie de mesure de la dynamique des eaux, des sels et des suspensions en estuaire (M.A. ROCHE -1976-).

Il convient aussi de signaler que la sédimentation des matières en suspension et les variations de la salure des eaux du Mahury, de la rivière de Cayenne et du Maroni, ont été mesurées à proximité de l'embouchure (L. BERTHOIS, J. HOORELBECK -1968-, L.C.H.F. -1968-).

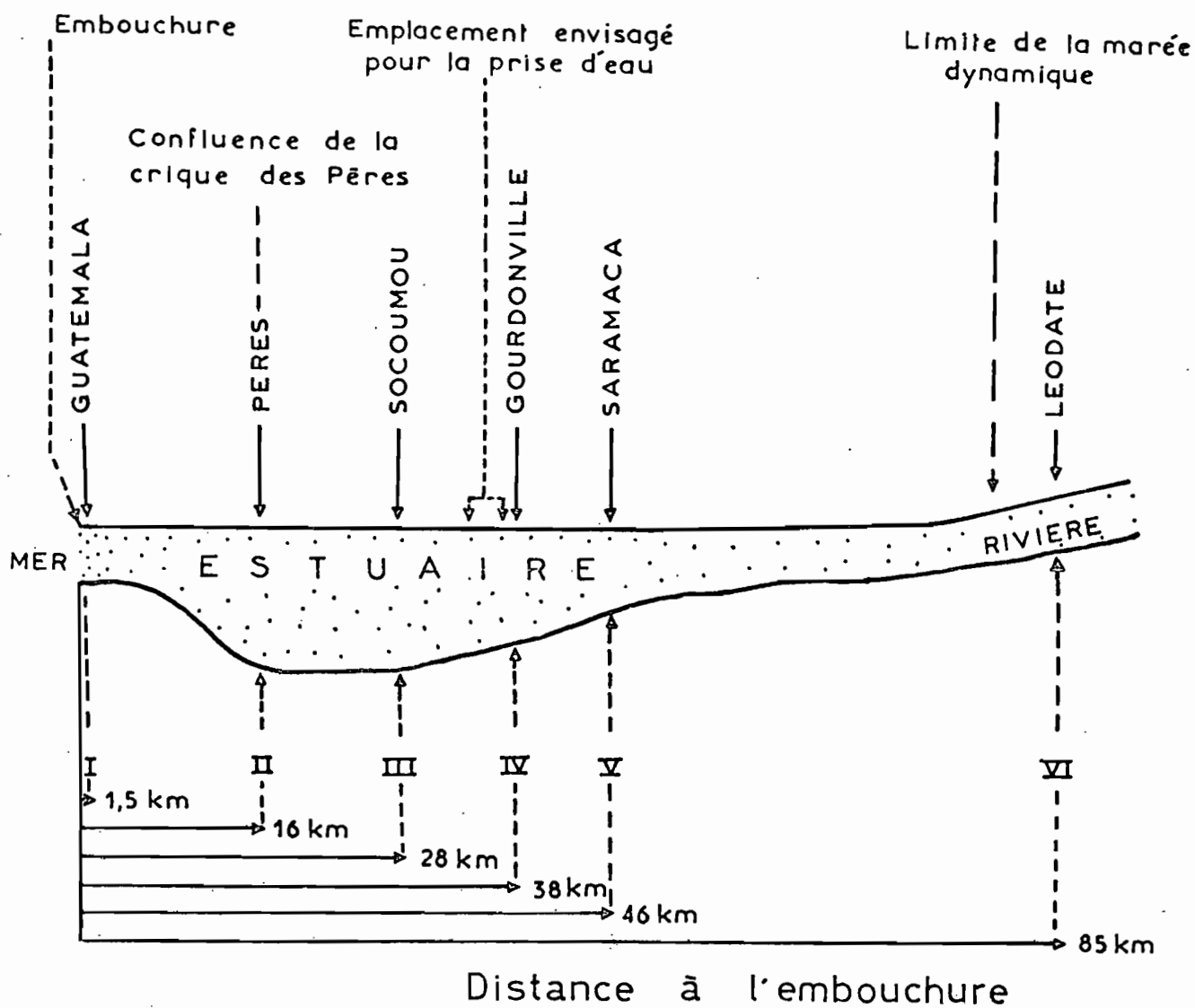


Fig. 1 : Situation des stations d'observations sur l'estuaire et la rivière du Kourou.

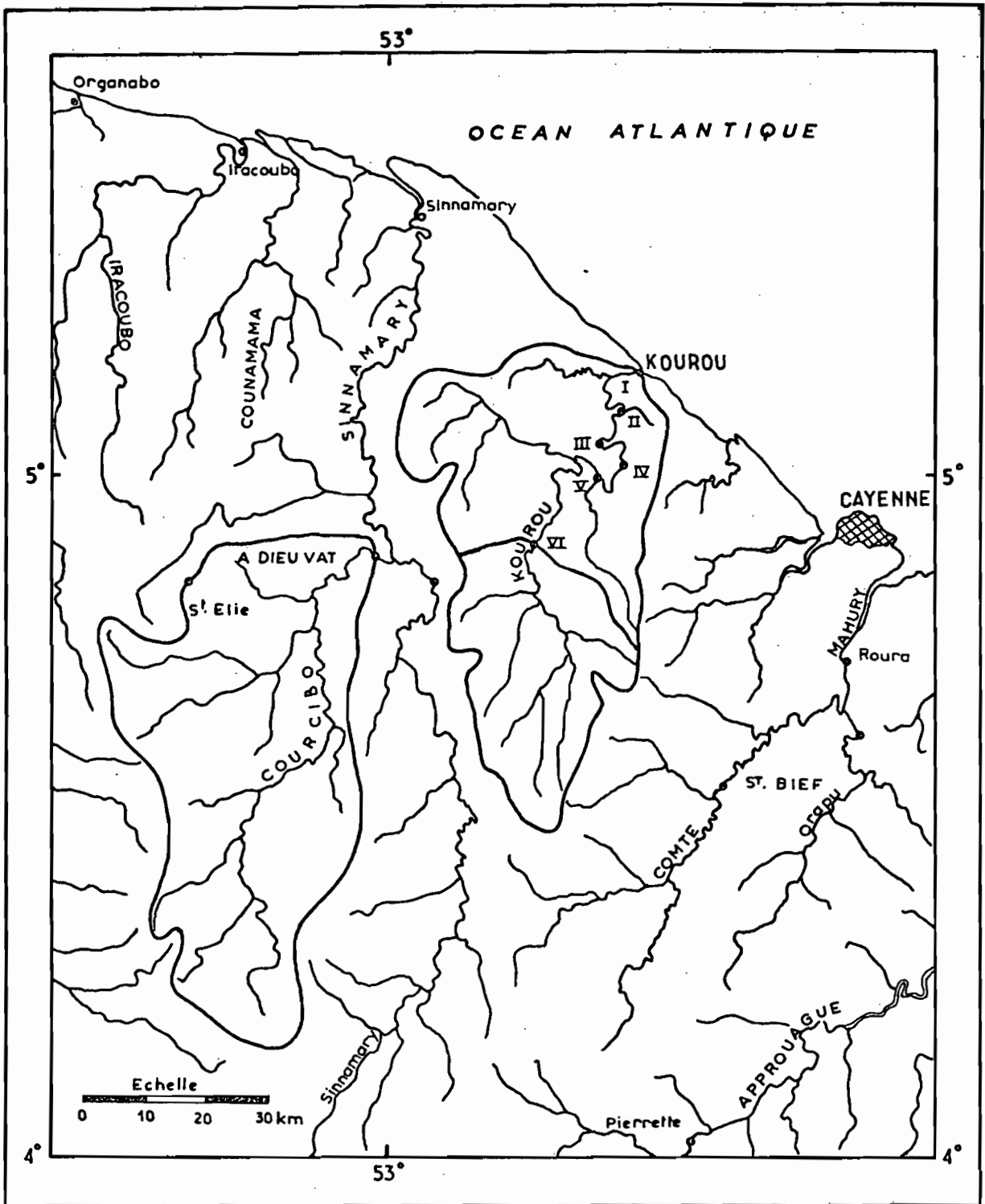


Fig. 2 : Les bassins versants de la rivière et de l'estuaire du Kourou, ainsi que celui de la rivière du Courcibo.

2. METHODOLOGIE

Les limites de la dynamique des eaux, des salures et des matières en suspension pendant l'étiage annuel du Kourou ont été déterminées au cours de campagnes de mesures réalisées entre le 23 septembre et le 22 novembre 1976, au moment des marées d'équinoxe à coefficients extrêmes, afin que soient traités notamment les problèmes d'alimentation et de pollution qui se poseraient lors des marées de vives-eaux. C'est en effet au moment où se trouvent conjugués l'étiage du fleuve et les marées à forts coefficients que sont réunies les conditions hydrologiques les plus favorables à la remontée des eaux originaires de l'aval, c'est-à-dire à la remontée des salures comme à celle des futurs polluants (M.A. ROCHE -1976-).

A cet effet, sur six sections transversales choisies entre la mer et la partie amont non influencée par la marée dynamique (fig. 1 à 3), ont été effectués des mesures de vitesses, de hauteurs d'eau, et des prélèvements d'eau ayant donné lieu à des analyses physico-chimiques. Les observations ainsi réalisées permettent de déterminer l'évolution longitudinale des paramètres hydrologiques dans l'estuaire.

En outre, tout au long de l'estuaire, ont été prélevées des eaux pour l'étude de la remontée saline au moment de la renverse de haute-mer, et observées les dérives de flotteurs à partir de différents points pendant le jusant ou le flot.

2.1. Méthodes hydrométriques

2.1.1. Mesures hydrométriques sur le terrain

- a. Hors de toute influence maritime, une station hydrométrique (n° VI) équipée d'un limnigraphe longue durée OTT XX a été implantée pour l'étude à Roche Léodate, 87 km en amont de l'embouchure, et a commencé à fonctionner le 18 septembre 1976. La relation hauteur-débit a été obtenue par un étalonnage classique réalisé au moulinet.
- b. Dans la zone soumise à la marée dynamique, c'est-à-dire dans l'estuaire, les vitesses des eaux ont été mesurées selon deux méthodes :
 - La première, en suivant à partir d'un site des flotteurs lestés, tout en mesurant la dérive parcourue en fonction du temps. Trois bouteilles en plastique, de 30 cm de hauteur, sont lestées de sable et d'eau afin que seul émerge le goulot marqué d'une couleur vive. Elles sont lâchées au milieu d'une section déterminée de l'estuaire, au moment

de l'inversion de courant, et suivies en pirogue pendant la durée du jusant ou du flot (fig. 4).

Ces flotteurs tendent, à l'issue d'une dérive plus ou moins longue, à se rapprocher d'une rive où ils sont bloqués par la végétation. Pour assurer la continuité de la dérive, lorsque l'un d'entre eux est entraîné à proximité de la rive, il est remplacé par un autre, lâché au droit de celui-là, au milieu de l'estuaire.

Les différences des vitesses en bordure des rives et au milieu de la section, tantôt positives, tantôt négatives, demeurent faibles, et autorisent donc ces permutations (cf. §. 5.3.).

De même, des bouteilles flottantes reliées par un câble de deux mètres à des bouteilles lestées, plus denses que l'eau, ne montrent pas des cheminements significativement différents de ceux qui sont empruntés par les simples flotteurs de surface.

- La seconde méthode consiste à mesurer à chaque station, la vitesse des eaux avec un moulinet OTT C31 monté sur câble et poids de lestage (saumon), sur cinq verticales comprenant en général chacune quatre points étagés depuis le fond jusqu'à la surface.

Les stations de mesures se répartissent ainsi (fig. 1) :

I	GUATEMALA	,	500 m en aval de l'ancien débarcadere de Kourou et 1,5 km en amont de l'embouchure
II	PERES	,	150 m en amont de la confluence avec la crique des Pères et 16 km en amont de l'embouchure
III	SOCOUMOU	,	200 m en aval du ponton du port de plaisance et 28 km en amont de l'embouchure
IV	GOURDONVILLE	,	150 m en aval de la confluence avec la crique Gourdonville et 38 km en amont de l'embouchure
V	SARAMACA	,	100 m en aval du débarcadere de Dégrad Saramaca et 46 km en amont de l'embouchure.

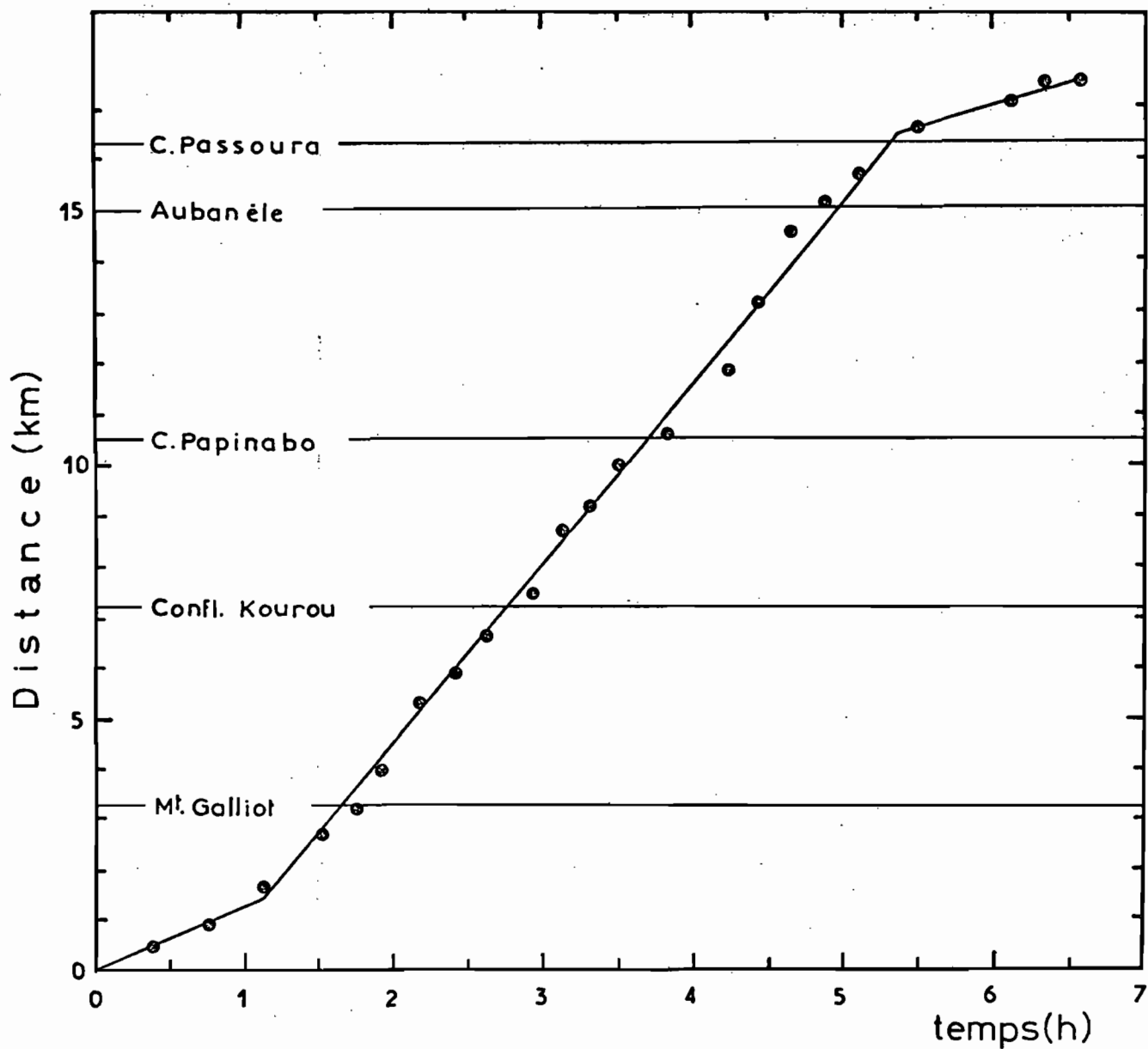
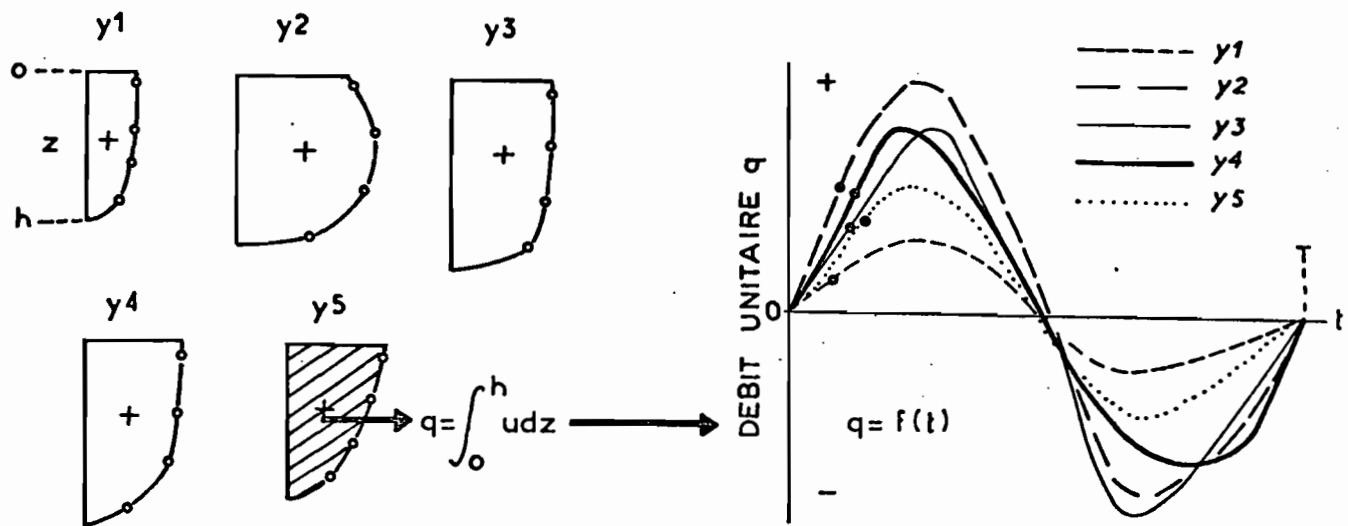
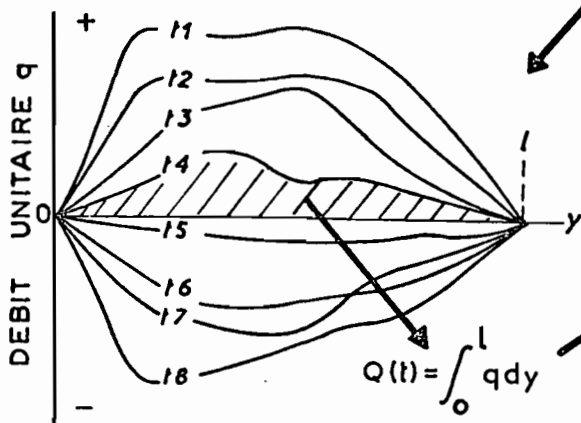


Fig. 4 : Exemple de la mesure de la vitesse de dérive d'un flotteur, depuis la confluence de la crique Ouayabo, dans la crique des Pères et l'estuaire du Kourou.

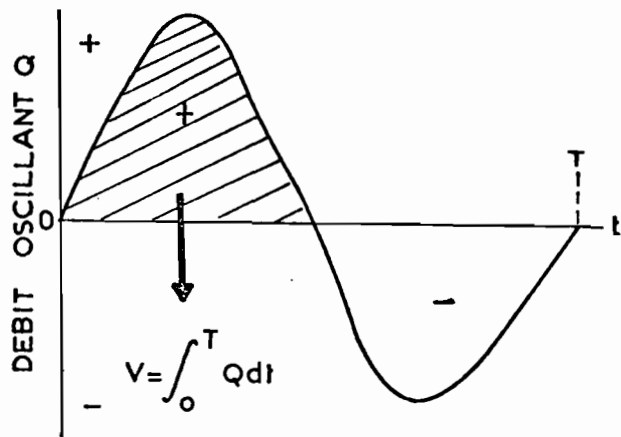


Paraboles de vitesse à différentes verticales

Variation du débit unitaire par verticale au cours d'une marée



Variation du débit unitaire à travers la section au cours d'une marée



Variation du débit total à travers la section au cours d'une marée

Fig. 5 : Détermination graphique de la variation des vitesses, des débits unitaires par verticale et à travers la section, des débits et des volumes oscillants à une station estuarienne, au cours d'une période de marée.

Les stations Guatémala, Pères et Gourdonville ont été équipées de limnigraphes à rotation journalière qui ont fonctionné du 21 septembre au 14 décembre 1976.

La marée, à cycle semi-diurne sur les côtes guyanaises, entraîne une variation rapide des paramètres hydrométriques (hauteurs, vitesses, débits,...). La relation hauteur-débit n'étant pas univoque, il serait donc vain de déduire les débits instantanés des hauteurs en procédant à un étalonnage classique des stations. Il convient alors pour connaître la variation des débits au cours d'une période de marée, de procéder au plus grand nombre possible de jaugeages en une douzaine d'heures (six en pratique).

Le dépouillement des mesures requiert l'emploi d'une méthode particulière, essentiellement graphique, ci-après exposée.

2.1.2. Exploitation graphique des mesures réalisées au moulinet dans l'estuaire

a. La planimétrie de l'aire définie par une "parabole de vitesse", $u = f(z)$, permet d'évaluer le débit unitaire sur une verticale

$$q = \int_0^h u \, dz$$

avec u = vitesse et z = profondeur depuis la surface 0 jusqu'au fond h , pendant un temps relativement court (5 à 10 minutes) en regard de la période de marée (fig. 5).

b. La courbe de variation temporelle du débit unitaire $q = f(t)$ est tracée pour chaque verticale à partir des résultats des six jaugeages.

c. A partir de ces courbes, il est possible d'estimer par interpolation les débits unitaires à chaque verticale à des heures données t_1, t_2, \dots pour tracer les courbes $q = f(y)$, l'abscisse dans la section étant désignée par y . Les aires délimitées par ces courbes équivalent aux débits totaux à travers la section de largeur l aux temps correspondants :

$$Q = \int_0^l q \, dy$$

d. La planimétrie des courbes précédentes permet de tracer la courbe $Q = f(t)$. Une dernière planimétrie de l'aire définie par cette courbe revient à estimer le volume écoulé au cours de la période de marée T .

$$V = \int_0^T Q dt$$

Ces trois intégrations successives peuvent alors se résumer à

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

e. La détermination de la dérive est une notion importante pour estimer les risques de pollution, puisqu'elle correspond à la distance parcourue par les eaux et donc par d'éventuels polluants, de part et d'autre d'un site pendant un temps déterminé. Elle permet en particulier de situer les eaux de marée basse à la marée haute suivante et vice-versa. En première approximation, la dérive moyenne $\Delta \bar{x}$ à partir d'une section peut s'estimer par

$$\Delta \bar{x} = V / \bar{A}$$

\bar{A} étant la section mouillée moyenne au cours de la marée. La dérive résultante, à l'issue d'une période de marée, représente la différence entre les deux valeurs de flot et de jusant.

En intégrant la variation des vitesses u en fonction du temps t , en un point de la section, on peut aussi évaluer la dérive parcourue pendant un temps déterminé :

$$\Delta x = \int_0^t u dt$$

telle par exemple la dérive maximale Δx_3 , généralement située au milieu de la section.

Par définition, le signe - caractérise les paramètres relatifs au jusant (écoulement vers l'aval) et le signe + ceux qui se rapportent au flot (écoulement vers l'amont).

2.2. Méthodes de mesures et d'analyses de la qualité physico-chimique des eaux

2.2.1. Mesures et échantillonnage in situ

La température des eaux a été mesurée in situ.

Des échantillons d'eau de 2 litres ont été prélevés, immédiatement après la mesure des vitesses, à chaque verticale à 0,35 m du fond, au milieu et en surface, représentant 15 prélèvements par jaugeage. Ils étaient destinés à la mesure en laboratoire de la conductivité et de la teneur en suspension.

Un échantillon supplémentaire de 2 litres, **prélevé** à chaque jaugeage, en surface au milieu de la section, était réservé aux analyses physico-chimiques.

Le système de prise d'eau, monté entre le saumon et le moulinet, était relié à l'embarcation par un tuyau en plastique branché sur une pompe Japy.

2.2.2. Méthodes d'analyses physico-chimiques en laboratoire

Les teneurs en matière en suspension, la conductivité, la couleur, la turbidité, l'oxygène consommé, les teneurs en ions Cl^- , CO_3H^- , CO_3^{--} , SO_4^{--} , Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Fe^{+++} , Mn^{++} et en silice dissoute ont été déterminées sous la direction de L. NALOVIC, au laboratoire du Centre O.R.S.T.O.M. de Cayenne.

Tous les échantillons filtrés pour les analyses physico-chimiques l'ont été sur papier filtre "Durieux", bande bleue. Les charges en suspension ont été déterminées sur un échantillon d'eau prélevé en double.

Conductivité C. Elle a été mesurée à l'aide d'un conductimètre Philips (type PW 9504) et exprimée en $\mu\text{mhos cm}^{-1}$ à 25°C.

Charge en suspension P. Elle a été recueillie sous vide sur filtre "Millipore" à pores de $0,8 \mu$ de diamètre, après floculation par addition de 5 ml d'acide chlorhydrique 12 N et siphonnage de l'eau limpide surnageante.

Turbidité. Due à la présence des matières en suspension (argiles, limons, grains de silice, et matières organiques), Elle a été déterminée sur les eaux non filtrées après simple décantation. L'échantillon a été comparé à une gamme de solutions comprenant de 0 à 100 gouttes de mastic dans 50 ml d'eau distillée, au spectrophotomètre à 4000 Å, dans une cuve de 4 cm de largeur et après 4 minutes de repos.

Couleur. Elle est due aux substances dissoutes. La détermination a été effectuée par comparaison avec une gamme de solutions de 0 à 70 mg/l de platine, avant et après traitement de décoloration. Celle-ci a été réalisée en ajoutant 1 ml d'une solution de sulfate d'alumine à 10% dans 100 ml d'eau et après repos d'au moins 24 heures. En effet, les essais préliminaires avec des solutions de FeCl_3 et de $\text{Al}_3(\text{SO}_4)_2$, de concentrations différentes, ont montré que la décoloration ainsi obtenue est maximale.

pH. L'appareil utilisé est un "Biolyon", type S 52 (électrode verre/calomel).

Oxygène consommé DCO à chaud. Le dosage des matières organiques d'origine végétale ou animale consiste à mesurer la quantité de permanganate de potassium absorbée dans des conditions bien définies (norme AFNOR T 90-018). L'échantillon d'eau a été oxydé par un excès de KMnO_4 titré, durant 10 minutes d'ébullition en milieu acide. Le permanganate restant est réduit par une quantité connue de sel de Mohr dont l'excédent, qui correspond au permanganate consommé par les matières organiques, est à son tour oxydé par le permanganate titré.

Chlorures Cl^- . La méthode potentiométrique, à l'aide du potentiographe Métrohm, type E 536 (électrode d'argent/chlorure d'argent) a été utilisée. La limite de sensibilité est de 0,01 mg/l.

Sulfates SO_4^{--} . La méthode gravimétrique a été utilisée pour des eaux dont la teneur dépasse 200 mg/l de SO_4^{--} . Pour celles dont la teneur est inférieure à cette valeur, la méthode turbidimétrique a été employée. Dans les deux cas, le sulfate a été précipité en milieu acide sous forme de sulfate de baryum. Lorsque le précipité était abondant, il a été séparé par filtration puis calciné à 400°C et pesé. Les précipités peu abondants ont été dispersés en présence de polyvynil pirolydon et la turbidité ainsi provoquée a été comparée, au spectrophotomètre, à une gamme de solutions titrées de SO_4^{--} . En concentrant les échantillons, la sensibilité de cette méthode peut atteindre 0,1 mg/l.

Bicarbonates CO_3H^- et carbonates CO_3^{--} . Les teneurs en acide carbonique ont été mesurées par la méthode potentiométrique à l'aide du potentiographe Métrohm, type E 536 (électrode verre/calomel). La sensibilité est de 0,01 mg/l de CO_3H^- .

Cations Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Fe^{+++} , Mn^{++} . Ils ont été dosés par spectrographie d'absorption atomique (Perkin-Elmer, modèle 107), soit directement, soit après dilution (jusqu'à 1/10 000) ou concentration et reprise par l'acide chlorhydrique à 5%. Pour le fer et le manganèse, les eaux ont été concentrées 10 fois.

Les limites de sensibilité, en mg/l, sont :

$\text{Ca}^{++} = 0,002$;	$\text{Mg}^{++} = 0,0001$;	$\text{K}^+ = 0,004$
$\text{Na}^+ = 0,001$;	$\text{Fe}^{+++} = 0,01$;	$\text{Mn}^{++} = 0,01$

Silice dissoute SiO_2 . La teneur en silice peu polymérisée a été déterminée par colorimétrie avec le molybdate d'ammoniaque pour réactif. L'absorption du complexe silico-molybdique a été mesurée à 4100 \AA au spectrophotomètre Jean et Constant. La limite de sensibilité est inférieure à 0,1 mg/l.

3. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DE L'ESTUAIRE DU KOUROU

Etant la partie d'un cours d'eau située sous l'influence de la mer, un estuaire est l'objet de trois types de phénomènes. Par ordre de propagation décroissante vers l'amont, on peut ainsi observer dans le Kourou, comme dans tous les estuaires de Guyane, où la marée est semi-diurne :

- la marée dynamique, qui se traduit par une oscillation des hauteurs d'eau, avec deux minimums et deux maximums journaliers. Elle remonte sur environ 70 km au-delà de l'embouchure ;
- l'inversion des courants, quatre fois par jour ;
- la pénétration des eaux marines dans l'estuaire, selon une oscillation en phase avec celle du courant.

Le bassin versant de la rivière et de l'estuaire du Kourou, sur schistes antécambriens et roches éruptives, couvre 845 km² à la station VI, 1590 km² à Gourdonville et 1900 km² à l'embouchure. Les superficies des bassins versants à toutes les stations prises en considération dans cette étude sont indiquées dans le tableau II.

La largeur de l'estuaire, à marée haute, varie de 600 m à l'embouchure à 90 m dès la station II. Elle diminue ensuite très lentement vers l'amont, avec 70 m, à la station V, n'atteignant que 40 m à la station VI.

Les sections présentent une forme en U assez régulière. La variation de la section mouillée en fonction de la hauteur d'eau est présentée pour chaque station sur la figure 6.

La profondeur moyenne à une station peut être définie comme le rapport de la section mouillée à niveau moyen avec celle de la largeur moyenne. Cette profondeur de 3,4 m à Guatemala, est de 8,5 m à la station des Pères puis décroît ensuite variant de 7,7 m à Socoumou, 6,1 m à Gourdonville, à 5,3 m à Saramaca. Il en est de même des profondeurs maximales mesurées par rapport au niveau moyen qui atteignent, aux cinq stations respectives, les valeurs de 5 m, 11 m, 10 m, 8 m et 7 m. Les profondeurs dans l'estuaire du Kourou, comme dans tous les estuaires guyanais, tendent donc à augmenter depuis l'embouchure vers l'amont sur plusieurs kilomètres pour diminuer ensuite progressivement. C'est en mer, au large de l'estuaire que se rencontrent les profondeurs minimales.

Afin de caractériser plus précisément la morphologie de l'estuaire, un relevé du profil bathymétrique a été réalisé par écho-sondage en novembre et décembre 1976. Le lit, relativement plat et de profondeur assez régulière,

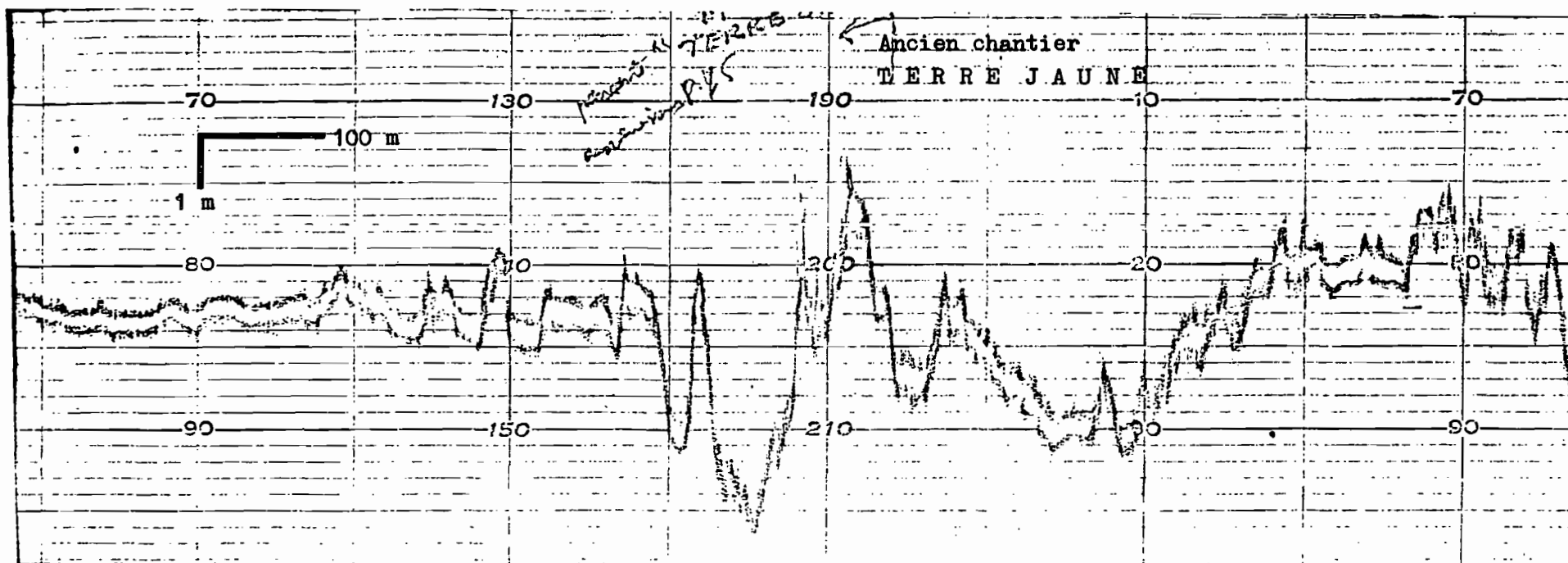


Fig. 6 bis : Profil bathymétrique longitudinal de l'estuaire du Kourou dans la zone de l'ancien chantier Terre Jaune, enregistré par écho sondeur le 8 décembre 1976 de 14 h.

devient accidenté après le Pont de Kourou, tandis que la profondeur s'accroît. Des séries de rides qui apparaissent sur les enregistrements semblent correspondre à des bancs de sédiments disposés en "dunes" successives dans le sens longitudinal du lit. Une telle morphologie, enregistrée selon l'axe médian de l'estuaire dans la zone de l'ancien chantier Terre Jaune, est présentée pour exemple sur la figure 6 bis.

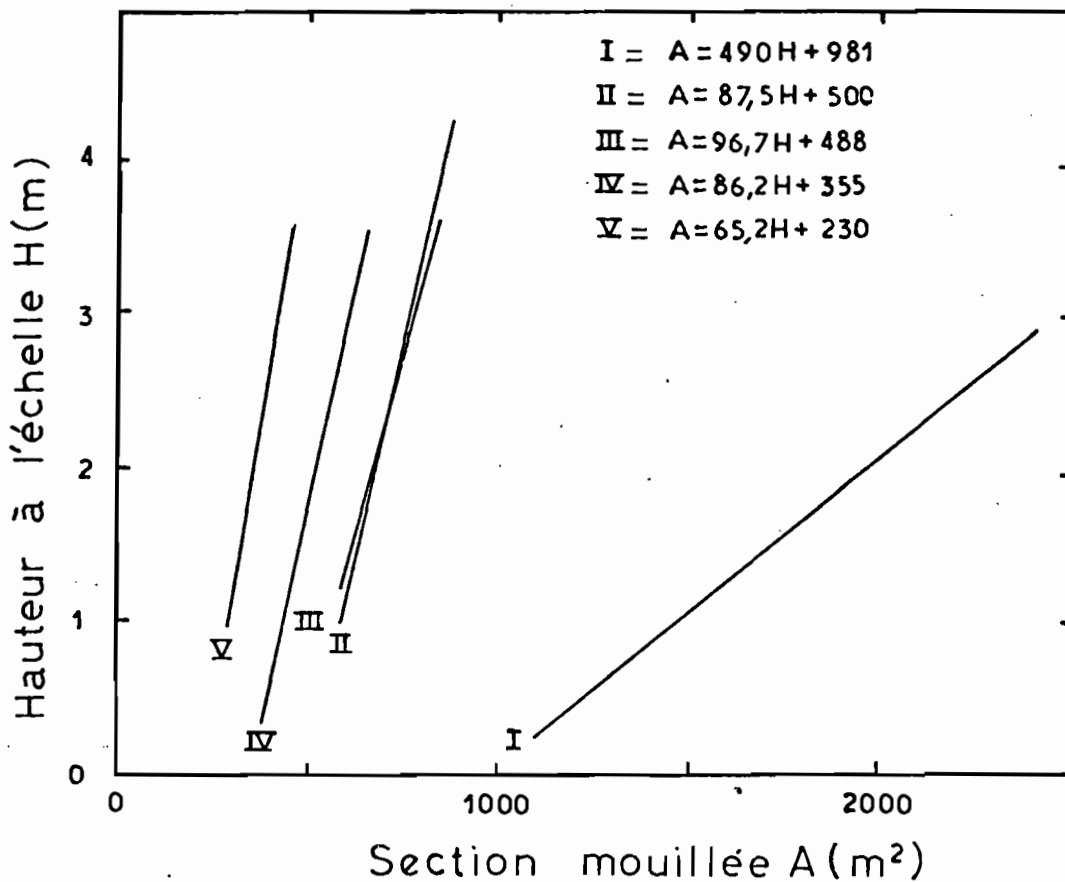


Fig. 6 : Relations entre la section mouillée et la hauteur d'eau aux différentes sections de l'estuaire du Kourou.

4. LES APPORTS FLUVIAUX A L'ESTUAIRE

4.1. Equipement et étalonnage de la station Léodate (n° VI)

Les apports fluviaux d'eau douce à l'estuaire ont été contrôlés au-delà de la limite de propagation de la marée dynamique, en amont de Roche Léodate, où a été implantée la station N° VI.

Les hauteurs d'eau, enregistrées par un limni-
graphe OTT XX longue durée, sont connues pour toute la saison sèche qui s'est étendue jusqu'au 10 novembre, 1976, date des premières pluies.

La station a été étalonnée par la réalisation de 27 jaugeages dont la liste est présentée dans le tableau I. Le débit minimum, de 5,3 m³/s, atteint en 1976, a pu être mesuré (fig. 7).

4.2. Relations entre la station Léodate, les stations de l'estuaire et la station Adieu Vat sur le Courcibo

Les résultats obtenus à Léodate (N° VI) permettent une estimation des débits fluviaux journaliers en 1976 à chaque station estuarienne, en admettant qu'entre cette première station et les autres le temps de propagation moyen des eaux est égal à un jour et, en appliquant au débit de référence un coefficient de majoration égal au rapport des superficies des bassins considérés. Une telle méthode d'estimation est en accord avec l'évolution des débits des cours d'eau guyanais de l'amont vers l'aval.

Les valeurs de l'apport fluvial, estimées à chaque station les jours d'observation dans l'estuaire, sont portées dans les tableaux IV, V, VI.

Les quelques mois d'observations effectuées sur le Kourou, dans le cadre de la présente étude, ne permettant pas d'estimer les débits fluviaux de fréquences variées aux stations qui sont prises en considération dans l'estuaire, la station d'Adieu Vat, sur le Courcibo, servira de référence pour de telles évaluations car la situation et la superficie de son bassin sont voisines de celles du bassin du Kourou. De plus, à cette station, les principales valeurs hydrologiques observées par l'O.R.S.T.O.M. de 1953 à 1957 et de 1969 à 1976, ont pu être établies sur une période de 25 ans (1952-1976).

Tableau I : Liste des jaugeages effectués
dans le Kourou à Léodate
(station n° VI).

Date	hauteur moyenne (m)	débit (m ³ /s)
12-10-76	0,68	10,4
13-10-76	0,64	9,46
14-10-76	0,62	9,30
15-10-76	0,60	9,22
26-10-76	0,44	6,78
27-10-76	0,43	6,44
10-11-76	0,30	5,10
11-11-76	0,50	8,10
11-11-76	0,53	8,64
12-11-76	0,50	7,94
12-11-76	0,46	7,54
13-11-76	0,40	6,42
13-11-76	0,38	6,28
14-11-76	0,35	5,72
14-11-76	0,34	5,52
15-11-76	0,37	6,46
15-11-76	0,42	7,10
16-11-76	0,42	6,90
5- 2-77	1,03	20,0
21- 3-77	1,90	39,4
22- 3-77	1,94	40,2
23- 3-77	1,77	35,5
23- 3-77	1,65	33,1
24- 3-77	1,85	38,6
24- 3-77	2,13	47,1
25- 3-77	3,00	73,5
25- 3-77	3,49	88,3

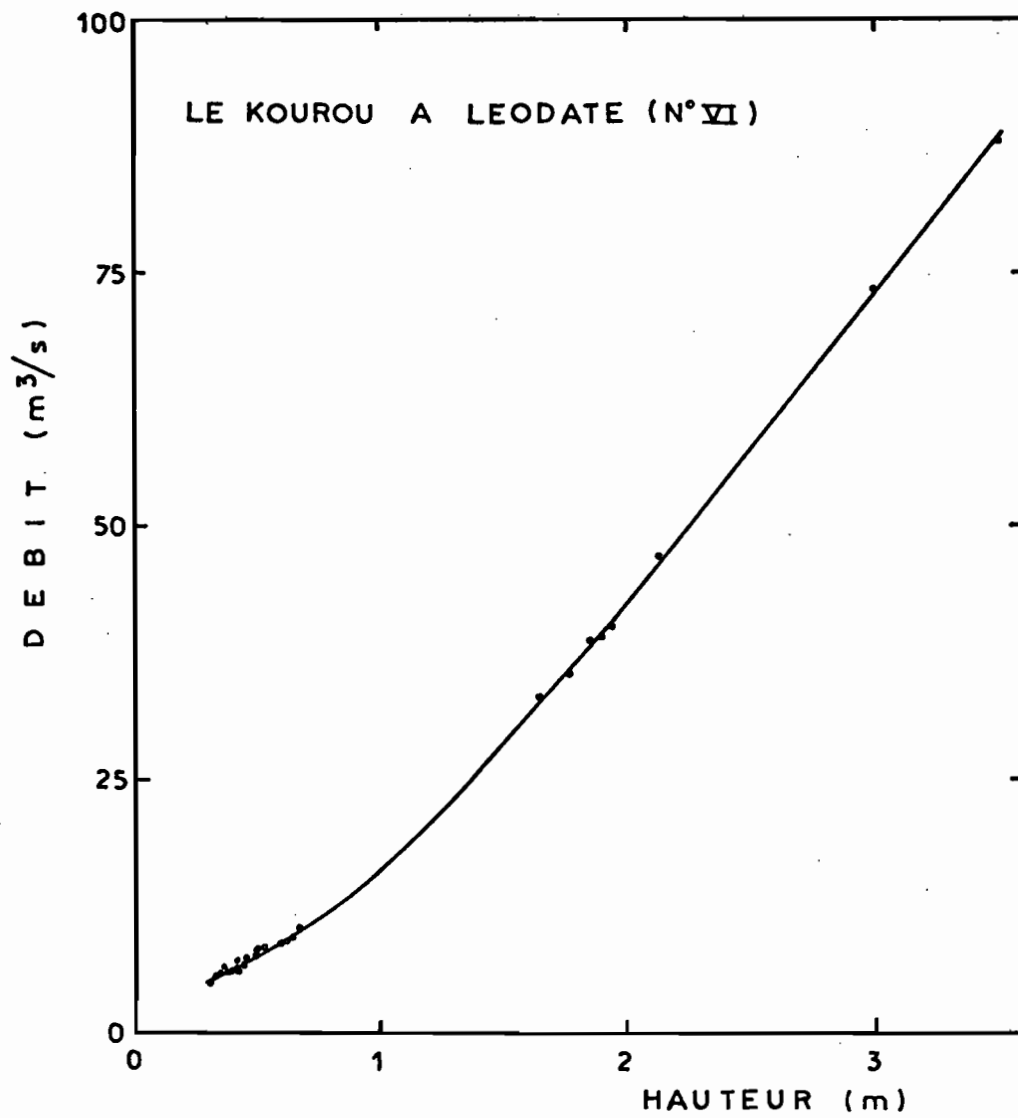


Fig.7: Courbe de tarage de la rivière Kourou à Léodate.

Aussi pour évaluer un débit fluvial de fréquence donnée dans l'estuaire du Kourou, deux possibilités peuvent être retenues :

1. Appliquer à un débit du Courcibo le coefficient égal au rapport des superficies des bassins en cause.

2. Calculer le débit de fréquence donnée à Léodate, dans le Kourou, en appliquant au débit correspondant du Courcibo un coefficient égal au rapport des débits observés en 1976 aux deux stations en cause. Le débit recherché à une station estuarienne est ensuite estimé en multipliant le débit à Léodate par le rapport des superficies des bassins concernés.

La superficie de chaque bassin versant, ainsi que le rapport des superficies avec celle du bassin N° VI et celle du Courcibo à Adieu Vat sont indiqués dans le tableau II, tandis que les résultats fournis par les méthodes 1 et 2 précitées sont mentionnés dans le tableau III.

Tableau II : Superficies et rapports des superficies des bassins du Kourou et du Courcibo.

Cours d'eau	Station	Superficie (km ²)	Rapport/N°VI	Rapport/Adieu Vat
Kourou	I	1870	2,213	0,770
	II	1660	1,964	0,683
	III	1640	1,941	0,675
	IV	1590	1,882	0,654
	V	1390	1,645	0,572
	VI	845	1	0,348
Courcibo	Adieu Vat	2430	2,876	1

4.3. Le régime hydrologique

La similitude des régimes hydrologiques en Guyane Française (G. HIEZ et P. DUBREUIL -1964-) permet de définir celui de la rivière Kourou par référence aux régimes des autres cours d'eau étudiés depuis vingt cinq ans.

Le régime hydrologique est du type équatorial de transition australe. Ainsi sont généralement observées deux saisons de hautes eaux, séparées vers mars par une petite saison sèche, auxquelles succède la grande saison de tarissement. L'irrégularité d'apparition du "petit été de mars" est telle que celui-ci se déplace de la mi-février à la mi-avril et peut manquer certaines années. Au cours de cette saison, la

Tableau III : Débits d'étiage de fréquences variées, observés ou estimés pour le Courcibo à Adieu Vat, la rivière du Kourou à Léodate et l'estuaire du Kourou à Gourdonville. (Les valeurs estimées sont présentées entre parenthèses).

Fréquence	Débit moyen mensuel minimum						
	1976	Moy.		décennal		Min. observ.	
		1	2	1	2	1	2
ADIEU VAT	29,7 (F=0,25)	35,3	-	24,4	-	18,5	-
LEODATE	10,0	(12,3)	(11,9)	(8,5)	(8,2)	(6,4)	(6,2)
GOURDONVILLE	(18,8)	(23,1)	(22,4)	(16,0)	(15,5)	(12,1)	(11,7)

Fréquence	DCE						
	1976	Moy.		décennal		Min. observ.	
		1	2	1	2	1	2
ADIEU VAT	22,8 (F=0,32)	25,7	-	17,2	-	16	-
LEODATE	6,0	(8,9)	(6,2)	(5,8)	(4,5)	5,4	(4,2)
GOURDONVILLE	(11,3)	(16,8)	(12,7)	(11,2)	(8,5)	(10,5)	(7,9)

Fréquence	Débit journalier minimum						
	1976	Moy.		décennal		Min. observ.	
		1	2	1	2	1	2
ADIEU VAT	22,1 (F=0,57)	20,9	-	12,3	-	10	-
LEODATE	5,3	(7,3)	(5,0)	(4,3)	(3,0)	(3,5)	(2,4)
GOURDONVILLE	(10,0)	(13,7)	(9,4)	(8,2)	(5,6)	(6,5)	(4,5)

diminution des débits, qui restent en général supérieurs à ceux de l'étiage annuel, est parfois peu marquée. Le régime présente des caractères de transition prononcés, avec quatre à cinq mois de hautes eaux, d'avril à juillet, les mois de mai, puis de juin, étant toujours les plus abondants. Le tarissement, troublé par des crues secondaires de faible importance, commence en août et conduit à un étiage qui survient généralement d'octobre à la mi-décembre.

Il faut signaler qu'au cours de la présente étude, l'étiage a débuté fin septembre pour se terminer à la mi-novembre.

4.4. Les modules

Le module ou débit moyen pluriannuel à Adieu Vat étant de $95 \text{ m}^3/\text{s}$, ce même débit serait alors, compte-tenu du rapport des superficies des bassins, de $33 \text{ m}^3/\text{s}$ à la station N° VI de la rivière Kourou. Le module ainsi évalué, aux cinq stations de l'estuaire du Kourou, varie d'amont en aval de 54 à $73 \text{ m}^3/\text{s}$, avec notamment une valeur proche de $62 \text{ m}^3/\text{s}$ à Gourdonville.

4.5. Les débits moyens mensuels

Les débits moyens mensuels observés en 1976 dans le Kourou à Léodate et dans le Courcibo à Adieu Vat sont portés dans le tableau ci-dessous avec le rapport de leur valeur.

Stations	S *	O	N	D	J
Léodate	18,7	10,0	12,9	54,8	70,5
Adieu Vat	50,2	29,7	30,2	85,1	(100)
Rapport	0,37	0,34	0,43	0,64	-

* Moyenne du 17 au 30 septembre 1976

Il se confirme que le rapport moyen des débits aux deux stations, pendant l'étiage, du 17 septembre au 20 novembre 1976, avec 0,34, est peu différent de 0,35 correspondant au rapport des superficies des bassins.

En 1976, le débit moyen mensuel à Gourdonville est estimé à $35 \text{ m}^3/\text{s}$ en septembre, $19 \text{ m}^3/\text{s}$ en octobre, $23 \text{ m}^3/\text{s}$ en novembre et $103 \text{ m}^3/\text{s}$ en décembre. Cette même année, la fréquence du débit moyen mensuel minimum survenu à Adieu Vat est de 0,25. Une fréquence analogue peut être retenue pour le débit moyen mensuel minimum mesuré la même année dans le Kourou.

Les débits moyens mensuels minimums à Gourdonville, évalués par les méthodes 1 et 2 (cf. §. 4.2.) sont sensiblement identiques. La valeur moyenne pluriannuelle est de $23 \text{ m}^3/\text{s}$, celle de fréquence décennale de $16 \text{ m}^3/\text{s}$ et le minimum absolu (sur 13 ans) de $12 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le débit moyen pluriannuel des mois d'étiage peut être évalué à Gourdonville à $25 \text{ m}^3/\text{s}$ en octobre et à $27 \text{ m}^3/\text{s}$ en novembre.

Il est également à signaler que la fréquence d'apparition du débit moyen mensuel minimum est de 0,5 en octobre, 0,4 en novembre et de 0,1 en mars.

4.6. Débits caractéristiques d'étiage et débits journaliers minimums

Le débit caractéristique d'étiage (DCE), de $6,0 \text{ m}^3/\text{s}$, et le débit journalier minimum, de $5,3 \text{ m}^3/\text{s}$, tels qu'ils ont été mesurés dans la rivière Kourou à Léodate en 1976, correspondent dans l'estuaire, à Gourdonville, à des valeurs de $11,3$ et $10,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

L'estimation des débits d'étiage de fréquence déterminées dans l'estuaire du Kourou, est basée sur les 24 années de résultats (1953-1976) obtenus à Adieu Vat. A cette station de référence, la distribution des débits journaliers minimums et des DCE a été ajustée à la loi de Gauss (fig. 8), permettant ainsi d'attribuer des fréquences de 0,32 au DCE et de 0,57 au débit journalier minimum du Courcibo en 1976.

Le débit caractéristique d'étiage (DCE), à la station de Gourdonville, selon les deux méthodes d'évaluation utilisées (cf. §. 4.2.) serait en moyenne de 13 à $17 \text{ m}^3/\text{s}$. Le DCE de fréquence décennale et le DCE minimum absolu (sur 13 ans) seraient respectivement compris entre $8,5$ et $11 \text{ m}^3/\text{s}$, et 8 et $10,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le débit journalier minimum, à Gourdonville, est de même estimé entre $9,4$ et $13,7 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la moyenne, entre $5,6$ et $8,2 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la fréquence décennale, et entre $4,5$ et $6,5 \text{ m}^3/\text{s}$ pour le minimum absolu.

4.7. Conclusion sur les possibilités quantitatives d'alimentation en eaux

Pour une usine produisant 800 tonnes de pâte de bois par jour, les besoins en eaux s'élèvent à $62 \text{ m}^3/\text{t}$ pour le traitement du bois et à $75 \text{ m}^3/\text{t}$ pour les circuits de refroidissement. La consommation totale d'eau atteint ainsi $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

Comparés aux possibilités offertes par l'apport fluvial à l'estuaire du Kourou à Gourdonville, ces besoins

représenteraient 6% du débit moyen mensuel minimum évalué sur plusieurs années ($23 \text{ m}^3/\text{s}$), 8% du débit moyen mensuel minimum de fréquence décennale ($16 \text{ m}^3/\text{s}$), 8 à 10% du DCE moyen pluriannuel (13 à $17 \text{ m}^3/\text{s}$), et 12 à 15% du DCE de fréquence décennale ($8,5$ à $11 \text{ m}^3/\text{s}$).

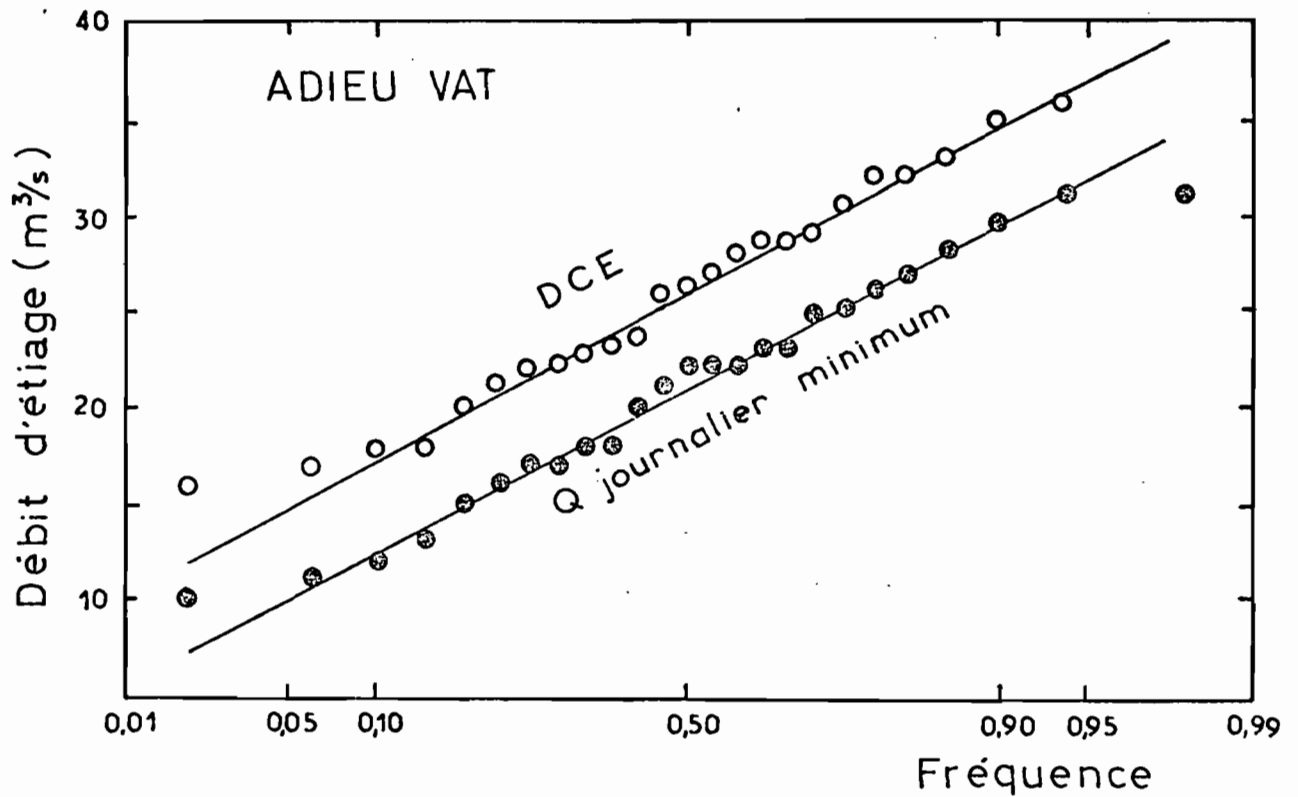


Fig. 8 : Le Courcibo à Adieu Vat. Ajustement des débits caractéristiques d'étiage (DCE) et des débits journaliers minimums à une loi de Gauss.

5. DYNAMIQUE DES EAUX ET EVALUATION DES RISQUES DE POLLUTION DANS L'ESTUAIRE DU KOUROU

5.1. MODE D'EGOULEMENT ET INCIDENCE SUR LE RISQUE DE POLLUTION

Les mesures effectuées à l'aide de moulinets aux stations d'observation confirment que les eaux du fond se déplacent moins rapidement que celles de surface ; la répartition des vitesses longitudinales sur une verticale est généralement de forme parabolique (fig. 5). Cependant, fréquemment, ces vitesses peuvent demeurer quasi constantes sur une grande profondeur en dessous de la surface. Un exemple de la variation des vitesses mesurées à différentes profondeurs, au milieu de la section, pendant une période de marée, est illustrée sur la figure 9.

Cette variation verticale des vitesses longitudinales se réalise sous l'influence :

- du frottement sur le fond ;
- de la morphologie du fond à proximité de la verticale de mesure ;
- de la densité des eaux essentiellement fonction des salinités, des teneurs en matières en suspension et de la température qui sont elles-mêmes stratifiées ;
- du frottement des vents à la surface des eaux. De secteur NE à SE, les Alizées doivent freiner le jusant et accélérer le flot. L'intensité de cette force est probablement supérieure au cours du jusant en raison du plus grand impact sur la houle que créent les vents de sens opposé au courant.

Les mesures au moulinet aussi bien que les observations de flotteurs dérivants montrent que les vitesses de surface, en bordure des rives, sont généralement peu différentes de celles qui sont observées au milieu de l'estuaire. Elles peuvent être aussi bien légèrement inférieures que supérieures mais, sur un long parcours, ces écarts tendent à se compenser.

Il est observé par ailleurs que des flotteurs dont une partie est immergée à deux mètres de profondeur n'empruntent pas des trajets significativement différents des flotteurs de surface.

Il existe, en surface, une traînée longitudinale, de un à plusieurs mètres de largeur, qui, non seulement présente un reflet différent des eaux environnantes, mais aussi rassemble une grande diversité de produits flottés allant de l'écume, aux feuilles mortes jusqu'aux troncs d'arbres. Cette traînée dessine un tracé assez sinueux, si bien qu'après avoir occupé sur quelques centaines de mètres ou kilomètres le milieu de l'estuaire, elle peut se rapprocher d'une rive, et même y disparaître totalement dans les racines de palétuviers, puis réapparaître plus loin.

Par ailleurs, des flotteurs, lâchés simultanément des deux bords de la section, tendent à converger pour rejoindre la traînée longitudinale où ils poursuivent leur dérive. Ces observations mettent en évidence l'existence d'une composante transversale de la vitesse qui en surface est dirigée vers la traînée, laquelle marque ainsi le front de convergence des courants où ceux-ci portent vers le fond. On en déduit qu'il doit exister en profondeur une composante transversale dirigée en sens inverse de celle de surface, sans pouvoir cependant préciser cette profondeur.

Le système de circulation serait ainsi fréquemment constitué de deux cellules de convection de dimensions relatives variables. Toutefois, lorsque l'estuaire s'élargit, plusieurs cellules et fronts de convergence peuvent être identifiés.

De tels mouvements, qui doivent grandement favoriser les mélanges entre les eaux de surface et celles de profondeur, augmenteraient, dans l'hypothèse de rejets abondants de déchets légers, le risque de pollution des rives. En effet, de nombreux débris flottés peuvent demeurer rassemblés en surface au sein du front de convergence car la force composante verticale du courant y est insuffisante pour les entraîner en profondeur.

Souvent, après ou dans un méandre, une cellule de convection disparaît au profit d'une autre ; la traînée longe alors la rive et sa largeur diminue considérablement. Les débris sont ainsi déposés sur la rive et sur la végétation ripicole, en particulier dans l'enchevêtrement des racines de palétuviers. Par ailleurs, la localisation du front de convergence en un site varie avec la vitesse et le sens d'écoulement des eaux ainsi qu'avec la force et la direction des vents. Au cours d'une marée, le front peut balayer l'ensemble de la section et les courants transversaux peuvent reprendre alors une partie des débris antérieurement abandonnés sur les rives à un niveau inférieur.

Il est donc important de prendre en considération ces systèmes de circulation transversale car ils détermineront en grande partie le devenir des déchets flottés que pourrait rejeter l'usine.

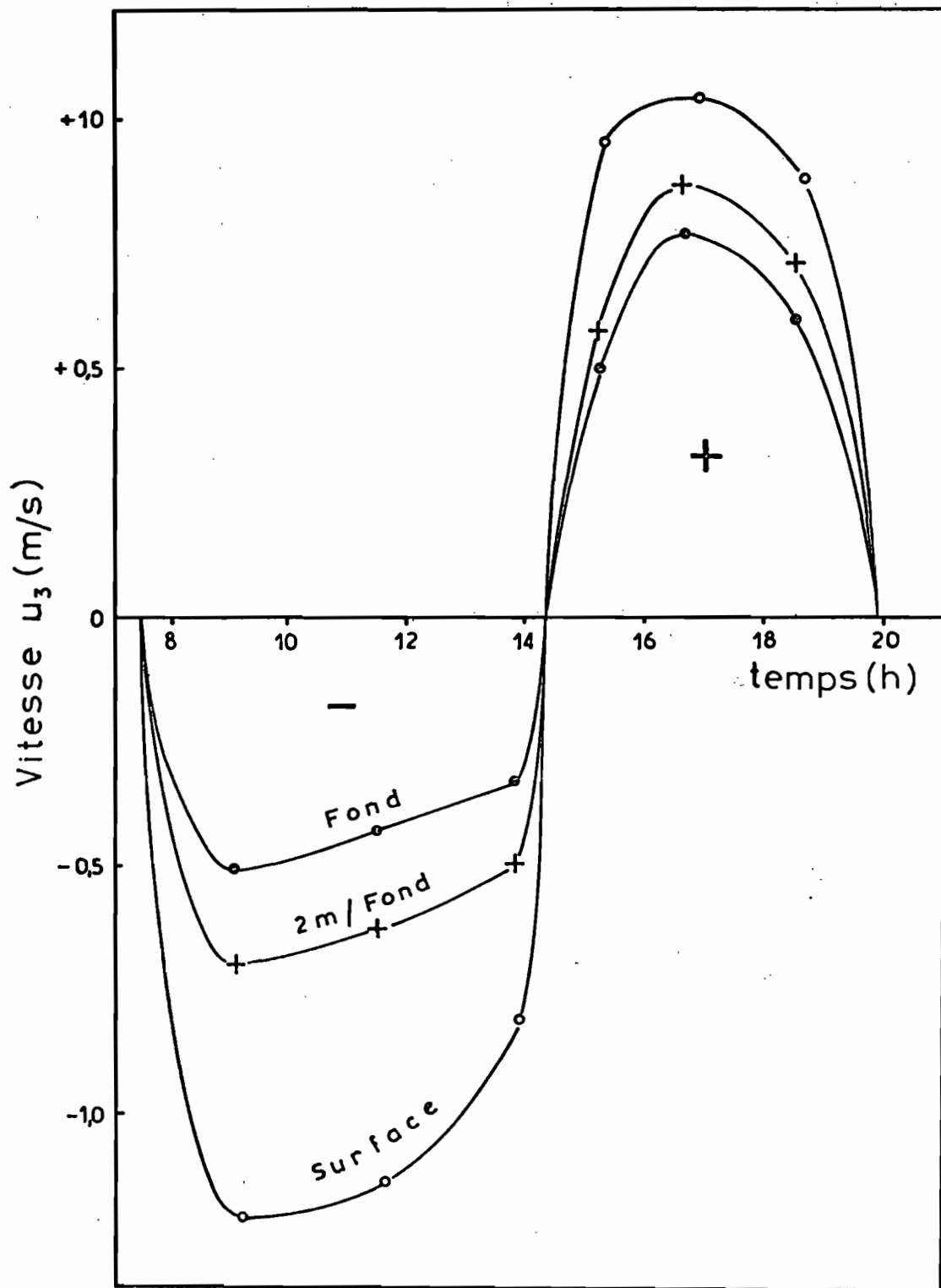


Fig. 9 : Exemple de la variation des vitesses au milieu de la section au cours d'une période de marée dans l'estuaire du Kourou à la station des Pères.



Dans l'estuaire, de tels déchets seraient déportés sur les rives où ils se déposeraient, piégés plus ou moins efficacement par la végétation, jusqu'à ce que la composante du courant, souvent à l'occasion d'une inversion du courant longitudinal, vienne dans la direction susceptible de les libérer. La figure 10 illustre schématiquement différents cas de dépôt et d'évacuation de corps flottés sur les rives. Il est à souligner que le stockage sur les rives au cours des jusants, avec reprises successives pendant les flots, pourrait entraîner une dérive importante des débris vers l'amont. Ainsi, des bouteilles lâchées à la confluence de la crique des Pères ont été aperçues une dizaine de jours plus tard, entre Gourdonville et Saramaca (soit 25 de km en amont) alors que la dérive maximale de flot au cours d'une période de forte marée ne dépasse pas 17 km (voir §. 5.3.5.).

5.2. VITESSES D'ÉCOULEMENT

5.2.1. Vitesses maximales et moyennes mesurées aux moulinets

Le tableau IV résume les résultats des vitesses mesurées avec des moulinets aux différentes stations de l'estuaire :

$u_3 \text{ max}$: vitesse maximale du flot (+) et du jusant (-) au milieu de la section (verticale 3), 10 cm en dessous de la surface (s) et 35 cm au-dessus du fond (f), estimée sur la courbe $u_3 = f(t)$ tracée d'après les mesures effectuées au cours des périodes de marée (fig. 10).

\bar{u}_3 : vitesse moyenne au cours du flot et du jusant au milieu de la section (verticale 3), 10 cm en dessous de la surface (s) et 35 cm au-dessus du fond (f), estimée après planimétrage de la courbe $u_3 = f(t)$ tel que $\bar{u}_3^\pm = \frac{1}{t^\pm} \int_0^{t^\pm} u_3^\pm dt$

\bar{u} : vitesse moyenne au cours du flot et du jusant à travers toute la section d'après l'ensemble des vitesses mesurées, tel que $\bar{u}^\pm = V^\pm / \bar{A}_{t^\pm} = \bar{Q}^\pm / \bar{A}^\pm$.

Selon les coefficients de marée, les vitesses maximales de surface ($u_3 \text{ max}$) ont varié entre 0,35 et 1,25 m/s et les vitesses moyennes (\bar{u}) entre 0,30 et 0,80 m/s.

L'accroissement des vitesses maximales et moyennes, de flot et de jusant, est lié à celui du coefficient de marée.

Tant en surface qu'en profondeur, les vitesses maximales sont généralement plus fortes au jusant car les eaux fluviales, bloquées pendant le flot, s'écoulent alors vers l'aval. Toutefois, cette caractéristique n'apparaît pas aussi systématique pour les vitesses moyennes.

Les vitesses maximales croissent vers l'aval. Par

Tableau IV : Vitesses d'écoulement (m/s) maximales et moyennes du flot (+) et du jusant (-) mesurées dans l'estuaire du Kourou.

GUATEMALA I											
N°	Date	Coeff.		Qf m ³ /s	s f	u ₃ max		ū ₃		ū	
		+	-			+	-	+	-		
A	24-9	111	109	33,8	s	1,08	1,10	0,76	0,87	0,64	0,60
					f	0,66	0,66	0,43	0,43		
B	30-9	57	54	40,7	s	0,55	0,81	0,38	0,50	0,42	0,38
					f	0,48	0,17	0,28	0,11		
C	7-10	86	83	26,7	s	1,18	1,25	0,74	0,93	0,49	0,62
					f	0,33	0,59	0,22	0,35		
D	23-10	112	109	17,5	s	1,24	1,24	1,04	0,96	0,63	0,73
					f	0,69	0,69	0,41	0,51		
E	29-10	58	53	15,6	s	0,68	0,87	0,50	0,47	0,37	0,33
					f	0,25	0,31	0,14	0,21		
F	6-11	82	80	12,8	s	1,14	1,20	0,74	0,82	0,46	0,47
					f	0,57	0,71	0,34	0,41		

PERES II															
N°	Date	Coeff.		Qf m ³ /s	s f	u ₃ max		ū ₃		ū		ū Flotteur		u max flotteur	
		+	-			+	-	+	-	+	-	+	-		
A	25-9	114	114	27,6	s	0,87	1,12	0,76	0,92	0,73	0,63				
					f	0,83	0,37	0,54	0,29						
B	1-10	47	45	55,7	s	0,47	0,83	0,26	0,62	0,43	0,46				
					f	0,51	0,47	0,31	0,34						
C	8-10	88	87	22,3	s	0,89	1,13	0,71	0,80	0,63	0,56	0,60		0,60	
					f	0,72	0,33	0,52	0,26			0,82	1,05		
D	24-10	113	113	15,3	s	1,04	1,21	0,85	1,02	0,77	0,62	0,70		0,81	1,05
					f	0,77	0,51	0,54	0,40			1,07	1,05		
E	30-10	48	46	13,9	s	0,71	1,00	0,48	0,66	0,44	0,41	0,42		0,68	
					f	0,62	0,38	0,40	0,27						
F	7-11	83	83	11,3	s	0,85	1,08	0,66	0,84	0,58	0,53	0,50		0,98	
					f	0,64	0,64	0,54	0,32			0,72	1,15		
G	15-11	47	-	11,4								0,42		1,07	
H	22-11	-	107	21,0											
	23-11	104	-	25,2								0,64		0,66	

SOCOUMOU III									
N°	Date	Coeff.		Qf m ³ /s	s f	u ₃ max		ū ₃	
		+	-			+	-	+	-
A	25-9	114	114	27,3	s	0,86	0,72	0,67	0,61
					f	0,33	0,45	0,21	0,36
B	1-10	47	45	55,0	s	0,58	0,61	0,45	0,41
					f	0,19	0,43	0,14	0,31
C	8-10	88	87	22,0	s	0,79	0,73	0,59	0,60
					f	0,31	0,46	0,23	0,38
D	24-10	113	113	15,1	s	0,87	0,87	0,68	0,69
					f	0,39	0,40	0,27	0,30
E	30-10	48	46	13,8	s	0,67	0,64	0,40	0,52
					f	0,23	0,38	0,15	0,29
F	7-11	83	83	11,2	s	0,76	0,79	0,58	0,53
					f	0,31	0,43	0,21	0,25

Tableau IV (suite) : Vitesses d'écoulement (m/s) maximales et moyennes du flot (+) et du jusant (-) mesurées dans l'estuaire du Kourou.

GOURDONVILLE IV

N°	Date	Coeff.		Qf m ³ /s	s f	u ₃ max		\bar{u}_3		\bar{u}	
		+	-			+	-	+	-	+	-
A	26-9	112	109	25,2	s	0,79	0,68	0,60	0,61	0,49	0,47
					f	0,38	0,54	0,23	0,42		
B	2-10	46	45	31,5	s	0,55	0,62	0,41	0,43	0,31	0,38
					f	0,20	0,42	0,16	0,28		
C	9-10	88	88	20,6	s	0,74	0,61	0,60	0,54	0,45	0,45
					f	0,28	0,41	0,25	0,34		
D	25-10	111	107	14,1	s	0,79	0,66	0,65	0,59	0,51	0,47
					f	0,38	0,47	0,31	0,40		
E	31-10	46	46	12,8	s	0,64	0,57	0,42	0,44	0,35	0,36
					f	0,32	0,46	0,22	0,30		
F	8-11	83	82	11,0	s	0,79	0,62	0,56	0,51	0,44	0,42
					f	0,36	0,39	0,26	0,30		

SARAMACA V

N°	Date	Coeff.		Qf m ³ /s	s f	u ₃ max		\bar{u}_3	
		+	-			+	-	+	-
A	26-9	112	109	22,1	s	0,48	0,52	0,36	0,47
					f	0,36	0,45	0,25	0,38
B	2-10	46	45	27,5	s	0,35	0,49	0,25	0,36
					f	0,25	0,43	0,18	0,31
C	9-10	88	88	18,0	s	0,49	0,54	0,41	0,44
					f	0,39	0,44	0,27	0,36
D	26-10	111	107	12,1	s	0,56	0,55	0,41	0,44
					f	0,43	0,44	0,28	0,34
E	31-10	46	46	11,2	s	0,42	0,47	0,31	0,38
					f	0,33	0,36	0,23	0,28
F	8-11	83	82	9,6	s	0,54	0,49	0,37	0,37
					f	0,42	0,43	0,29	0,33

CRIQUE OUAYABO

N°	Date	Coeff.	Qf m ³ /s	s f	\bar{u} flotteur	u max flotteur crique des Pères	u max flotteur E. Kourou
D	23-10	112	17,5	s	0,76	0,97	0,84
F	6-11	82	12,8	s	0,56	0,64	0,64
G	14-11	47	12,6	s	0,28	0,34	-
H	21-11	105	21,0	s	0,76	0,99	0,99

contre, l'évolution longitudinale des vitesses moyennes apparaît moins nette. Les valeurs à Guat mala et aux Pères sont peu différentes les unes des autres mais supérieures à celles qui ont été estimées à Gourdonville.

Les vitesses maximales sont atteintes 1 à 3 heures après l'inversion du courant, souvent plus tôt pour le jusant que pour le flot.

5.2.2. Vitesses maximales et moyennes des dérives de flotteurs

Les vitesses de dérives ont été mesurées aux flotteurs au cours du flot, dès l'inversion du courant à marée basse, et au cours du jusant dès l'inversion du courant à marée haute. Trois cas ont été ainsi observés :

- Dérives de flot dans le Kourou depuis le confluent de la crique des Pères ;

- Dérives de jusant dans la crique des Pères et dans le Kourou depuis le confluent de la crique Ouayabo ;

- Dérives de jusant dans le Kourou depuis le confluent de la crique des Pères.

La courbe de dérive en fonction du temps (fig. 11 à 13) permet d'estimer la vitesse du courant sur un parcours déterminé. La courbe présente un tracé en S. En moyenne 1 à 1h30 après l'inversion, la vitesse, alors maximale, devient constante puis diminue une à plusieurs heures avant l'inversion suivante.

Le tableau IV présente les valeurs des vitesses moyennes et maximales de ces dérives, mesurées sur les parcours précédents pour différents coefficients de marée et débits fluviaux amont.

Au cours de la dérive aval depuis le confluent de la crique des Pères, les vitesses maximales sont comprises entre 1,05 et 1,20 m/s pour des coefficients de marée variant de 82 à 107. Ces vitesses maximales mesurées aux mêmes points 2 à 3 heures plus tard, après dérive dans la crique des Pères, sont échelonnées entre 0,65 et 1,00 m/s. Elles apparaissent donc inférieures aux premières.

Les vitesses maximales vers l'amont, à partir du confluent de la crique des Pères, varient entre 0,60 et 1,07 m/s pour des coefficients de 46 à 113. A coefficient égal, la dérive amont est plus lente que la dérive aval.

Les vitesses moyennes tendent également à augmenter avec le coefficient de marée (tableau IV).

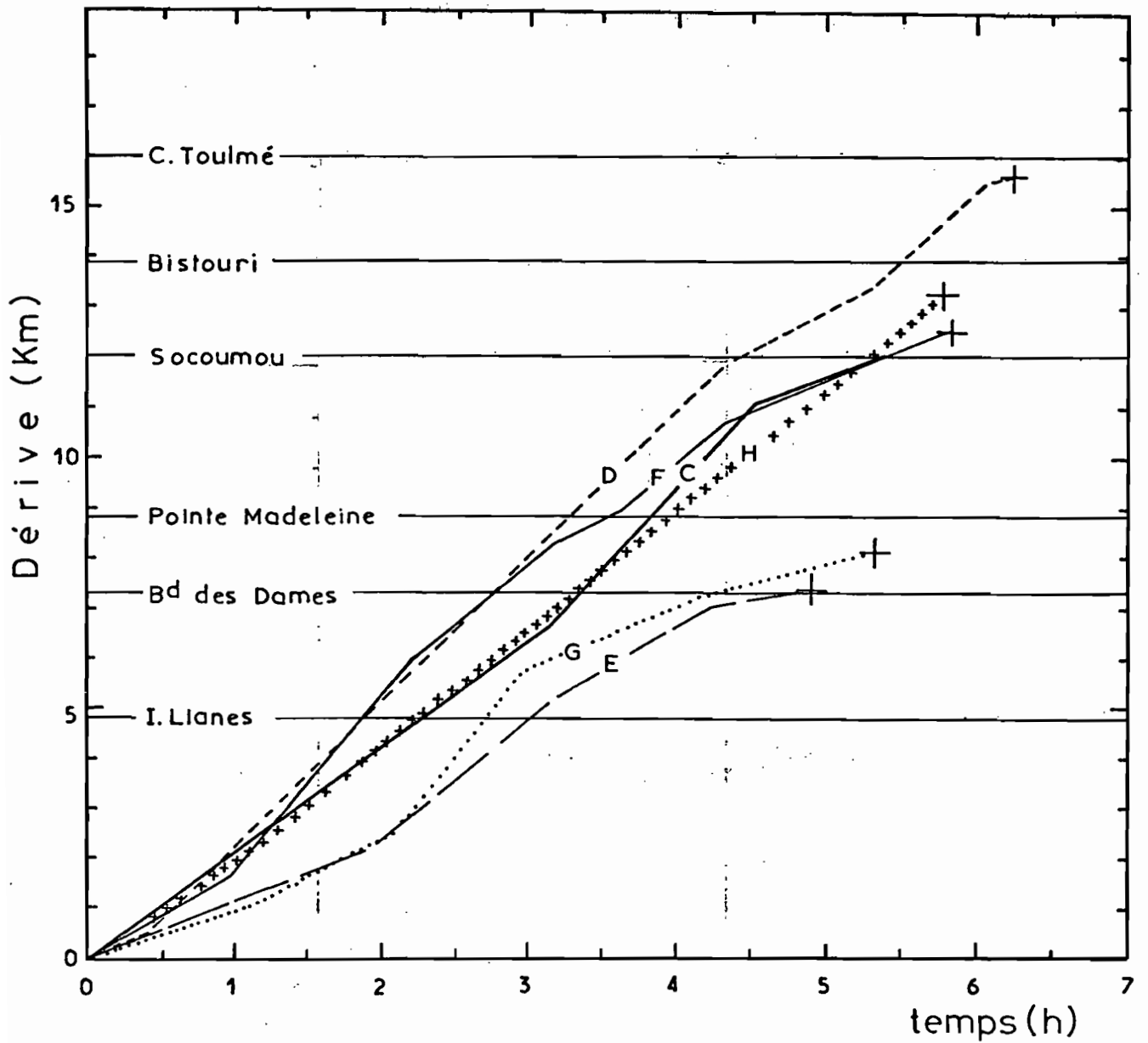


Fig. 11 : Dérives amont de flotteurs dans l'estuaire du Kourou depuis la confluence de la crique Ouayabo, au cours de différentes marées (cf. tableaux IV et V).

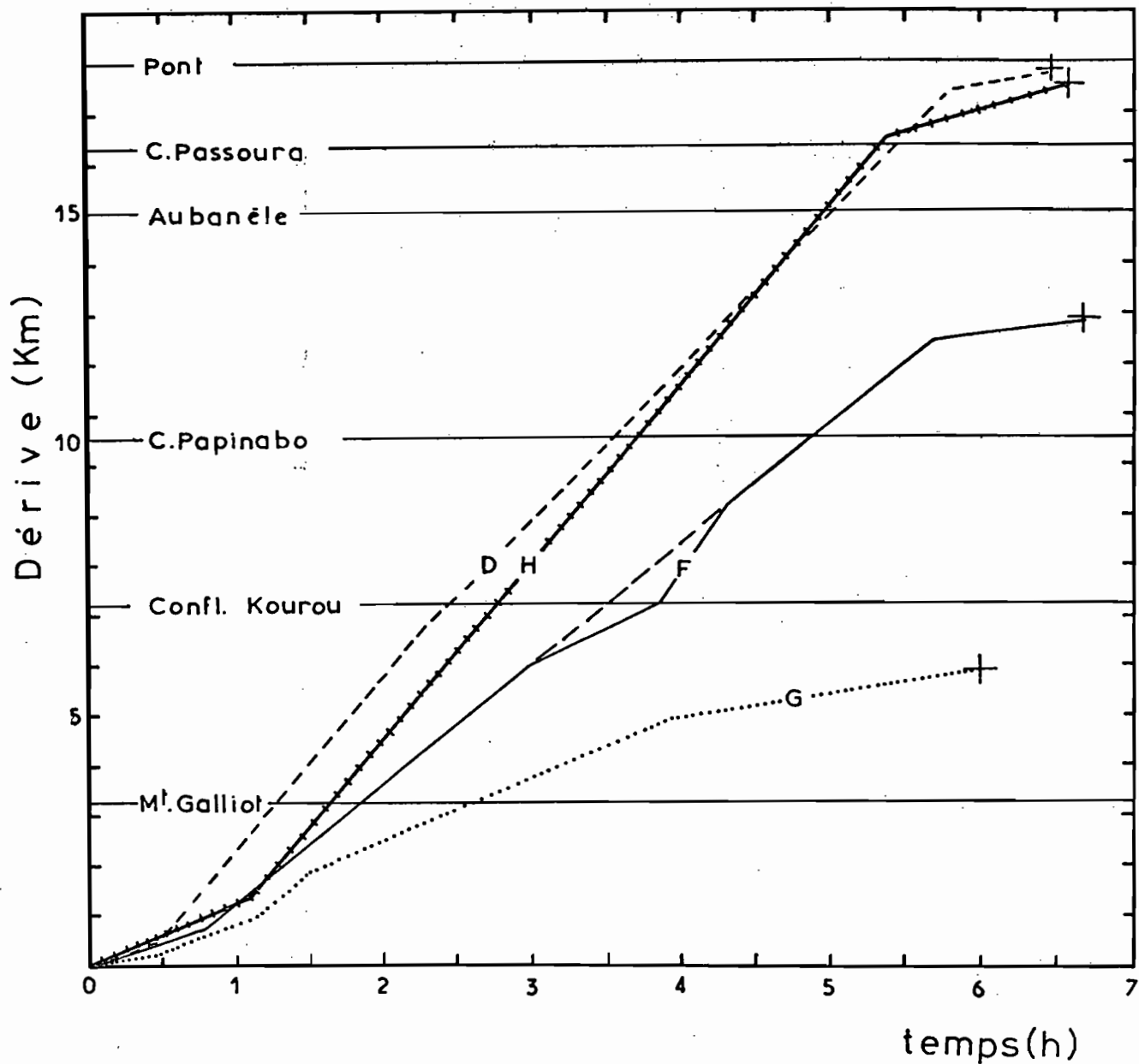


Fig. 12 : Dérives aval de flotteurs dans la crique des Pères puis l'estuaire du Kourou depuis la confluence de la crique Ouayabo (cf. tableaux IV et V).

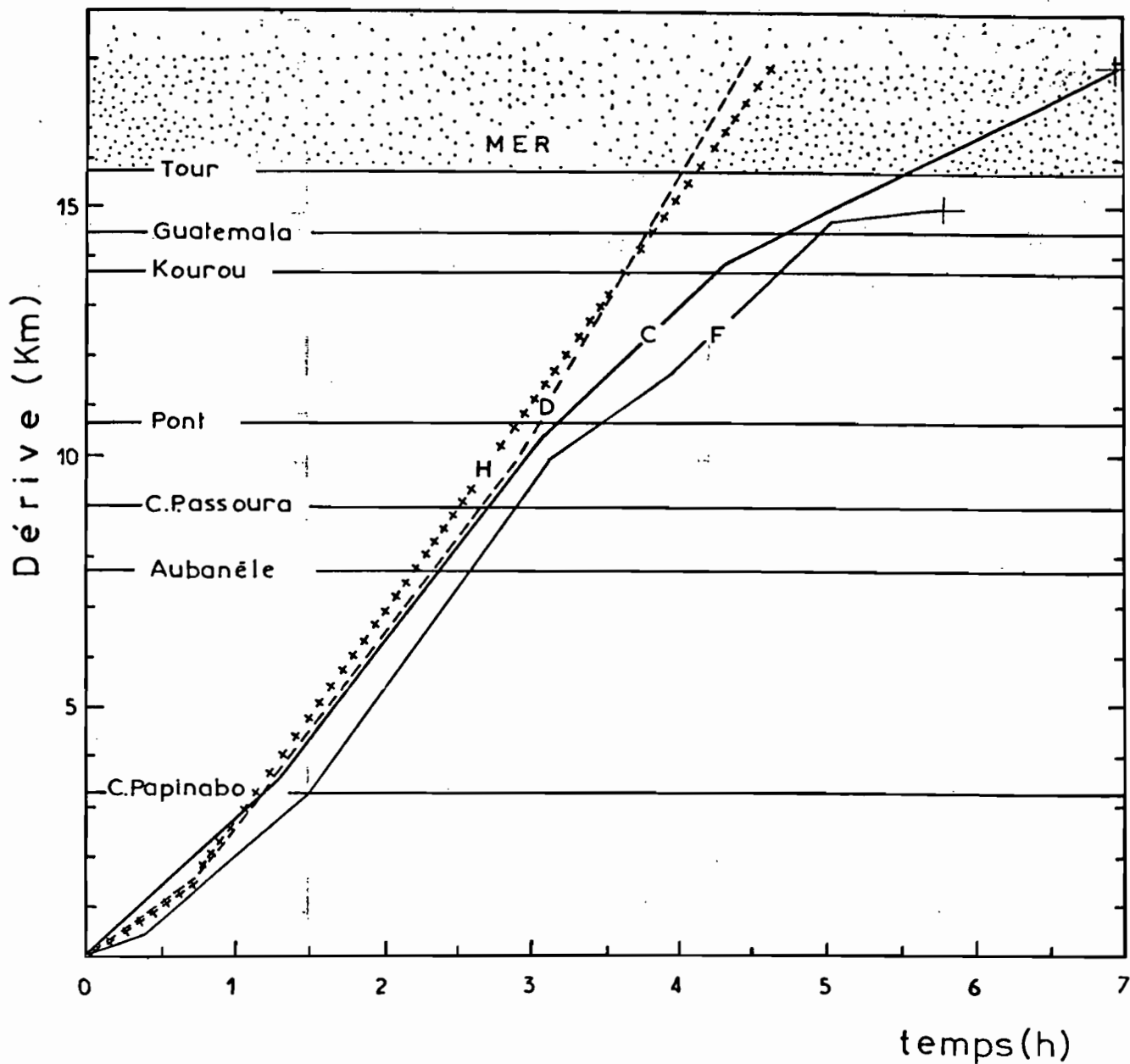


Fig. 13 : Dérives aval de flotteurs dans l'estuaire du Kourou depuis la confluence de la crique des Pères en direction de la mer, au cours de différentes marées (cf. tableaux IV et V).

La vitesse moyenne la plus élevée, de 1,07 m/s, a été mesurée entre le confluent de la crique des Pères et la mer pour un débit fluvial estimé à 14,7 m³/s, et un coefficient de marée de 107. Par contre, la vitesse moyenne minimale, n'a atteint que 0,28 m/s dans la crique des Pères, pour un coefficient de 47. Il faut toutefois remarquer que les temps de dérive varient selon les marées et les parcours pris en considération.

5.3. DERIVES DES POLLUANTS AU COURS D'UNE PERIODE DE MAREE

5.3.1. Les différents types de dérives étudiés

Trois types de dérives ont été pris en considération (cf. §. méthodes 2.1.1.) :

$$\Delta x_3 = \int_0^t u_3 dt : \text{dérive de surface ou de fond, estimée}$$

au milieu de la section à la verticale 3. La valeur ainsi établie ne peut être qu'une valeur approchée car l'expression mathématique implique que la vitesse ne varie pas longitudinalement et, que la durée du jusant à la section de mesure soit égale à la durée de la dérive depuis la section.

$\overline{\Delta x} = \bar{V} / \bar{A}$: dérive estimée à travers toute la section. Elle représente la dérive du front moyen du volume oscillant depuis la section, mais n'est également qu'une valeur approchée car les deux paramètres, volume oscillant et section moyenne, varient longitudinalement.

Δx : dérive d'un flotteur de surface. Compte-tenu de la méthode employée, elle équivaut sensiblement à la dérive maximale atteinte par des éléments dissous ou en suspension.

Les résultats obtenus aux différents sites de l'estuaire sont reportés dans le tableau V.

5.3.2. Relations dérive - coefficient de marée - débit fluvial

La dérive de flot et de jusant augmente avec le coefficient de marée. Lorsque le débit fluvial amont diminue, à coefficients de marée égaux, la dérive de flot croît car elle rencontre une opposition moindre, alors que celle du jusant décroît.

Ce phénomène est illustré sur la figure 14 par la relation établie à chaque site entre la dérive correspondant à un débit fluvial donné et le coefficient de marée. Cette relation s'ajuste à la forme linéaire. Pour chaque point représentatif d'une campagne de mesure, une correction de l'écart à la droite a été effectuée en fonction du débit fluvial sur la base d'une relation moyenne. Cette relation écart de la dérive - débit fluvial, tracée sur la figure 14, est également une droite. Cette forme toutefois est peut-être limitée à

Tableau V : Dérives (km) de flot (+) et jusant (-) mesurées dans l'estuaire du Kourou au cours de différentes marées.

GUATEMALA I

N°	Date	Coeff.		Qf m ³ /s	s f	Δx_3		$\Delta \bar{x}$	
		+	-			+	-	+	-
A	24-9	111	109	33,8	s	16,5	22,1	13,7	15,1
					f	9,2	10,8		
B	30-9	57	54	40,7	s	7,1	12,5	7,9	9,4
					f	5,3	2,7		
C	7-10	86	83	26,7	s	15,9	20,9	11,4	12,8
					f	4,7	7,9		
D	23-10	112	109	17,5	s	20,0	21,0	14,1	13,8
					f	7,9	11,0		
E	29-10	58	53	15,6	s	10,1	10,6	8,1	7,2
					f	2,8	4,7		
F	6-11	82	80	12,8	s	15,7	18,5	10,3	10,0
					f	7,2	9,1		

PERES II

N°	Date	Coeff.		Qf m ³ /s	s f	Δx_3		$\Delta \bar{x}$		Δx flotteur	
		+	-			+	-	+	-	+	-
A	25-9	114	114	27,6	s	14,3	23,6	14,0	16,0	-	-
					f	10,3	7,5				
B	1-10	47	45	55,7	s	5,1	15,2	8,0	11,3	-	-
					f	6,0	8,4				
C	8-10	88	87	22,3	s	13,8	20,3	12,3	14,0	12,3	-
					f	10,2	6,5				
D	24-10	113	113	15,3	s	16,9	25,2	15,0	15,3	15,6	(16,0)
					f	10,7	9,8				
E	30-10	48	46	13,9	s	9,1	16,1	9,0	9,5	7,4	-
					f	7,8	6,7				
F	7-11	83	83	11,3	s	13,4	20,0	11,8	12,7	12,5	-
					f	10,9	7,7				
G	8-11	47	-	11,4	s	-	-	-	-	8,1	-
H	22-11	-	107	21,0	s	-	-	-	-	-	-
	23-11	104	-	25,2	s	-	-	-	-	-	>15,7

SOCOMOU III

N°	Date	Coeff.		Qf m ³ /s	s f	Δx_3		$\Delta \bar{x}$	
		+	-			+	-	+	-
A	25-9	114	114	27,3	s	14,4	14,1		
					f	4,5	8,4		
B	1-10	47	45	55,0	s	8,4	10,4		
					f	2,6	8,0		
C	8-10	88	87	22,0	s	11,8	14,8		
					f	4,6	9,4		
D	9-10	113	113	15,1	s	13,4	17,0		14,0
					f	5,4	7,5		
E	30-10	48	46	13,8	s	8,9	11,6		
					f	3,4	6,3		
F	7-11	83	83	11,2	s	10,8	12,8		
					f	4,0	5,9		

Tableau V (suite) : Dérives (km) de flot (+) et jusant (-) mesurées dans l'estuaire du Kourou au cours de différentes marées.

GOURDONVILLE IV

N°	Date	Coeff.		Qf m ³ /s	s f	Δx ₃		Δx̄	
		+	-			+	-	+	-
A	26-9	112	109	25,2	s	12,9	13,2	10,7	10,7
					f	5,0	9,7		
B	2-10	46	45	31,5	s	8,4	10,8	6,2	9,8
					f	3,3	7,0		
C	9-10	88	88	20,6	s	11,9	12,8	9,1	10,8
					f	4,9	8,0		
D	25-10	111	107	14,1	s	12,8	13,7	9,9	11,1
					f	6,1	9,3		
E	31-10	46	46	12,8	s	9,2	10,1	7,6	8,5
					f	4,7	6,8		
F	8-11	83	82	11,0	s	11,4	11,0	9,0	9,2
					f	5,2	6,6		

SARAMACA V

N°	Date	Coeff.		Qf m ³ /s	s f	Δx ₃	
		+	-			+	-
A	26-9	112	109	22,1	s	7,1	11,4
					f	5,0	9,2
B	2-10	46	45	27,5	s	4,8	9,2
					f	3,4	8,0
C	9-10	88	88	18,0	s	8,5	10,4
					f	5,7	8,6
D	26-10	111	107	12,1	s	8,2	10,9
					f	5,7	8,5
E	31-10	46	46	11,2	s	6,8	8,4
					f	5,2	6,2
F	8-11	83	82	9,6	s	7,6	8,8
					f	5,9	7,8

CRIQUE QUAYABO

N°	Date	Coeff.		Qf m ³ /s	s f	Δx
		-	-			-
D	23-10	112	17,5	s	17,7	
F	6-11	82	12,8	s	12,8	
G	14-11	47	12,6	s	5,8	
H	21-11	105	21,0	s	18,1	

l'intervalle des débits d'étiage pris en considération.

Le débit de référence choisi pour la première relation, compris entre 10 et 13 m³/s selon les stations, est le plus faible survenu en 1977 aux sites de mesure.

Toutefois, la gamme des débits fluviaux étant peu étendue lorsque les campagnes ont été effectuées, il arrive que l'influence de ce paramètre n'apparaisse pas nettement. La relation écart - débit fluvial n'a pas alors été tracée. Dans ce cas, il convient de considérer que la relation dérive - coefficient correspond à la gamme entière des débits fluviaux écoulés au moment des observations.

On remarque que les droites de relations dérive - coefficient, de jusant et de flot, tendent à être parallèles.

Les résultats confirment généralement, qu'à coefficients de marée et débits fluviaux égaux, la dérive de jusant est supérieure à celle de flot. Une exception est cependant relevée à proximité de l'embouchure pour la dérive moyenne $\Delta\bar{x}$, lorsque le coefficient de marée devient supérieur à 60.

5.3.3. Comparaison des résultats relatifs aux différents types de dérives

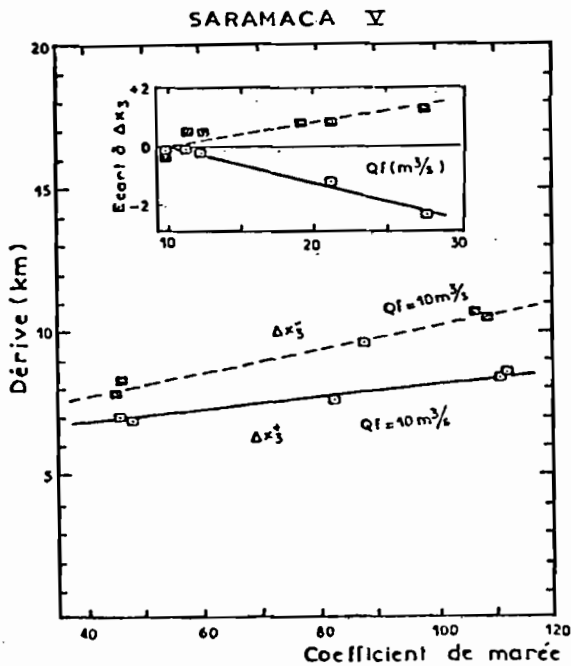
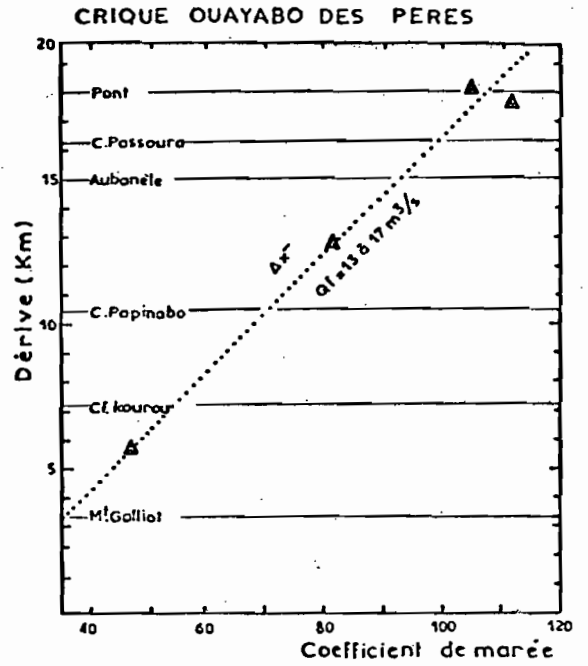
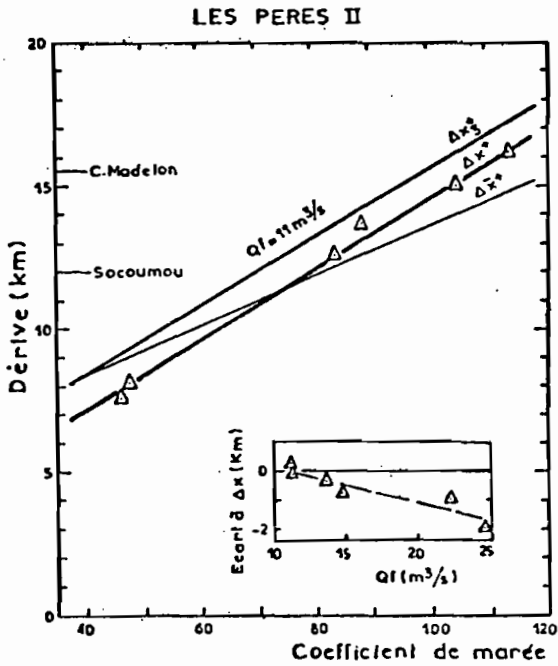
La comparaison des dérives de flotteurs Δx , et des dérives Δx_3 de surface et $\Delta\bar{x}$, estimées sur la base des mesures au moulinet, peut être faite en plusieurs sites (fig. 14 et tableau V).

La valeur Δx_3 , obtenue par intégration des vitesses de surface au milieu de la section, apparaît toujours plus grande que la dérive moyenne $\Delta\bar{x}$ du front oscillant, les vitesses d'écoulement étant plus élevées en surface qu'en profondeur.

Lors du jusant, une dérive Δx^- , observée depuis Socounou pour un coefficient de 88, correspond exactement à la valeur Δx_3^- . Deux dérives Δx , depuis les Pères, pour des coefficients de l'ordre de 85, se révèlent plus courtes que les valeurs Δx_3^- correspondantes mais plus longues que les dérives Δx^- . Par contre, pour des coefficients supérieurs à 110, deux dérives de flotteur à partir de cette station semblent peu différentes des dérives Δx_3^+ , bien qu'elles n'aient pu être observées au-delà de l'embouchure.

Les relations dérive de flot - coefficient - débit ont pu être tracées pour les trois types de dérives (fig. 14). On constate ainsi que les droites représentatives de Δx^+ et Δx_3^+ sont parallèles, la dérive mesurée au moulinet en surface étant supérieure à la seconde de 1,0 km. Pour les marées à coefficient inférieur à 80, la dérive Δx^+ apparaît plus courte que la dérive $\Delta\bar{x}^+$ mais l'écart entre les deux valeurs demeure inférieur à 1,5 km.

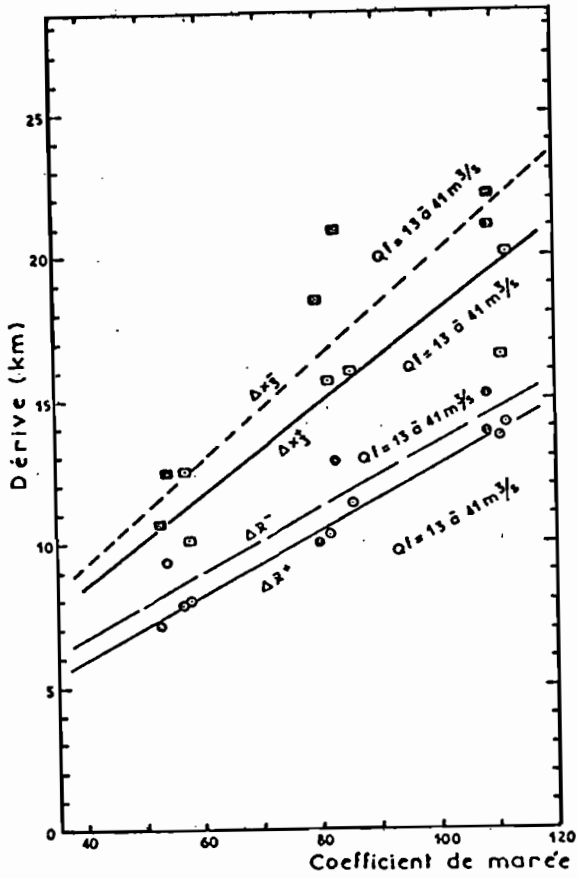
Fig. 14 : Variations des dérives de flot et de jusant en fonction des coefficients de marée et du débit fluvial amont dans l'estuaire du Kourou, d'après les mesures effectuées au moulinet et au flotteur.



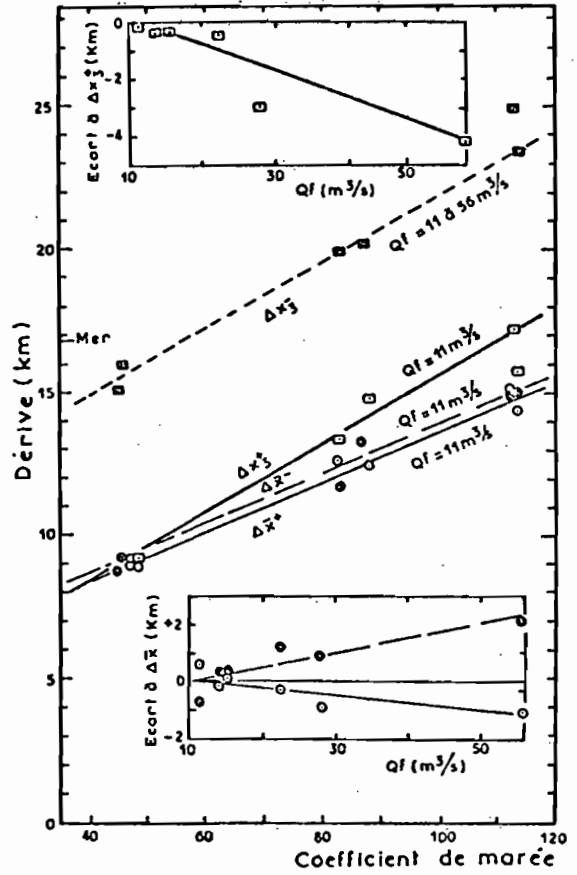
- LEGENDE -

- Jusant $\Delta x_3^- = \int_0^{t^-} u_3 dt$
- Flot $\Delta x_3^+ = \int_0^{t^+} u_3 dt$
- Jusant $\Delta \bar{x}^- = v^- / \bar{A}^-$
- Flot $\Delta \bar{x}^+ = v^+ / \bar{A}^+$
- Jusant Δx^- : Flotteur
- Flot Δx^+ : Flotteur

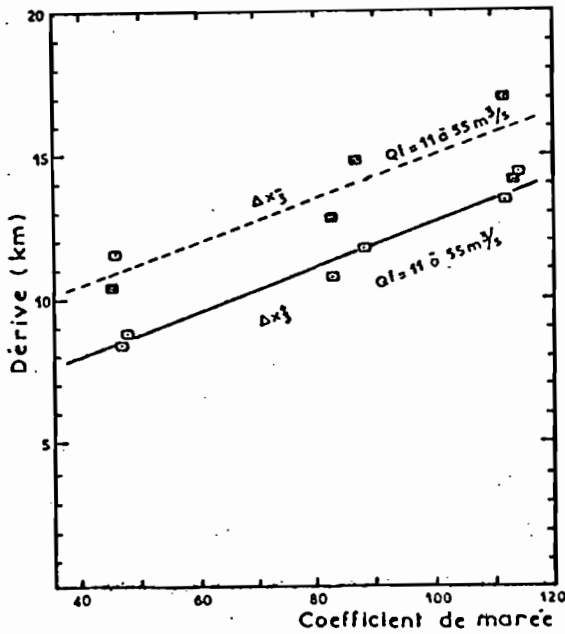
GUATEMALA I



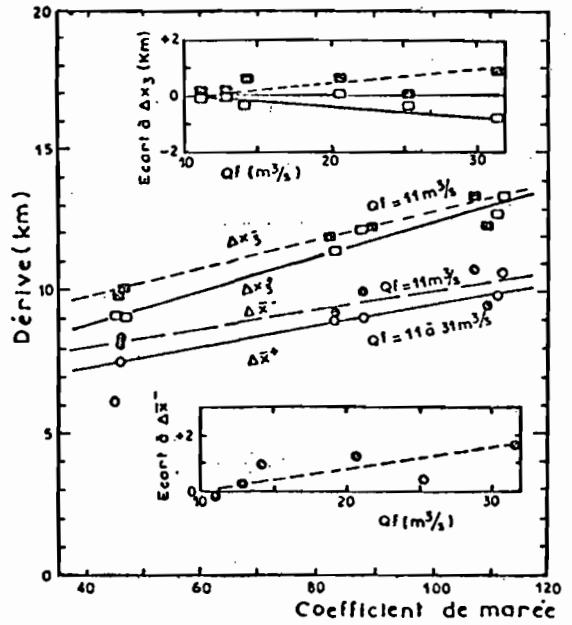
LES PERES II



SOCOUMOU III



GOURDONVILLE IV



On retiendra que les dérives mesurées en surface au moulinet et au flotteur s'avèrent peu différentes l'une de l'autre, la première technique conduisant en général à des résultats légèrement supérieurs à ceux de la seconde méthode.

5.3.4. Relation dérive - distance à l'embouchure

Les relations dérive - coefficient établies à chaque station, (fig. 14) permettent de tracer, pour un débit fluvial déterminé, les courbes de variation de la dérive en fonction de la distance à l'embouchure ; une courbe correspondant à un coefficient de marée donné. Un tel abaque permet d'estimer la dérive à partir de n'importe quel point de l'estuaire.

Un tracé de ces courbes a été tenté pour la dérive Δx_3 de surface (fig. 15). Il convient de noter que ces courbes correspondent à une gamme de débit comprise entre 10 et 56 m³/s, mais ce facteur demeurant secondaire au cours de l'étiage (voir §. 5.3.5. a.) n'entraîne pas, pendant cette période, une forte variation de la dérive.

5.3.5. Dérives amont et aval depuis la crique des Pères

De la comparaison entre les relations dérive - coefficient de marée et écart de la dérive - débit fluvial (fig. 14), il ressort que l'influence du coefficient de marée prédomine nettement sur celle du débit fluvial pour déterminer, pendant l'étiage, la dérive.

Dans le cas précis de l'examen du risque de pollution de la future prise d'eau de l'usine, il est intéressant d'évaluer les influences respectives de ces deux facteurs sur la dérive de flot et de jusant depuis le confluent de la crique des Pères, ainsi que sur la dérive de jusant dans la crique des Pères et l'estuaire du Kourou depuis le confluent de la crique Ouayabo.

a. Dérives de flot depuis la confluence de la crique des Pères

L'écart entre le débit journalier minimum d'étiage de fréquence décennale et celui qui se produit au moins une fois par an, de 17 m³/s, détermine dans le Kourou une variation de dérive amont depuis le confluent de la crique des Pères de :

$$a \Delta x_3^+ = 0,7 \text{ km} \quad , \quad a \Delta x^+ = 0,8 \text{ km} \quad , \quad a \Delta \bar{x}^+ = 0,2 \text{ km}.$$

Par contre un accroissement du coefficient de marée de 35 à 118 entraîne une variation de dérive de :

$$a \Delta x_3^+ = 10,0 \text{ km} \quad , \quad a \Delta x^+ = 10,2 \text{ km} \quad , \quad a \Delta \bar{x}^+ = 8,8 \text{ km}.$$

Les coefficients des marées de vives-eaux d'équinoxe, qui coïncident avec la période d'étiage, varient entre 100 et 118. Cette variation engendre alors un écart vers l'anont :

$$a \Delta x_3^+ = 2,2 \text{ km} \quad , \quad a \Delta x^+ = 2,2 \text{ km} \quad , \quad a \Delta \bar{x}^+ = 1,9 \text{ km}.$$

On constate ainsi que la conjugaison d'un débit d'étiage décennal et d'un coefficient de marée de fréquence rare entraînerait une dérive maximale peu différente de celle qui serait déterminée par la conjugaison d'un débit d'étiage de fréquence annuelle et d'un coefficient atteint plusieurs jours dans l'année, les écarts entre les deux valeurs étant :

$$a \Delta x_3^+ = 2,9 \text{ km} \quad , \quad a \Delta x^+ = 3,0 \text{ km} \quad , \quad a \Delta \bar{x}^+ = 2,1 \text{ km}.$$

Dans des conditions de fréquence extrêmement faible, correspondants à la conjugaison d'un coefficient de marée de 118 et d'un débit journalier d'étiage de $7 \text{ m}^3/\text{s}$ (minimum estimé sur la période 1952-1976), les dérives de flot depuis la confluence de la crique des Pères seraient :

$$\Delta x_3^+ = 18,1 \text{ km} \quad , \quad \Delta x^+ = 17,3 \text{ km} \quad , \quad \Delta \bar{x}^+ = 15,4 \text{ km}.$$

La dérive maximale de 18,1 km atteindrait ainsi le site situé entre l'ancien chantier Terre Jaune (17,2 km) et la crique la Chaudière (18,5 km).

En considérant un coefficient de 115 et un débit journalier d'étiage décennal, de $8 \text{ m}^3/\text{s}$, il est encore possible de considérer que la probabilité de telles conditions est inférieure à la décennale. Les dérives de flot seraient alors :

$$\Delta x_3^+ = 17,7 \text{ km} \quad , \quad \Delta x^+ = 16,7 \text{ km} \quad , \quad \Delta \bar{x}^+ = 15,1 \text{ km}.$$

La dérive maximale de 17,7 km dépasserait ainsi l'ancien chantier Terre Jaune de 0,5 km.

Une fois par an, il peut se produire qu'un débit d'étiage de $25 \text{ m}^3/\text{s}$ se conjugue avec un coefficient de 100, entraînant alors une dérive :

$$\Delta x_3^+ = 14,3 \text{ km} \quad , \quad \Delta x^+ = 12,8 \text{ km} \quad , \quad \Delta \bar{x}^+ = 13,2 \text{ km}.$$

Il est donc possible de conclure que la dérive maximale de flot de fréquence décennale, n'atteindrait pas, au cours d'une demi-période de marée, l'ancien chantier Terre Jaune.

Néanmoins, elle s'arrêterait à quelques centaines de mètres seulement en aval. Chaque année, une ou plusieurs dérives maximales pourraient atteindre Bistouri (fig. 3).

L'écart entre les dérives maximales fréquentes ou rares s'avère faible.

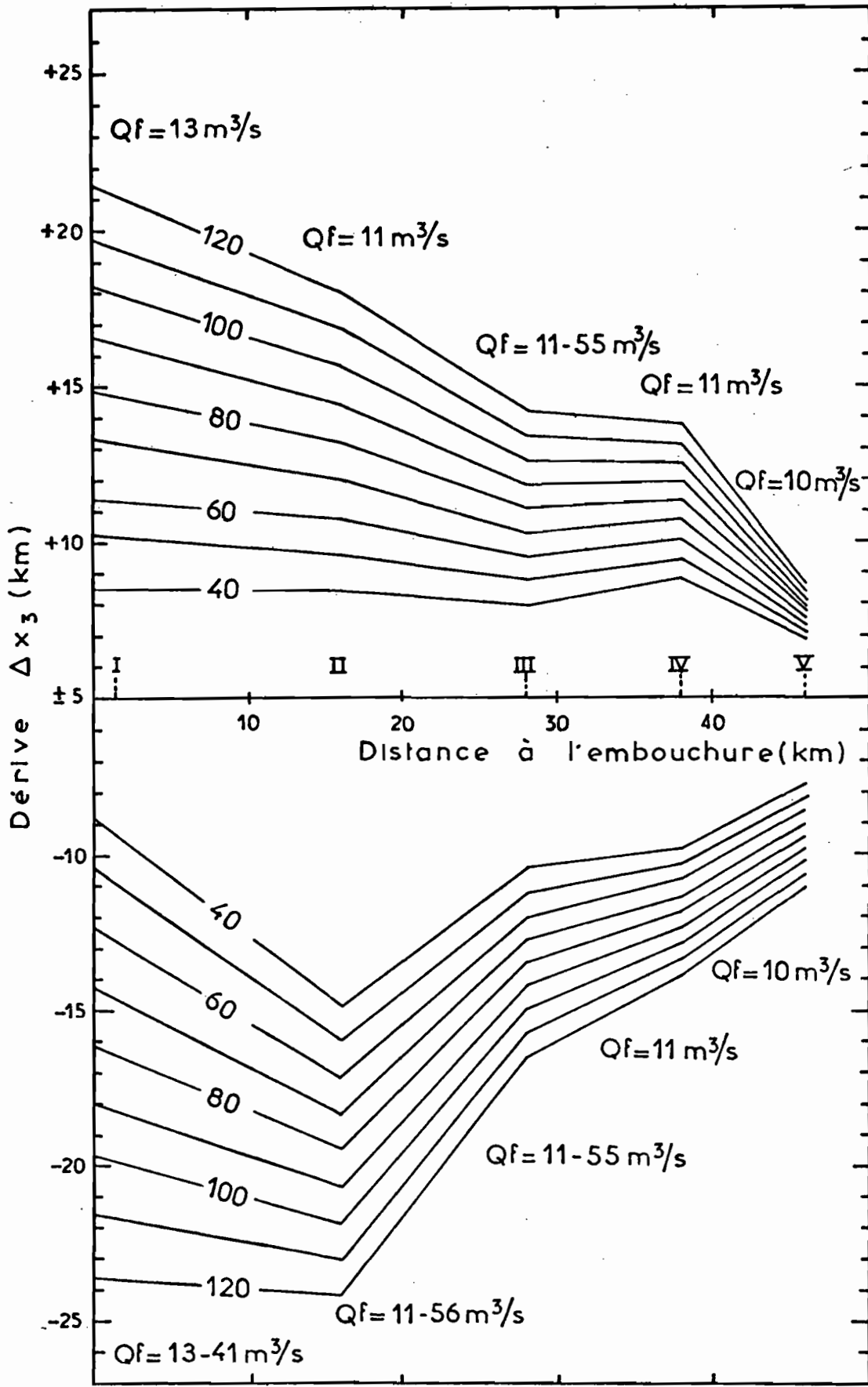


Fig. 15 : Dérive de surface dans l'estuaire du Kourou en fonction de la distance à l'embouchure et du coefficient de marée, pendant l'étiage fluvial.

Le pompage pour l'alimentation en eau de l'usine entraînerait seulement un accroissement de la dérive d'une centaine de mètres. La prise d'eau qui alimente la ville de Kourou ainsi que la base spatiale, étant située 12 km en amont de la limite de la dérive la plus longue (18 km) depuis la crique des Pères, aucun risque de danger de pollution ne semble à craindre.

b. Dérives de jusant depuis la confluence de la crique des Pères

Il est à rappeler que la dérive Δx^- d'un flotteur à partir des Pères en direction de la mer, apparaît, au cours de l'étiage, inférieure à celle, Δx_3 , qui est estimée par intégration des vitesses de surface à cette station pour des coefficients de l'ordre de 80. Par contre ces deux dérives semblent peu différentes pour des coefficients de 110 (fig. 14).

On retiendra que, durant l'étiage, les dérives Δx_3^- et Δx^- atteignent l'embouchure pour des coefficients supérieurs respectivement à 55 et 80. La dérive moyenne $\Delta \bar{x}^-$ n'arrive pas à la mer si l'étiage est faible ou normal, bien qu'elle s'en trouve peu éloignée au moment des vives-eaux. Il faudrait par exemple qu'à l'occasion d'une marée de 115, le débit fluvial soit supérieur à 25 m³/s pour que la dérive moyenne dépasse l'embouchure.

Il faut noter qu'il s'agit là de dérive maximale de produits qui se trouveraient à la confluence de la crique des Pères au moment de l'inversion de courant de marée haute. Les rejets qui transiteraient en ce site après cette inversion s'arrêteraient en amont des limites susmentionnées. Le cas suivant, de la dérive aval Δx^- dans la crique des Pères et l'estuaire du Kourou, depuis la confluence de la crique Ouayabo en est un exemple.

c. Dérives de jusant dans la crique des Pères

La relation entre le coefficient de marée et la dérive aval Δx^- d'un flotteur dans la crique des Pères puis l'estuaire du Kourou, depuis le confluent de la crique Ouayabo, est tracée sur la figure 14, pour un débit fluvial du Kourou compris entre 13 et 17 m³/s. Pour un tel débit d'étiage dont la fréquence est estimée supérieure à 0,50, et un coefficient de marée supérieur à 115, la dérive Δx^- ne dépasse pas le débarcadere du Vieux Kourou.

Au contraire, pour un coefficient minimum de 35, elle atteint à peine le Mont Galliot, se confinant dans la crique des Pères. Il faut qu'avec un tel étiage, le coefficient soit supérieur à 55 pour que les dérives arrivent jusqu'à l'estuaire du Kourou.

Il ressort de ces observations, qu'au cours d'un étiage sévère ou même normal, un rejet dans la crique des Pères aux environs de la crique Ouayabo ne pourrait atteindre la mer au cours d'un seul jusant. Toutefois, il conviendrait, si cela était possible, d'effectuer les rejets lors des marées de vives-eaux et pendant un laps de temps très court, de l'ordre d'une demi-heure, au moment de l'inversion de courant de marée haute. Ainsi une grande part des produits pourrait atteindre la mer au terme de quelques jusants successifs.

On notera également que, compte-tenu de ces recommandations, il serait d'autant plus facile de contrôler de tels lâchés, et de limiter ainsi la pollution, que le point de rejet se situerait en aval dans la crique des Pères, sans qu'un trajet supplémentaire, dans la crique Ouayabo par exemple, vienne retarder le débouché des produits dans l'estuaire du Kourou.

5.3.6. Dilution consécutive à la dérive amont depuis la confluence de la crique des Pères

La salure des eaux mesurée par la conductivité lors de l'inversion de courant de marée basse à la confluence de la crique des Pères (S_0), puis, à l'issue de la dérive de flot Δx^+ d'un flotteur de surface (S_x), au moment de l'inversion du courant de marée haute suivante, permet d'évaluer la dilution (S_x/S_0) subie par les eaux de surface au cours de leur refoulement vers l'amont. Les valeurs de dilution, comprises entre 0,82 et 0,06, sont mentionnées dans le tableau ci-dessous pour les différentes dérives observées. Il convient de remarquer qu'à la dernière mesure, effectuée en fin de l'étiage après l'accroissement des débits fluviaux (campagne H), correspond la valeur la plus prononcée de toutes les dilutions (0,06).

Compte tenu de la faible stratification saline au moment des renverses de courant, les valeurs de surface ainsi notées doivent être peu éloignées de celles qui se rapportent à l'ensemble de la section.

	Date	Coeff +	Qf (m ³ /s)	Δx^+ (km)	S_0	S_x	Rapport de dilution S_x/S_0
D	24-10-76	113	15,3	15,6	6460	2975	0,46
E	30-10-76	48	13,9	7,4	8210	6430	0,78
F	7-11-76	83	11,3	12,5	7785	2415	0,31
G	15-11-76	47	11,4	8,1	7315	6025	0,82
H	23-11-76	104	25,2	13,3	26860	1540	0,06

5.3.7. Extension amont de la marée saline et des polluants durant l'étiage

La forte extension de la marée saline au cours de l'étiage, telle qu'elle ressort de l'étude des suspensions et des salures exposée au paragraphe 7 relatif à la qualité des eaux, révèle, jusque dans la zone de Gourdonville, un transport de matières en suspension et en solution originaire de l'aval de la station des Pères, capable d'entraîner dans certaines conditions, des polluants jusqu'à la future prise d'eau.

La diminution du débit fluvial au cours de l'étiage (cf. §. 5.3.5. a), qui n'entraîne pas un accroissement des dérives de flot supérieur à quelques centaines de mètres, ne peut être à l'origine de l'extension des salures, observée sur une dizaine de kilomètres vers l'amont.

Cette extension pourrait trouver une explication dans l'étude des résultantes de dérives. En effet, il est fréquemment rapporté que, dans un estuaire, la résultante des dérives est orientée vers l'amont à proximité du fond et vers l'aval en surface, les eaux fluviales douces et "légères" s'évacuant ainsi vers la mer en surface, après mélange progressif avec les eaux salées plus denses qui pénètrent dans l'estuaire par le fond. Toutefois, ce schéma ne saurait justifier l'extension de l'influence de la marée saline constatée dans l'estuaire du Kourou à partir de Socoumou à la fin de l'étiage, car les résultantes des eaux Δx_3 mesurées tant en surface qu'au fond, à Socoumou et Gourdonville, sont au contraire orientées vers l'aval pour toutes les périodes de marée observées. Les résultantes de dérives seraient donc différentes pour les eaux et les matières en solution et en suspension.

Pour expliquer les observations ainsi exposées une hypothèse peut être alors avancée. Il semblerait en effet, qu'à l'issue de chaque dérive de flot, une partie des eaux et des matières associées reste piégée tant en bordure des rives, qu'avec les sédiments du fond ou dans les creux du lit (voir §. 3.), échappant ainsi partiellement à la dérive aval qui les ramènerait au-delà du point de départ initial. A la marée suivante, ces matières pourraient être alors transportées en amont du point extrême atteint par la première dérive de flot, remontant ainsi dans l'estuaire. Au gré des oscillations, par dilutions successives, l'influence saline s'étendrait progressivement vers l'amont.

En ce qui concerne plus spécialement les matières en suspension, celles-ci, au cours de leurs mouvements, doivent subir par frottement sur le fond et les bords de l'estuaire un freinage qui pourrait engendrer, par rapport à la vitesse des eaux, un retard dans leur déplacement longitudinal. Au-dessous d'une vitesse limite d'écoulement du jusant, ce phénomène se traduit, par une sédimentation des suspensions les plus denses, en association avec les rides que les enregistrements d'écho-sondage ont mises en évidence sur le fond de l'estuaire (fig. 6 bis), suivie d'une reprise par le flot suivant. Ce phénomène peut être favorisé par le fait que la vitesse limite des eaux permettant le dépôt des particules sur le fond est plus faible que celle qui est nécessaire pour leur remise en suspension.

Le freinage et le piégeage des suspensions seraient susceptibles de favoriser également l'extension amont des salures. En effet, les ions adsorbés dans les eaux salées par les suspensions peuvent être libérés lorsque ces matières se trouvent en contact avec des eaux de salures moindres.

Il est à remarquer que les phénomènes de piégeage et de freinage des matières associées aux eaux, présentent une similitude avec celui du blocage de flotteurs sur les rives au cours du jusant, suivi d'une libération au flot, entraînant, au terme de plusieurs marées, une importante dérive amont (cf. §. 5.1.).

Lorsque le débit fluvial augmente par l'apport des premières pluies, les eaux douces balayent plus efficacement que pendant l'étiage les "résidus" de la dérive aval. Les matières en suspension et les salures, qui marquaient l'influence marine, régressent alors en direction de la mer.

5.3.8. Risques de pollution associés à l'extension amont de la marée saline

Comme pour les matières dissoutes ou en suspension, les polluants rejetés en permanence dans la crique des Pères pourront s'étendre vers l'amont sur des distances plus grandes que les dérives maximales de fréquences rares, pour atteindre ainsi en fin d'étiage l'ancien chantier Terre Jaune et Gourdonville, mais avec des taux de dilution tels qu'ils ne créeront selon toute vraisemblance aucune détérioration de la qualité des eaux.

A titre indicatif, le rapport des salures globales des eaux de Gourdonville à marée haute et des Pères à marée basse, c'est-à-dire la dilution minimale réalisée entre les deux stations, est indiquée ci-dessous pour les différentes marées observées :

A = non influencé ; B = non influencé ;

C = $0,7 \cdot 10^{-3}$; D = $4 \cdot 10^{-3}$; E = $0,5 \cdot 10^{-3}$; F = $1 \cdot 10^{-3}$

Pour les eaux de Gourdonville, seul l'écart de salure provoqué par l'influence marine a été pris en considération, la salure originelle des eaux étant de 13,7 mg/l.

Ainsi, les concentrations en produits résiduaux, déjà dilués à leur arrivée à la station des Pères, subiront une dilution de l'ordre du millième au cours de leur transport en fin d'étiage par la marée saline jusqu'à Gourdonville.

Exception faite des rejets particulièrement toxiques, aucun danger de pollution n'est donc à craindre pour la prise d'eau dans la zone de Gourdonville et a fortiori de celle de Saramaca, laquelle n'est pas influencée par la marée saline.

5.4. VOLUMES ET DEBITS OSCILLANTS

Les volumes d'eau oscillants au cours du flot et du jusant aux stations Guatémala, Pères et Gourdonville, ainsi que les débits maximums et moyens correspondants sont présentés dans le tableau VI.

A chaque station, la relation entre le volume oscillant de flot ou de jusant et le coefficient de marée, peut être ajustée à une droite (fig. 16 et 17).

Dans certains cas, il est tenu compte d'une correction de l'écart à la courbe en fonction du débit fluvial. Les deux droites, représentatives du jusant et du flot tendent à être parallèles ; le volume de jusant étant le plus élevé, à coefficients égaux. L'écart entre les deux droites équivaut théoriquement au volume de l'apport fluvial amont pendant une période de marée. Les relations étant ajustées pour des débits fluviaux de 11 m³/s pour la station des Pères et 11 à 31 m³/s pour Gourdonville les écarts théoriques devraient être respectivement de 0,5. 10⁶ m³ et de 0,5 à 1,5. 10⁶ m³. Les écarts constatés sont en moyenne de 0,5 et 0,3. 10⁶ m³, donc peu éloignés des valeurs théoriques.

Pendant l'étiage, pour un débit de 11 m³/s à 13 m³/s, les coefficients de marée, en variant de 35 à 118, déterminent les valeurs de volume oscillant minimales et maximales suivantes, en regard desquelles est mentionnée pour le jusant la part relative de l'apport fluvial.

Stations	Volumes oscillants (10 ⁶ m ³)				Participation relative de l'apport fluvial (%) au cours du jusant	
	Max (coeff. : 118)		Min (coeff. : 35)		Max (coeff. : 118)	Min (coeff. : 35)
	+	-	+	-	-	-
Guatémala I	25,3	25,8	8,4	10,6	2%	5%
Pères II	11,4	11,9	5,8	6,3	4%	8%
Gourdonville IV	5,5	5,7	3,6	4,0	9%	12%

Des relations volume oscillant - coefficient de marée, établies pour différentes stations de l'estuaire (fig. 16 et 17), il est possible de tracer les relations volume oscillant - distance à l'embouchure, pour des coefficients de marée déterminés. Ainsi, en n'importe quelle section de l'estuaire, le volume oscillant peut être évalué en fonction de l'importance de la marée (fig. 18).

Ces relations ont été établies pour des débits fluviaux compris entre 11 et 41 m³/s, correspondants à un

apport fluvial de $0,5 \cdot 10^6$ à $1,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, pour un accroissement du débit fluvial de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ le volume du jusant augmenterait théoriquement d'environ $0,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Tableau VI : Débits maximum (m^3/s), débits moyens (m^3/s) et volumes ($10^6 \text{ m}^3/\text{s}$) oscillants dans l'estuaire du Kourou.

GUATEMALA I										
N°	Date	Coeff.		Qf m^3/s	Q max		Q̄		V	
		+	-		+	-	+	-	+	-
A	24-9	111	109	33,8	1830	1360	1080	1000	23,3	25,2
B	30-9	57	54	40,7	990	950	642	598	12,2	14,9
C	7-10	86	83	26,7	1435	1265	800	1010	19,2	20,7
D	23-10	112	109	17,5	2000	1360	1100	1180	24,4	22,3
E	29-10	58	53	15,6	935	860	560	516	12,4	11,3
F	6-11	82	80	12,8	1270	1150	769	779	17,3	16,6

PERES II										
N°	Date	Coeff.		Qf m^3/s	Q max		Q̄		V	
		+	-		+	-	+	-	+	-
A	25-9	114	114	27,6	740	600	552	470	10,6	12,0
B	1-10	47	45	55,7	430	460	317	337	5,9	8,3
C	8-10	88	87	22,3	645	545	472	417	9,2	10,5
D	24-10	113	113	15,3	645	880	585	466	11,4	11,6
E	30-10	48	46	13,9	500	490	324	307	6,6	7,1
F	7-11	83	83	11,3	620	580	436	396	8,9	9,5

GREENVILLE IV										
N°	Date	Coeff.		Qf m^3/s	Q max		Q̄		V	
		+	-		+	-	+	-	+	-
A	26-9	112	109	25,2	350	330	260	250	5,7	5,7
B	2-10	46	45	31,5	230	290	160	200	3,2	5,1
C	9-10	88	88	20,6	310	330	240	240	4,8	5,7
D	25-10	111	107	14,1	360	330	270	250	5,3	5,9
E	31-10	46	46	12,8	280	260	180	185	3,9	4,4
F	8-11	83	82	11,0	320	290	230	220	4,7	4,8

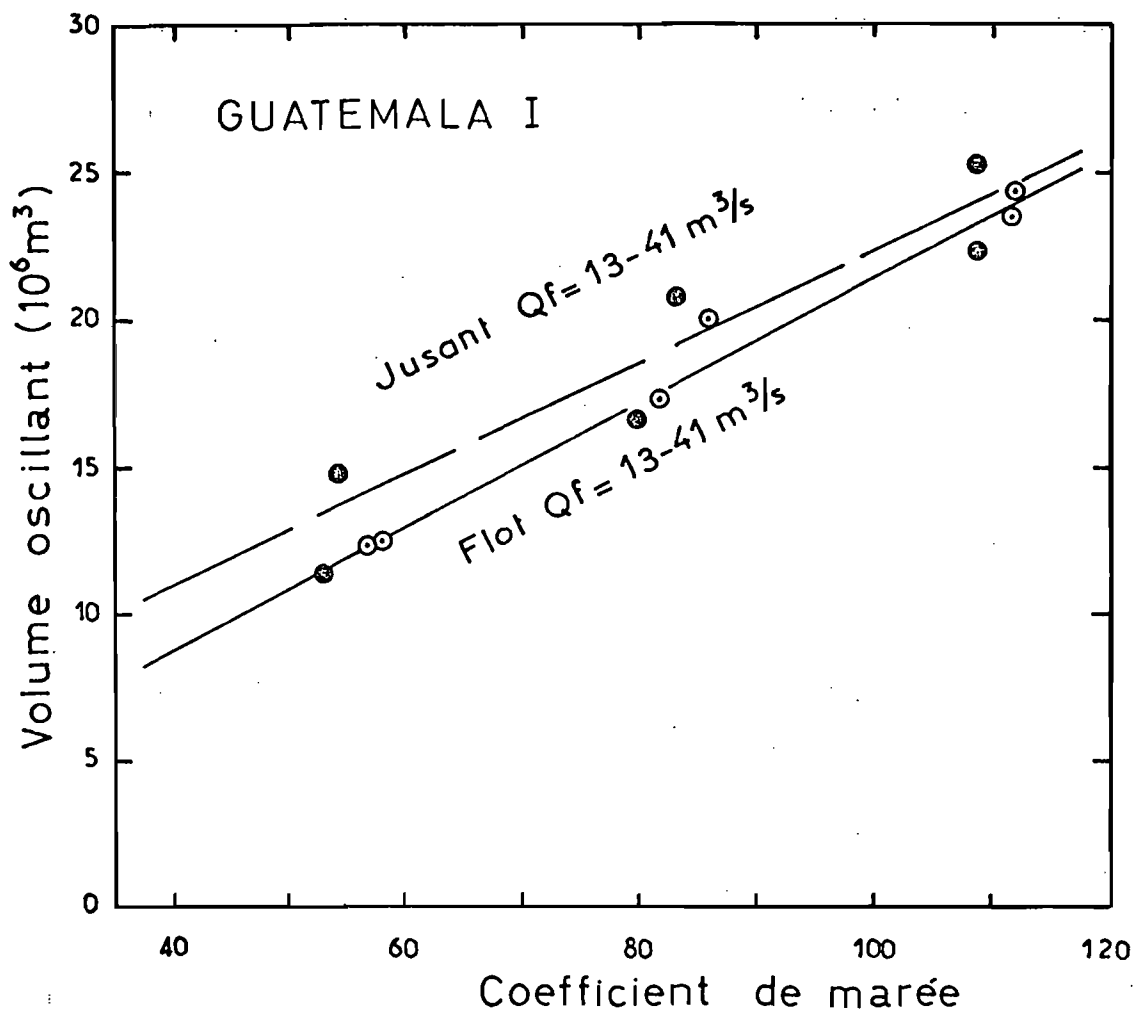


Fig. 16 : Relation entre le volume oscillant et le coefficient de marée dans l'estuaire du Kourou à Guatemala, pendant l'étiage.

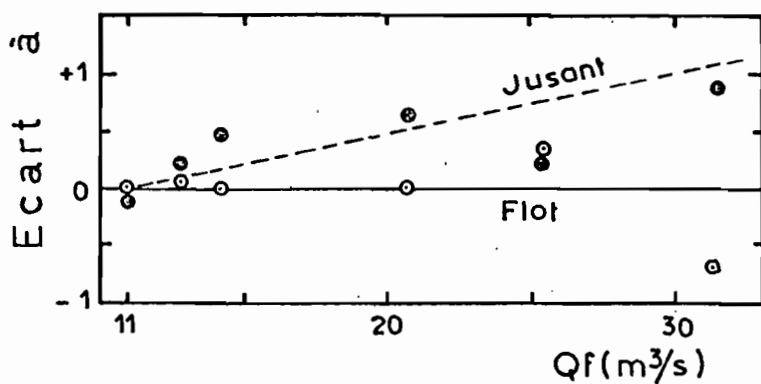
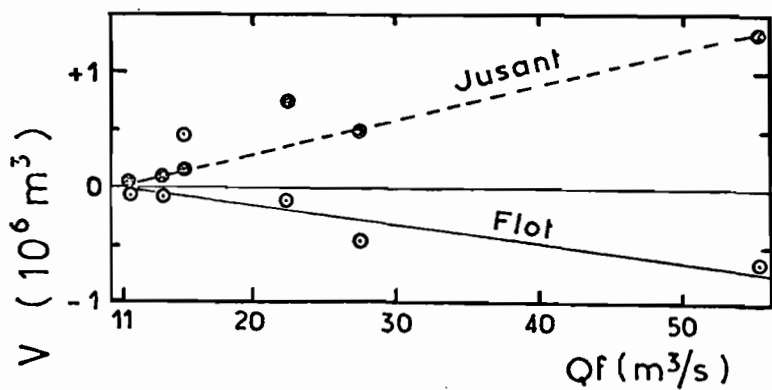
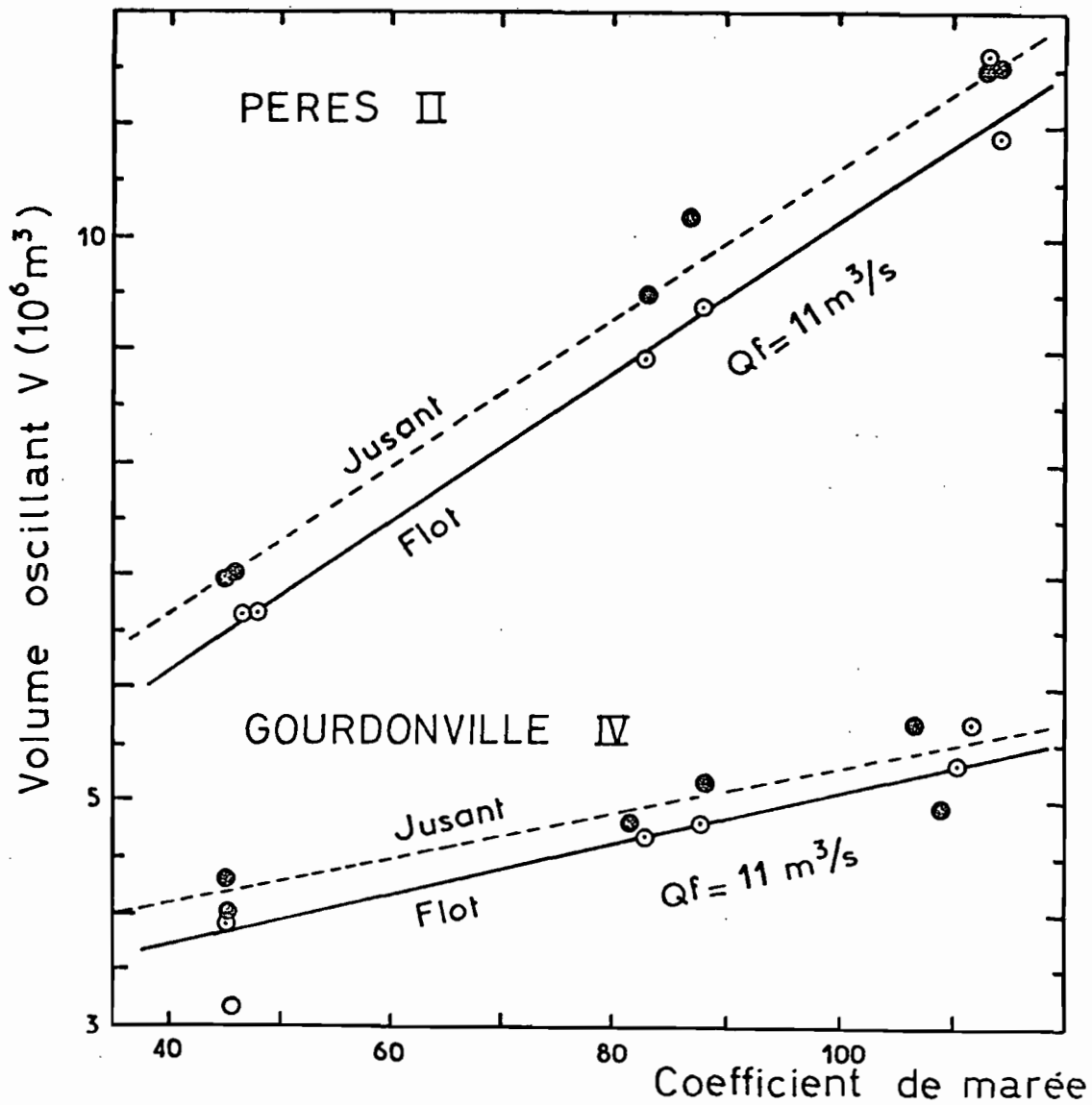


Fig. 17 : Relation entre le volume oscillant et le coefficient de marée dans l'estuaire du Kourou aux Pères et à Gourdonville, pendant l'étiage. Ecart du volume oscillant en fonction du débit fluvial amont.

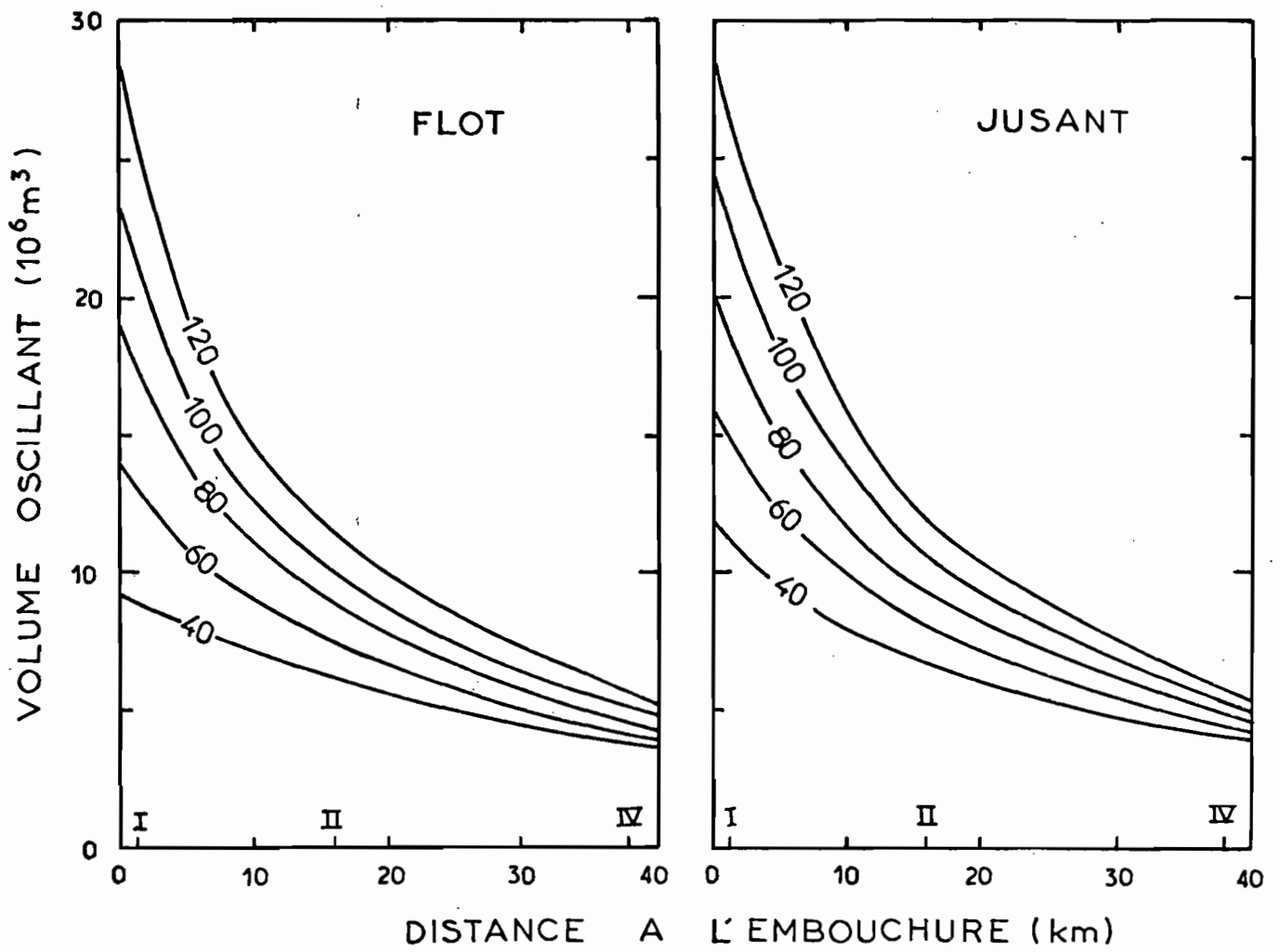


Fig. 18 : Volume oscillant dans l'estuaire du Kourou en fonction de la distance à l'embouchure et du coefficient de marée, pendant l'étiage.

6. QUALITE DES EAUX REQUISE DANS L'INDUSTRIE DE LA PATE DE BOIS

Alors que les usines de pâte de bois et de papier tendent à utiliser des quantités d'eau moins importantes qu'auparavant, elles réclament, en contrepartie une meilleure qualité physico-chimique des eaux.

Les Industriels se basent généralement sur les concentrations maximales conseillées par la "Technical Association of the Pulp and Paper Industry" qui sont présentées dans le tableau VII.

Selon les produits recherchés, on prend en considération les références :

- E 600 S 48 pour la fabrication de papiers fins (livres, papiers à lettre,...) ;
- E 602 S 48 pour les papiers grossiers (journaux, annuaires,...) ;
- E 601 S 53 pour les papiers Kraft préparés au sulfate ;
- E 603 S 49 pour la préparation de la pâte à la soude ou au sulfate ou au procédé Kraft. Cette norme, qui conviendrait à une usine guyanaise de pâte de bois, sera prise comme référence pour apprécier la qualité des eaux de l'estuaire du Kourou.

Les usines de cellulose sont exigeantes sur les teneurs en chlore qui favorisent la corrosion des parties métalliques de leur système de circulation des eaux, alors que les composés de calcium et de magnésium peuvent former des encroûtements ainsi que des précipités sur la pâte quand l'eau vient en contact avec les solutions alcalines utilisées pour le traitement du bois.

Par ailleurs, le fer et le manganèse en solution dans l'eau sont facilement absorbés par la pâte dont ils diminuent la blancheur. Les matières organiques, à la limite de la suspension colloïdale et de la solution, responsables de la coloration de l'eau décantée, ont également la fâcheuse propriété de se fixer sur les fibres de pâte blanchie si on ne les élimine pas totalement de l'eau. A cet effet, un traitement peut être réalisé par le sulfate d'alumine ou le chlorure ferrique, avec ou sans adjonction de polyélectrolytes organiques. L'efficacité de cette méthode est contrôlée par la consommation de permanganate et la coloration résiduelle de l'eau traitée. A ce sujet, des consommations de 10 mg/l de MnO_4K dans les eaux naturelles, sont considérées comme admissibles (Société Parsons et Whittemore - France, 1974).

Tableau VII : Caractéristiques physico-chimiques maximales des eaux utilisables pour la fabrication de la pâte de bois et du papier, d'après la "Technical Association of the Pulp and Paper Industry".

Caractéristiques	Teneurs maximales (ng/l)			
	Réf. E 600 S 48	Réf. E 602 S 48	Réf. E 601 S 53	Réf. E 603 S 49
Turbidité	10	50	40-100	25
dureté totale (en CO ₃ Ca)	100	200	100-200	100
dureté calcique (en CO ₃ Ca)	50	-	-	50
dureté magnésienne (en CO ₃ Ca)	-	-	-	50
Alcalinité au méthyl orange (en CO ₃ Ca)	75	150	75-150	75
Fer	0,1	0,3	0,2-1,0	0,1
Manganèse	0,05	0,1	0,1-0,5	0,05
Silice dissoute	20	50	50-100	20
Teneurs totales dissoutes	200	500	300-500	250
Chlore	2,0	75	200-200	75

7. QUALITE DES EAUX DE L'ESTUAIRE DU KOUROU

L'étude de la qualité des eaux du Kourou est basée sur les conductivités des prélèvements réalisés à marée haute tout au long de l'estuaire, ainsi que sur les résultats d'analyses des eaux qui ont été échantillonnées à raison de six par période de marée à chaque station (cf. méthode, §. 2.2.2.). Les valeurs extrêmes et la médiane des différentes caractéristiques physico-chimiques relatives aux ensembles de six échantillons sont portées dans les tableaux A I à V, placés en annexe.

Par ailleurs, afin de mettre en évidence la variation semi-diurne des teneurs en suspension et des salures globales durant les différentes périodes de marées observées, les moyennes de ces valeurs obtenues six fois par campagne en quinze points de chaque section sont présentées dans les tableaux B I à V, en annexe.

Compte-tenu des conditions hydrologiques qui ont prévalu au cours de l'étude, il est permis de considérer que les résultats circonscrivent les valeurs extrêmes de qualité atteintes pendant l'étiage 1976, dont il convient de rappeler la fréquence évaluée à 0,25 pour le débit moyen mensuel minimum et à 0,32 pour le DCE.

7.1. Températures

Les températures mesurées dans l'estuaire varient entre 24,4°C et 30,2°C. Les valeurs les plus élevées ont été observées à proximité de la mer, les plus faibles à la station la plus amont.

D'une façon générale, la température tend à croître vers l'aval.

A la station de Gourdonville, c'est-à-dire non loin du site où sera implantée la prise d'eau, les valeurs relevées sont comprises entre 24,5° et 28,6°. L'écart diurne est de l'ordre de 1°.

7.2. pH

Dans la partie de l'estuaire très peu ou pas influencée par l'intrusion saline, comme à Saramaca, Gourdonville et Socoumou, les pH mesurés au cours de différentes périodes de marée, montrent des valeurs extrêmes de 6,3 et 7,2 et des valeurs médianes comprises entre 6,4 et 7,1.

Les pH croissent ensuite vers l'aval, avec la salure des eaux ; aux Pères, les valeurs extrêmes sont de 6,7 et 7,7 et les médianes comprises entre 7,2 et 7,6 ; à Guatemala, ces mêmes valeurs sont respectivement de 7,3 et 8,1 et de 7,5 et 8,0. A cette dernière station seulement, une variation semi-diurne apparaît nettement. Elle est similaire à celle des salures, le maximum et le minimum étant respectivement en

phase avec l'inversion du courant à marée haute et à marée basse.

Le pH optimal dans l'industrie de la pâte de bois étant 7, les eaux de l'estuaire aux environs de Gourdonville apparaissent donc, avec des valeurs pouvant atteindre 6,3, légèrement trop acides.

7.3. Acidité totale

L'acidité totale, mesurée par titrage potentiométrique avec une solution de soude N/500 en présence de phénolphthaleïne jusqu'à pH 8,3, est comprise entre 0,11 et 0,14 me/l pour des conductivités variant de 27 à 1820 $\mu\text{mhos cm}^{-1}$.

7.4. Demande chimique en oxygène DCO

Pendant l'étiage, la demande chimique médiane en oxygène dans la partie amont de l'estuaire entre Saramaca et Socoumou, varie entre 2,8 et 4,2 mg/l au cours des périodes de marées observées, tandis qu'elle fluctue entre 2,0 et 3,1 mg/l dans la partie aval, entre les Pères et Guatémala. Dans l'ensemble de l'estuaire, les valeurs extrêmes sont de 4,7 mg/l, à Saramaca, et de 1,7 mg/l, à Guatémala.

L'oxygène est consommé uniquement pour la destruction de la matière organique "naturelle" puisqu'aucune source importante de pollution n'existe en amont de Saramaca. En effet, la fréquentation hebdomadaire de quelques cabanons, répartis sur une dizaine de kilomètres en amont de ce lieu, ne peut constituer une source de pollution réelle.

La teneur en matière organique décroît vers l'aval, avec l'augmentation de la salure.

La DCO maximale pour l'alimentation d'une usine de pâte étant 10 mg/l de MnO_4K , soit 4 mg/l d'oxygène, les valeurs relatives aux eaux des environs de Gourdonville, avec des maximums compris entre 3,2 et 4,3 mg/l et une moyenne de 2,9 à 3,4 mg/l, apparaissent satisfaisantes.

7.5. Demande en chlore, "break point"

La demande en chlore actif, mesurée par la méthode du "break point" sur une eau prélevée à Saramaca, est de 8 gouttes de solution javelisée. Les valeurs obtenues par essais successifs sur une eau échantillonnée aux Pères varient entre 11 et 13 gouttes.

7.6. Teneurs en suspension

Les prélèvements, effectués au moment des inversions de courant à marée haute et à marée basse sur la verticale médiane (n° 3) de chaque section, permettent de

tracer sur une coupe verticale les courbes d'égaux teneurs en matières en suspension depuis l'embouchure de l'estuaire jusqu'à l'amont (fig. 19).

Par ailleurs, les concentrations, extrêmes et médianes, des matières en suspension observées en surface, au milieu de chaque section, durant les périodes de marée prises en considération, sont indiquées dans le tableau AI à AV. Les teneurs moyennes relatives aux quinze échantillons prélevés six fois par période de marée aux différentes sections sont reportées dans le tableau BI à BV, duquel ressort notamment la variation semi-diurne.

7.6.1. Répartition spatiale

La répartition spatiale des teneurs en suspension dans l'estuaire du Kourou pendant l'étiage (fig. 19 et 20) est caractérisée par :

- une augmentation des valeurs de l'amont vers l'aval ;
- une augmentation depuis la surface jusqu'au fond.

a) Répartition longitudinale des teneurs en suspension

L'accroissement des teneurs en suspension de l'amont vers l'aval est considérable. Les valeurs pouvant ainsi varier de 3 mg/l, à Saramaca, à 67 000 mg/l à Guatemala. Le gradient longitudinal augmente lui-même très rapidement. Les valeurs moyennes aux stations (tableau A I à V) sont ainsi comprises entre 4 et 9 mg/l à Saramaca, 4 et 275 mg/l à Gourdonville, 100 et 3000 mg/l aux Pères, 390 et 23 000 mg/l à Guatemala.

Dans la partie aval de l'estuaire, au cours du flot, une pénétration d'eau de mer plus claire que celles qui se trouvent dans l'estuaire se produit en surface par l'embouchure. A marée haute, les eaux très chargées de l'estuaire sont ainsi, en surface, encadrées par des eaux de l'amont et de l'aval moins riches en matières en suspension.

b) Répartition verticale des teneurs en suspension

La stratification, ou gradient vertical des teneurs en suspension, est liée aux deux composantes des vitesses, l'une longitudinale, l'autre transversale (cf. §. 5.1.).

Les vitesses longitudinales, plus élevées en surface qu'en profondeur, contribuent à déterminer tout au long de l'estuaire une répartition des suspensions caractérisée par une inclinaison des courbes d'isoteneurs telle qu'elle est observée sur la figure 19.

Malgré les mouvements verticaux, à l'origine des mélanges, les matières en suspension tendent à sédimenter sous l'action de la gravité, rétablissant ainsi une stratification des teneurs.

La stratification apparaît plus marquée à marée basse qu'à marée haute. Ce caractère s'explique tant par la distribution verticale des vitesses longitudinales, que par la répartition longitudinale des teneurs qui augmentent de l'amont vers l'aval. En effet, durant le jusant les eaux moins chargées de l'amont s'écoulent en surface plus rapidement que les eaux plus chargées du fond, accentuant ainsi sur une même verticale l'écart entre les teneurs. Par contre, durant le flot, les eaux de surface qui se dirigent vers l'amont étant plus chargées que celles qu'elles refoulent, l'écart entre les teneurs sur une même verticale tend à décroître.

Par ailleurs, il faut remarquer, comme l'illustre l'exemple de la figure 9, que l'écart entre les vitesses des eaux de fond et de surface est moins marqué au flot qu'au jusant. L'homogénéisation des eaux considérées, sur un plan vertical, sera d'autant mieux assurée que l'écart de vitesses ainsi observé sera faible. On conçoit qu'à la limite, un écart nul correspondrait à un déplacement d'une même masse au sein de laquelle les mouvements verticaux tendraient à créer un mélange optimal.

Le gradient vertical des teneurs en suspension, tend à s'intensifier vers l'aval. Ainsi, selon l'exemple de la figure 20, à Gourdonville, pour de fortes et faibles charges moyennes, l'écart relatif des teneurs moyennes entre la surface et le fond ne dépasse pas respectivement 40% et 25%. Par contre en aval, à la station des Pères et à Guatemala, les concentrations près du fond, respectivement 13 et 450 fois supérieures à celles de surface, sont à l'origine d'un écart beaucoup plus prononcé qu'en amont.

Les eaux de mer, lors des forts et moyens coefficients, paraissent pénétrer dans l'estuaire en refoulant dans la région des Pères les eaux à fortes concentrations situées à marée basse sur une dizaine de kilomètres avant l'embouchure. De ce fait, l'homogénéisation semble relativement bien réalisée à la station des Pères. Au contraire, pendant les mortes-eaux, le flot paraît "glisser" sur la masse turbide du fond en s'y mélangeant peu.

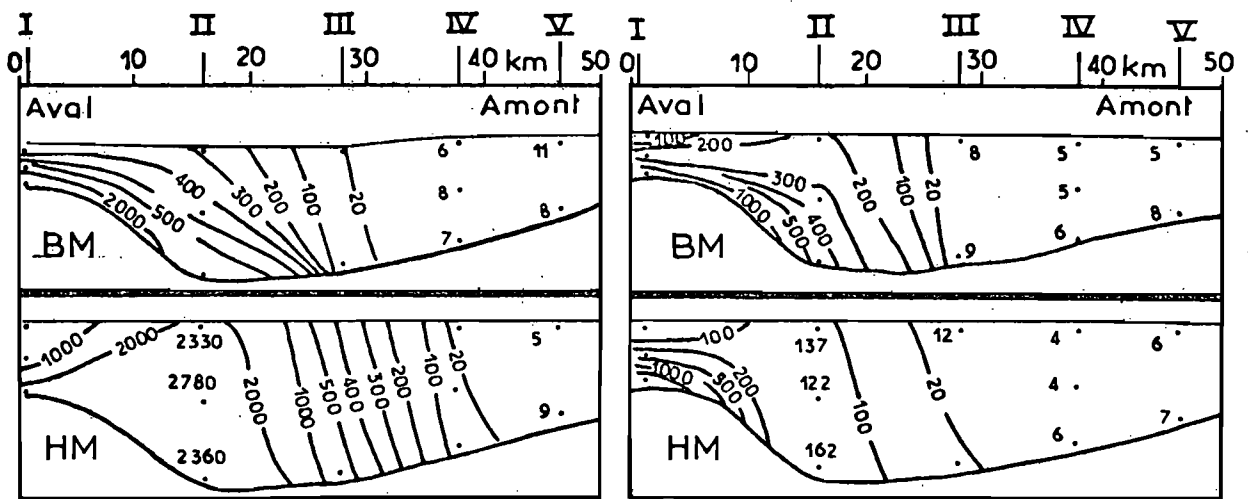
De ces observations, il ressort que la qualité des eaux gagnera à ce que la prise, implantée dans les environs de Gourdonville, soit disposée le plus près possible de la surface.

7.6.2. Variations temporelles des teneurs en suspension

À une station, la variation des teneurs en suspension au cours d'une marée dépend de plusieurs facteurs :

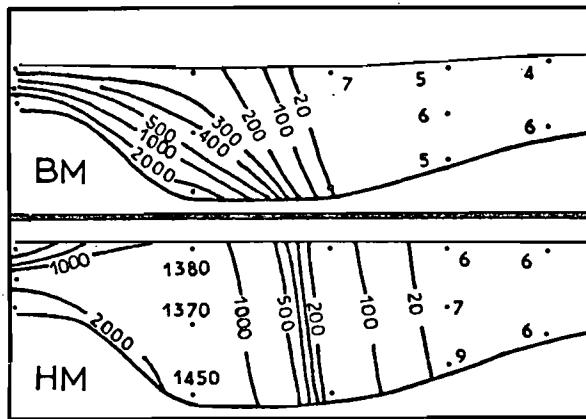
- le coefficient de marée qui détermine l'amplitude de l'oscillation de masses d'eau marquées par un gradient de teneurs ;

- le débit fluvial dont les effets s'associent au jusant ou s'opposent au flot ;

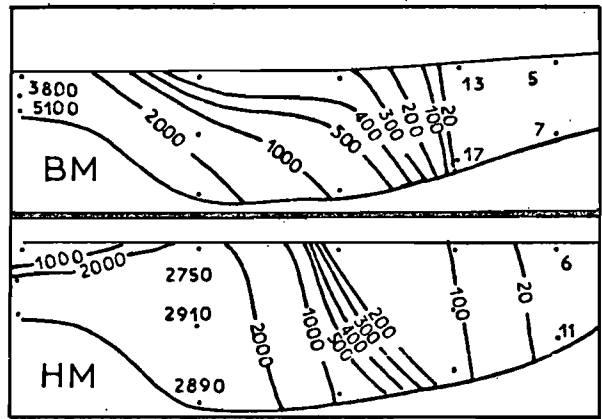


Campagne A . 26 Septembre 1976
 Coeff = 112-109 , $Q_f = 25,2 \text{ m}^3/\text{s}$

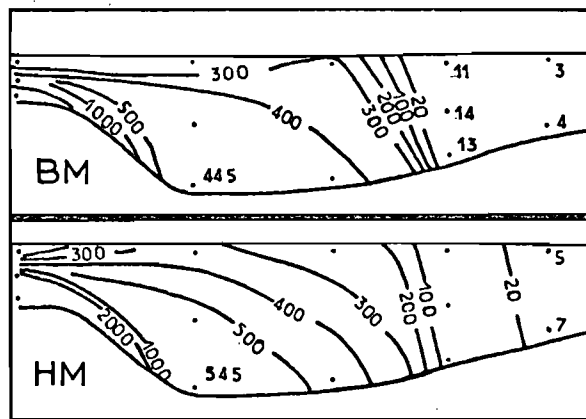
Campagne B . 2 Octobre 1976
 Coeff = 45-46 , $Q_f = 31,5 \text{ m}^3/\text{s}$



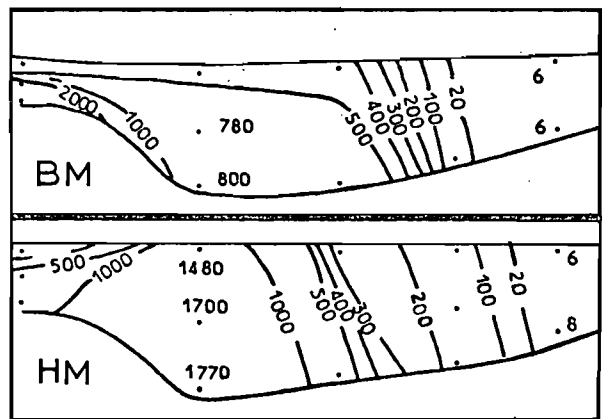
Campagne C . 9 Octobre 1976
 Coeff = 88-88 , $Q_f = 20,6 \text{ m}^3/\text{s}$



Campagne D . 25 Octobre 1976
 Coeff = 111-107 , $Q_f = 14,1 \text{ m}^3/\text{s}$

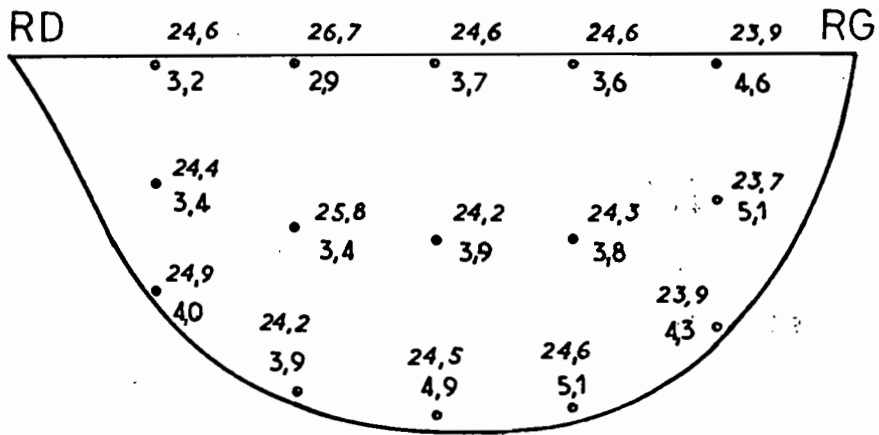


Campagne E . 31 Octobre 1976
 Coeff = 46-46 , $Q_f = 12,8 \text{ m}^3/\text{s}$

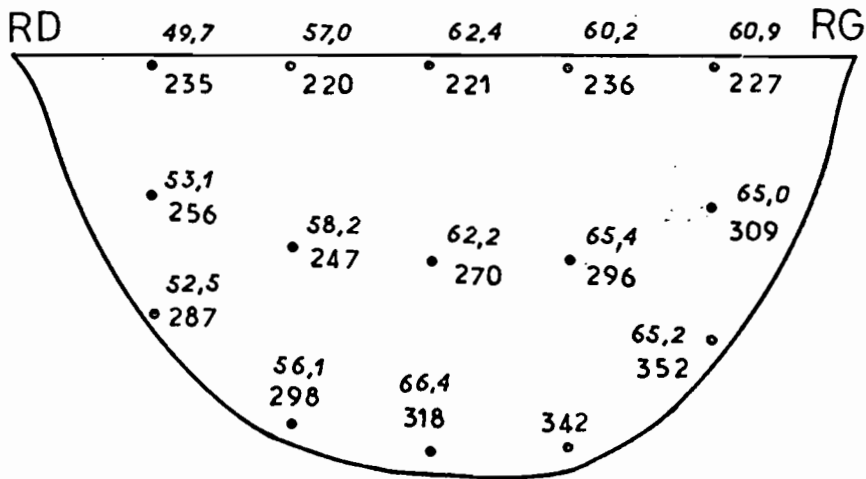


Campagne F . 8 Novembre 1976
 Coeff = 83-82 , $Q_f = 11,0 \text{ m}^3/\text{s}$

.Fig. 19 : Répartition des teneurs en matières en suspension sur une coupe longitudinale de l'estuaire du Kourou.



CAMPAGNE B . 2 octobre 1976 . Jusant
 Coeff = 45 . Qf = 31,5 m³/s



CAMPAGNE D . 25 octobre 1976 . Haute mer
 Coeff = 111 . Qf = 14,1 m³/s

Fig. 20 : Exemples de la distribution des conductivités, en µmhos cm⁻¹ à 25°C (caractères en italique), et en teneurs en suspension, en mg/l (caractères normaux), des eaux, dans une section de l'estuaire du Kourou à Gourdonville.

- la teneur originelle de l'apport fluvial.

L'influence de chacun de ces facteurs varie en fonction de la distance à l'embouchure.

L'intervalle de variation des teneurs sur une longue période de temps, comme les teneurs elles-mêmes, augmente vers l'aval. Ce type d'évolution, essentiellement lié à l'accroissement du gradient des teneurs, apparaît au simple examen des valeurs moyennes aux stations telles qu'elles sont mentionnées dans le paragraphe 6.5.1. a. et les tableaux A I à V en annexe.

La teneur en suspension des eaux pompées dans l'estuaire sera donc d'autant plus faible et constante que la prise sera située en amont.

Dans la partie amont de l'estuaire, les teneurs sont déterminées essentiellement par les valeurs fluviales originelles. Ainsi à Saramaca, les concentrations apparaissent essentiellement fonction des apports solides originaires de l'amont car elles sont très faibles, tendent à diminuer avec le débit fluvial et, surtout, fluctuent relativement peu avec la marée malgré une variation des coefficients de 45 à 112, non compensée par une variation opposée du débit fluvial pendant l'étiage.

Compte-tenu du gradient longitudinal, il est possible qu'à Saramaca les concentrations soient légèrement supérieures à celles de l'apport fluvial, mais, en raison même des valeurs extrêmement faibles mesurées à cette station, l'écart ne peut être important.

Vers l'aval, il est ensuite constaté une variation semi-diurne des concentrations en suspension, avec un maximum et un minimum en phase respectivement avec les inversions du courant à marée haute et à marée basse. Cette variation est liée à l'oscillation semi-diurne des masses d'eau à concentration croissante vers l'aval (fig. 21).

Dès Gourdonville, un accroissement des charges solides est observé en fin d'étiage. Ce phénomène survient quand les débits fluviaux se cantonnent pendant plusieurs jours à des valeurs minimales de 15 à 11 m³/s pour un coefficient de 111, mais les concentrations élevées se maintiennent par la suite pour des coefficients de 46 à 80, alors que des marées d'importance analogue (45 à 112), auxquelles en début d'étiage s'opposaient des débits plus importants (supérieurs à 20 m³/s), ne se sont pas accompagnées d'une variation marquée des teneurs.

L'aggravation de l'étiage permet donc aux eaux chargées de l'aval de se mélanger progressivement, par oscillations successives au gré des marées, aux eaux fluviales de l'amont.

Ce phénomène est également observé à Socoumou. A cette station, l'arrivée depuis l'aval des eaux chargées est

observée dès le début de l'étiage au cours d'une marée de vives-eaux. La remontée se limite plus en aval durant les mortes-eaux suivantes au cours desquelles seules transitent à la station des eaux d'origine fluviale à faibles teneurs. La marée moyenne qui succède suffit à ramener les eaux chargées. Par la suite, au minimum de l'étiage, celles-ci atteignent la station à toutes les marées, les teneurs en suspension étant d'autant plus élevées que les coefficients sont forts.

La remontée des suspensions au cours de l'étiage, qui révèle une forte extension des eaux et des matières vers l'amont, liée aux phénomènes de dynamique, est examinée dans le cadre de l'étude des risques de pollution au paragraphe 5.3.6..

Aux Pères, les minimums sont encore observés à marée basse, sauf pour une des faibles marées. A Guatémala, le minimum a lieu au contraire le plus souvent à marée haute en raison de la présence d'eau de mer peu chargée. Il convient de remarquer aussi l'influence du vent, lequel en créant des vagues dans cette partie peu profonde de l'estuaire, est un facteur essentiel de la remise en suspension des sédiments du fond. Ces vagues sont plus violentes au jusant qu'au flot en raison des orientations contraires du vent et du courant. En outre, le brassage est plus efficace quand la profondeur est moindre, c'est-à-dire à marée basse.

L'étude des variations temporelles des matières en suspension, notamment dans la région de Gourdonville, montre que l'on pourrait éviter de traiter des eaux trop chargées, en fin d'étiage, en arrêtant le pompage dans l'estuaire une à deux heures environ avant et après la haute mer.

7.7. Turbidité

Les résultats de turbidité mesurée par la méthode aux gouttes de mastic sur des eaux non filtrées mais décantées (cf. §. 2.2.2.) sont présentés dans le tableau ci-dessous avec les valeurs relatives aux teneurs en suspension, et aux salures correspondantes.

Nombre d'échantillons	Turbidité (gouttes de mastic)	Teneurs en suspension P (mg/l)	Salure (mg/l)
6	4 - 8	1750 - 300	32500-6100
3	18 - 43	780 - 110	1270- 570
1	52	33	14
4	106 - >120	820 - 170	187- 14

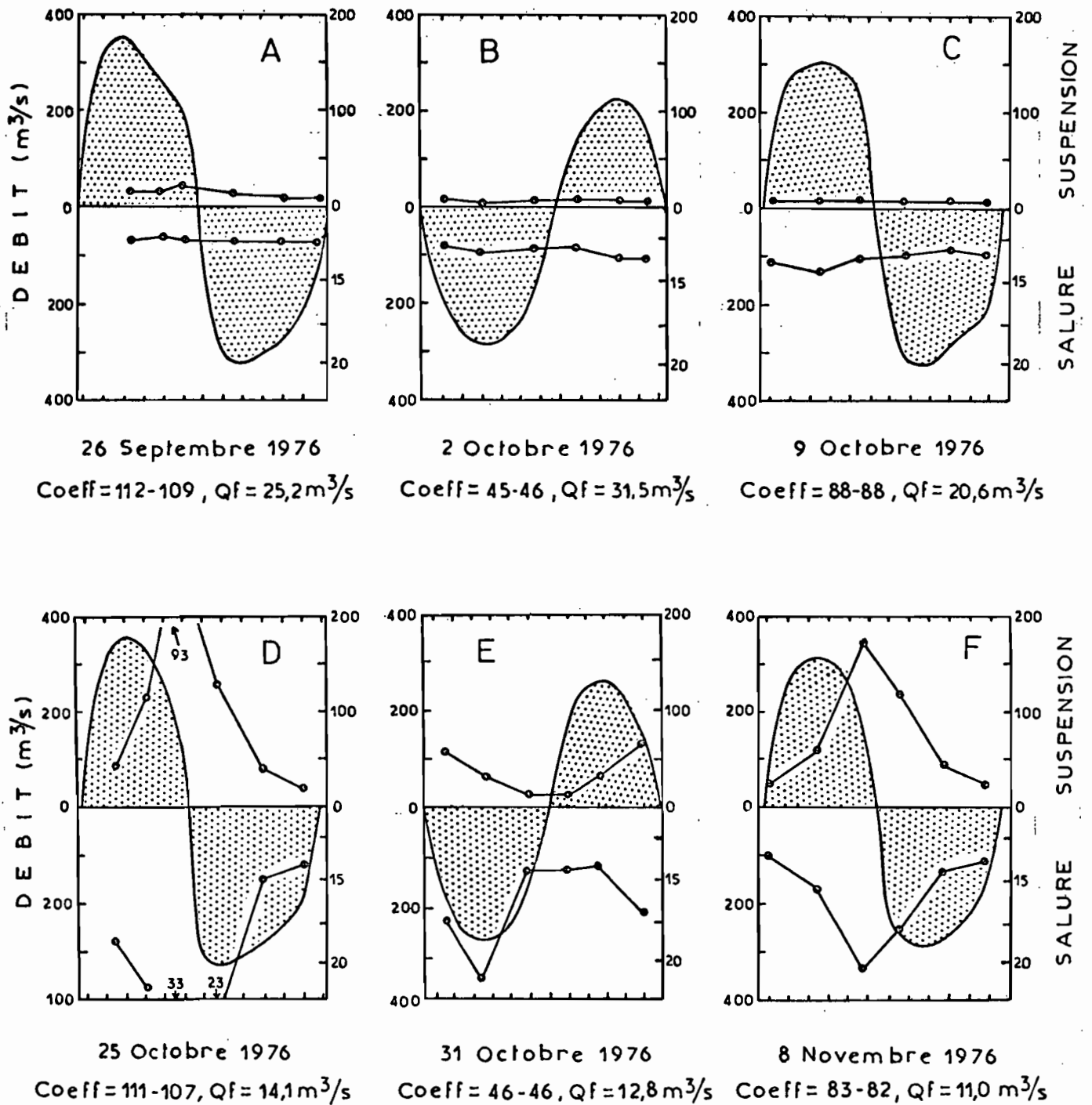


Fig. 21 : Variation semi-diurnes des débits oscillants (m^3/s), des charges en suspension (mg/l) et de la salure (mg/l), dans l'estuaire du Kourou, à Gourdonville, pendant l'étiage.

Dans l'ensemble de l'estuaire, les turbidités sont comprises entre 4 et plus de 120 gouttes de solution de mastic.

Les 15 échantillons choisis définissent une gamme étalée de teneurs en suspension (de 33 à 1750 mg/l) et de salures (de 14 à 32500 mg/l). Il faut remarquer que les turbidités les plus faibles sont celles des eaux les plus salées et les plus chargées en suspension, prélevées à proximité de la mer et à la station des Pères. Les valeurs les plus fortes, pouvant dépasser 120 gouttes, correspondent à des eaux de Gourdonville ou de Socoumou, à concentrations en suspension et à salures très faibles.

De ces analyses, il ressort une tendance à une variation de la turbidité des eaux décantées, inverse de celle de la teneur en suspension et de la salure. Cette relation est due aux caractéristiques physico-chimiques des eaux salées qui favorisent la floculation des suspensions, des colloïdes, de certaines matières dissoutes comme le fer ainsi que la minéralisation de la matière organique.

La turbidité recommandée pour les eaux d'alimentation étant de 25 gouttes, celle des eaux de l'estuaire en amont de Socoumou, qui est de 19 à plus de 120 gouttes, se révèle trop élevée et demandera donc un traitement approprié.

7.8. Couleur. Essai de décoloration

Les couleurs médianes, observées dans l'estuaire au cours des différentes marées, varient entre 5 et 40 mg de platine par litre. Elles tendent à diminuer vers l'aval, présentant, selon les marées, des valeurs médianes comprises entre 25 et 40 mg/l aux trois stations amont, et entre 5 et 18 mg/l aux deux stations aval. Les valeurs extrêmes dans l'ensemble de l'estuaire sont 45 mg/l, à Socoumou et moins de 5 mg/l à Guatémala.

A Gourdonville, les médianes varient, selon les marées entre 30 et 35 mg/l, avec des valeurs extrêmes de 30 et 40 mg/l.

Des essais de décoloration ont été effectués par adjonction de sulfate d'alumine (cf. §. 2.2.2.) dans les eaux les plus colorées, prélevées aux trois stations amont. Pour des colorations initiales de 35 à 45 mg/l, les valeurs finales après traitement se répartissent entre 15 et 25 mg/l. Dans la gamme ainsi définie, les résultats obtenus ne semblent pas fonction des valeurs originelles.

7.9. Salures ioniques globales S

7.9.1. Définition de la salinité et de la salure ionique globale

Pour les Océanographes, la notion de salinité englobe l'ensemble des éléments dissous dans l'eau de mer, dans laquelle la silice dissoute représente moins de 0,2%. Les teneurs

relatives en silice des eaux continentales atteignant par contre des valeurs élevées, de l'ordre de 40%, comme en Guyane par exemple, il apparaît alors indispensable de distinguer la silice des ions. De plus, le comportement de la silice et des ions dissous sont généralement très différents. Aussi au terme de "salinité" est-il substitué pour les eaux continentales celui de "salure ionique globale", ou simplement de "salure", pour exprimer la somme des teneurs en ions Cl^- , CO_3H^- , CO_3^{--} , SO_4^{--} , Na^{++} , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Fe^{+++} .

7.9.2. Relation entre la salure globale et la conductivité

Les ions majeurs en solution assurent aux eaux l'essentiel de leur conductivité électrique C, dont la mesure permet par corrélation de connaître les teneurs ioniques globales S. La corrélation $S \text{ (mg/l)} = f(C)$, ($\mu\text{mhos cm}^{-1}$, 25°C) établie pour les eaux du Kourou (fig. 22), sur la base de 165 valeurs étalées de 13 à 54500 mg/l, s'écrit

$$\log S = 0,9819 \log C - 0,2322 \text{ pour } C < 1000$$

$$\log S = 1,086 \log C - 0,544 \text{ pour } C > 1000$$

La relation ci-dessus a permis de contrôler la salure telle qu'elle a été mesurée en laboratoire, par dosage des teneurs en huit ions majeurs et addition des valeurs, en la comparant à celle qui a été mesurée in situ par un salinomètre Beckman, la conductivité des eaux en cause ayant été mesurée dans les mêmes conditions. Il a été ainsi constaté qu'une valeur de salure obtenue par la relation $S = f(C)$, c'est-à-dire par analyses en laboratoire, différait de 0 à 4% de la salure mesurée au salinomètre pour une première série de 23 échantillons (4000 à 23000 mg/l) et était identique pour une deuxième série de 19 échantillons (900 à 11000 mg/l).

Ces comparaisons confirment la qualité des résultats obtenus en laboratoire.

7.9.3. Répartition spatiale

Les mesures effectuées sur les échantillons prélevés au moment des inversions de courant à marée haute et à marée basse sur la verticale située au milieu de chaque section, ainsi qu'à marée haute tout au long de l'estuaire, permettent de tracer les courbes isohalines sur une coupe longitudinale de l'estuaire (fig. 23).

L'évolution longitudinale des salures de surface, observées à l'inversion du courant de marée haute, en fonction de la distance à l'embouchure, est portée sur la figure 24. Dans la zone de Socoumou et Gourdonville, les salures mesurées à l'inversion du courant de marée haute, sont reportées sur une carte (fig. 25) où elles marquent le maximum de la remontée saline pendant l'étiage 1976.

Les salures, extrêmes et médianes, observées en surface, au milieu de chaque section, durant les périodes de

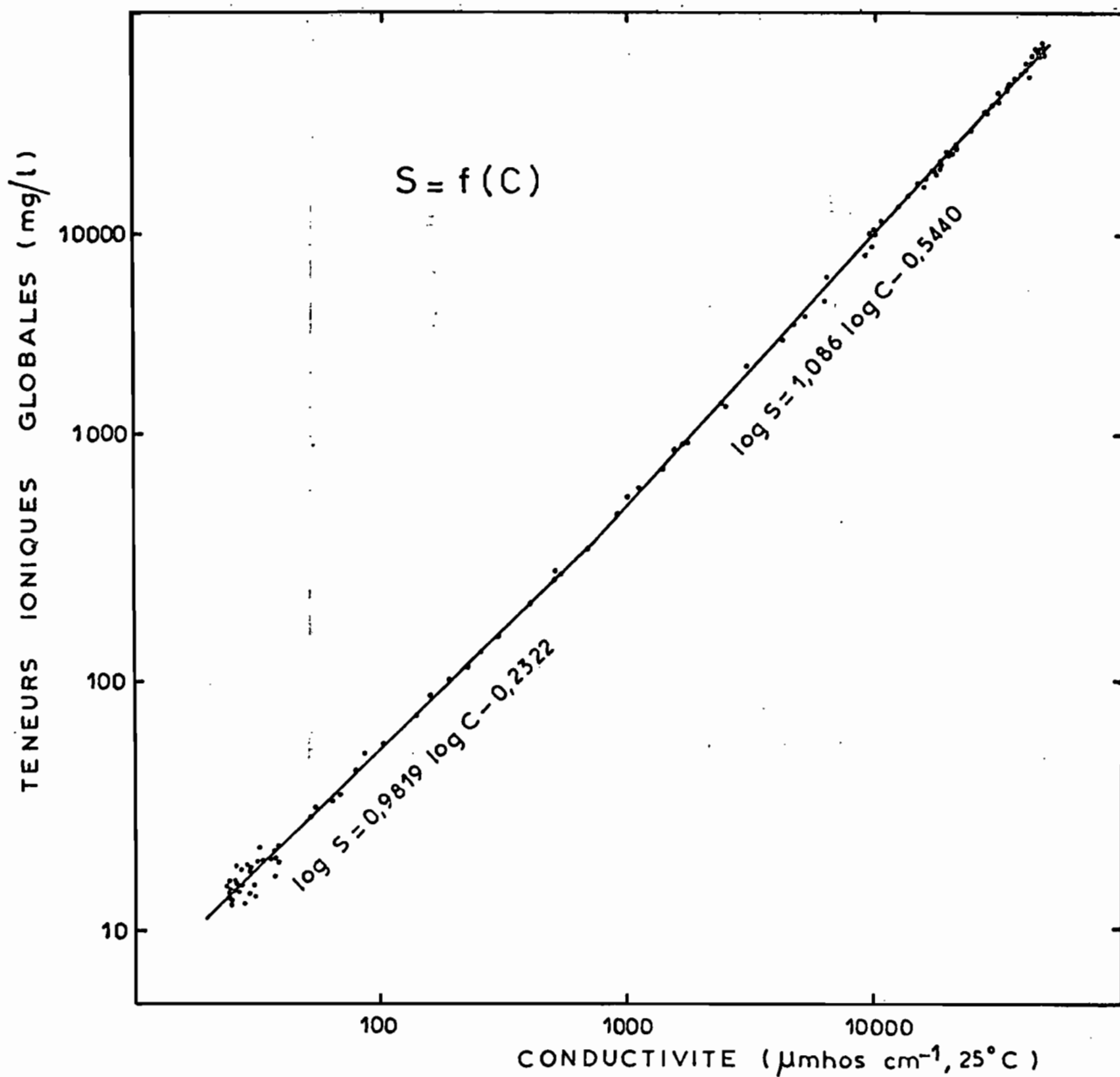
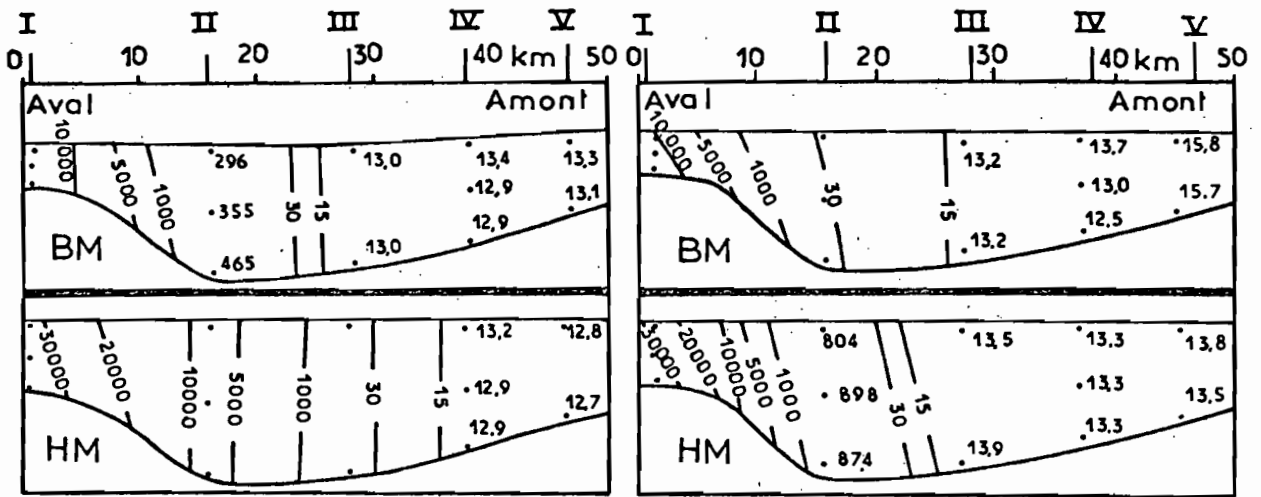
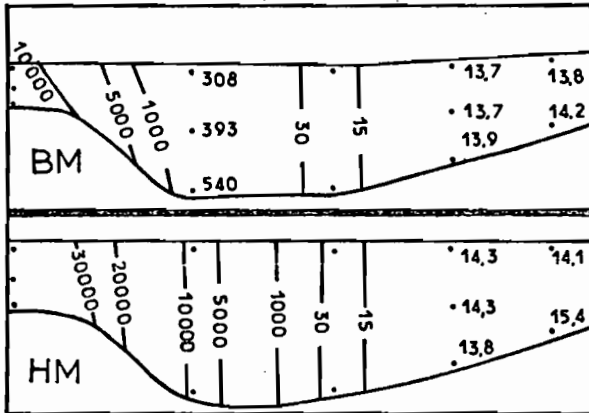


Fig. 22 : Relation entre la salure ionique globale et la conductivité des eaux de l'estuaire du Kourou.

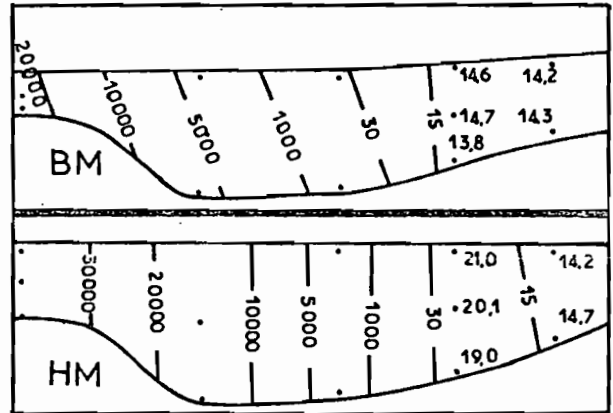


Campagne A, 26 Septembre 1976
Coeff = 112-109, $Q_f = 25,2 \text{ m}^3/\text{s}$

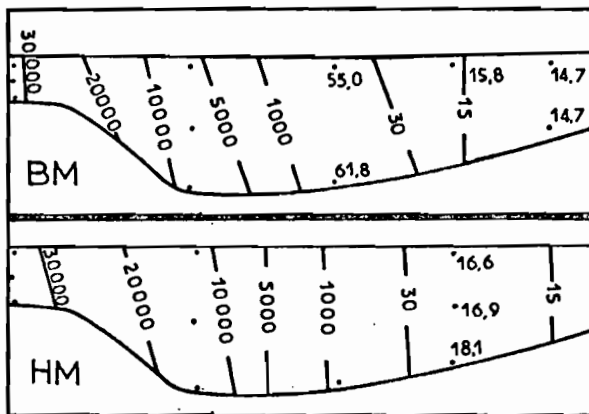
Campagne B, 2 Octobre 1976
Coeff = 45-46, $Q_f = 31,5 \text{ m}^3/\text{s}$



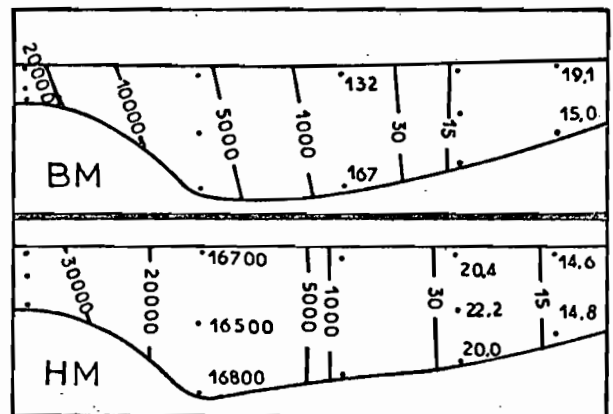
Campagne C, 9 Octobre 1976
Coeff = 88-88, $Q_f = 20,6 \text{ m}^3/\text{s}$



Campagne D, 25 Octobre 1976
Coeff = 111-107, $Q_f = 14,1 \text{ m}^3/\text{s}$



Campagne E, 31 Octobre 1976
Coeff = 46-46, $Q_f = 12,8 \text{ m}^3/\text{s}$



Campagne F, 8 Novembre 1976
Coeff = 83-82, $Q_f = 11,0 \text{ m}^3/\text{s}$

Fig. 23 : Répartition des salures (mg/l) sur une coupe longitudinale de l'estuaire du Kourou.

marée étudiées, sont présentées dans les tableaux A I à V placés en annexe. D'autre part, les salures moyennes des quinze prélèvements effectués six fois par période de marée aux différentes sections sont indiquées dans le tableau B I à V, en annexe.

a. Répartition longitudinale des salures

L'augmentation des salures, qui marque une proportion croissante des eaux de mer sur celle du fleuve, est considérable passant de 13,3 mg/l à Saramaca, à 34500 mg/l à Guatemala. La salure moyenne des eaux fluviales durant l'étiage, d'après les valeurs obtenues à Saramaca, Gourdonville et Socoumou, en période non influencée par la marée saline est 13,7 mg/l. Les valeurs moyennes aux différentes stations sont ainsi comprises entre 13,3 et 14,6 mg/l à Saramaca, 13,0 et 17,3 mg/l à Gourdonville, 13,9 et 180 mg/l à Socoumou, 23,1 et 11900 mg/l aux Pères, 16600 et 29500 mg/l à Guatemala.

b. Répartition verticale des salures

Les eaux de mer, plus salées donc plus denses que les eaux fluviales, pénètrent dans l'estuaire en s'écoulant préférentiellement près du fond, alors que, les composantes transversales et verticales du courant (cf. §. 5.1.) tendent en permanence à homogénéiser les eaux. En raison de ces mélanges et d'un apport fluvial faible pendant l'étiage, l'estuaire du Kourou montre une stratification saline très peu marquée. Sur la coupe longitudinale de l'estuaire, les courbes isohalines apparaissent verticales à marée haute et légèrement inclinées à marée basse (fig. 23). A Gourdonville, la répartition des conductivités dans une section (fig. 20) ne révèle aucune stratification en période non influencée par la remontée saline. Au maximum de cette remontée, l'écart entre les salures de surface et de fond n'a pas dépassé 7%.

7.9.4. Variations temporelles des salures et extension de la remontée saline

La variation semi-diurne des salures est directement liée à celle des courants oscillants, le maximum se produisant à la renverse de marée haute et le minimum à la renverse de marée basse. Ce phénomène est illustré sur la figure 21, pour la station de Gourdonville où une variation semi-diurne accentuée se manifeste en fin d'étiage, avec l'accroissement des salures. La nette augmentation des salures et l'apparition de la variation semi-diurne marquent l'extension de l'influence marine vers l'amont à la faveur de la diminution des débits fluviaux en dessous de 15 m³/s. Cette remontée des salures dans la zone amont de l'estuaire (fig. 24 et 25) se maintient tant aux faibles qu'aux fortes marées, avec cependant des oscillations fonction du coefficient de marée.

Lors de la marée de 112, du 24 octobre 1976, les

salures maximales à Terre Jaune, dans la zone comprise entre les deux méandres, ont atteint de 860 à 425 mg/l, tandis qu'elles ne dépassaient pas 42 mg/l à Gourdonville (fig. 25). Au cours de cette même marée, les salures supérieures à 250 mg/l, valeur qui représente la limite admissible pour l'industrie de la pâte, ont intéressé toute la zone estuarienne située 2 km en aval de Gourdonville. Au cours des fortes marées bimensuelles survenues pendant l'étiage 1976, la valeur limite a toujours été dépassée dans le méandre aval de l'ancien chantier Terre Jaune.

Par ailleurs, l'examen des mesures de salures effectuées en mai et octobre 1964, dans la même zone (fig. 25), révèle que pour une marée vives-eaux, les valeurs limites n'ont pas été atteintes à Terre Jaune (J. HOORELBECK -1966-). Il est probable que le débit fluvial, ces mois là, était plus élevé que ceux qui ont été estimés pour l'étiage 1976.

Cette remontée saline pour un étiage de fréquence 1/3, qui entraîne dans la zone de Terre Jaune des valeurs supérieures à la norme limite de 250 mg/l, implique que la prise d'eau soit implantée en amont de ce site. Gourdonville apparaît comme un des meilleurs emplacements.

7.10. Teneurs ioniques spécifiques

7.10.1. Le chlore Cl⁻

Des teneurs en chlore, comprises entre 3,7 et 5,9 mg/l sont observées aux trois stations amont de l'estuaire: à Saramaca, en permanence, à Gourdonville, lors des trois premières marées en début d'étiage, à Socoumou, seulement au cours de la première marée de mortes-eaux intervenant en début d'étiage.

La concentration originelle moyenne en chlore des eaux de la rivière Kourou, pendant l'étiage, peut, d'après ces résultats, être évaluée à 4,2 mg/l.

À Gourdonville l'augmentation des teneurs en chlore, constatée au cours des dernières campagnes, après celle des teneurs en suspension et des salures, confirme l'influence de la marée saline en fin d'étiage. Toutefois, à cette station, dans les conditions les plus sévères intervenues en 1976, la teneur maximale en chlore n'a pas dépassé 13 mg/l.

À Socoumou, par contre, cette influence est beaucoup plus marquée. Ainsi dans les conditions extrêmes, de la marée de lll et du débit fluvial de 11 m³/s, un maximum de 925 mg/l est noté à marée haute. En 1976, le cycle de marée intégrant cette forte marée a été le seul à déterminer à cette station des teneurs en chlore supérieures à 35 mg/l. Au cours de quelques grandes marées consécutives, soit environ cinq à six jours, la teneur en chlore limite pour l'alimentation en eau d'une usine de pâte de bois, soit 75 mg/l, a été dépassée durant moins d'une douzaine d'heures par jour.

Les conductivités mesurées à la haute mer tout

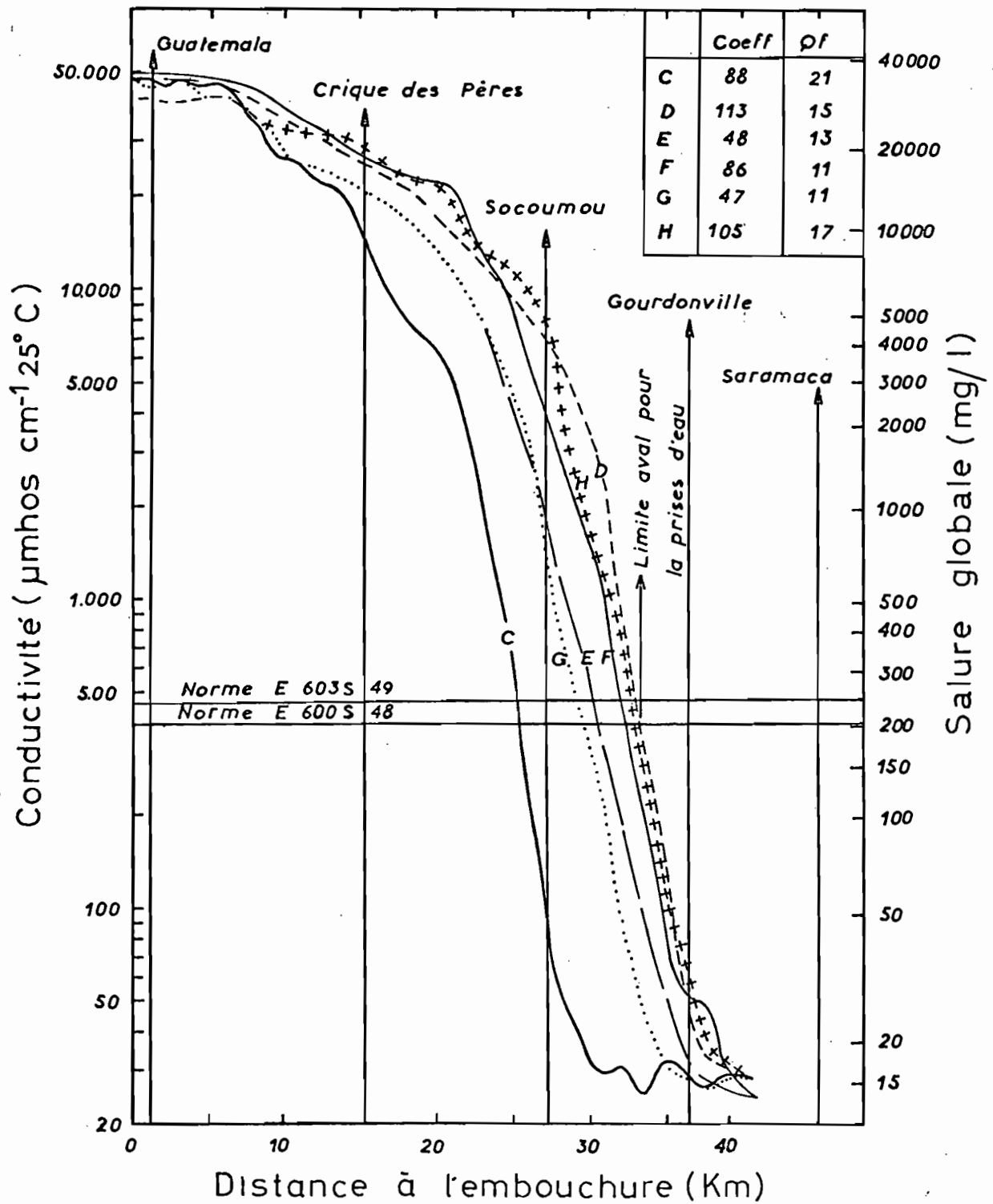


Fig. 24 : Variations longitudinales de la salure des eaux dans l'estuaire du Kourou à la pleine mer de marées à coefficients extrêmes, pendant l'étiage 1976.

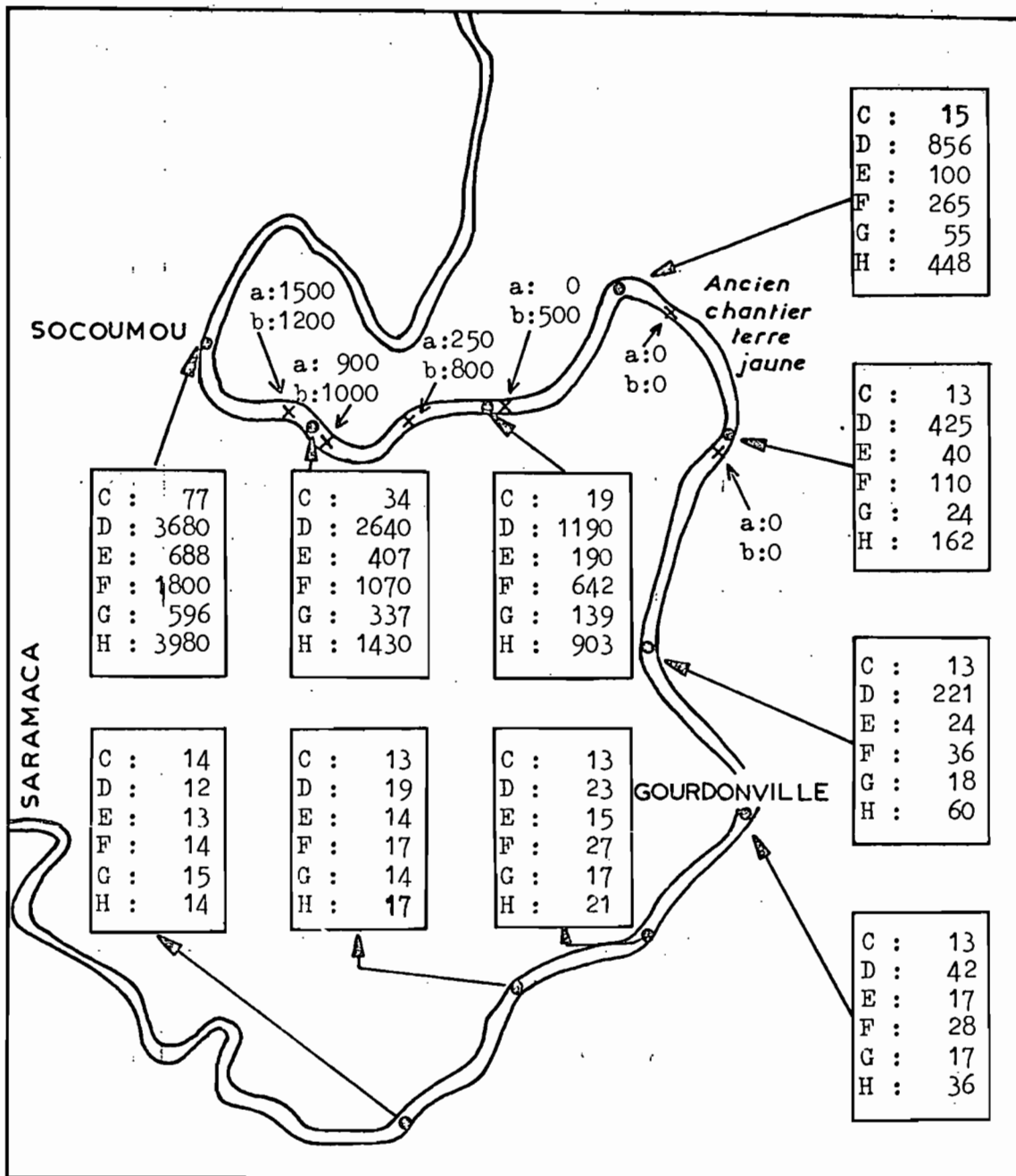


Fig. 25 : Salure (mg/l) des eaux de l'estuaire du Kourou, mesurées en octobre et novembre 1976, pendant l'étiage, au moment de l'inversion du courant, à la pleine mer de différentes marées (C,D,E,F,G,H). Les mesures correspondant aux lettres minuscules ont été effectuées en mai (a) et octobre (b) 1964.

au long de l'estuaire, traduites en teneurs en chlore selon la relation conductivité-chlore, (fig. 26) permettent de situer la concentration limite de 75 mg/l en amont de l'ancien chantier Terre Jaune. A ce site la valeur maximale aurait atteint 300 mg/l.

7.10.2. Les sulfates SO_4^{--}

Les sulfates, qui ne représentent pas un facteur restrictif à l'utilisation des eaux pour la fabrication de la pâte à papier, sont mentionnés ici en tant qu'ions majeurs dans les eaux naturelles.

Aux trois stations estuariennes amont, en période non influencée par la marée saline, les teneurs en sulfates sont comprises entre 0,5 et 1,8 mg/l, avec une moyenne de 0,85 mg/l, probablement voisines des concentrations originelles des eaux fluviales durant l'étiage.

Vers l'aval, les teneurs en sulfates croissent avec les salures globales, jusqu'à un maximum observé de 2600 mg/l.

7.10.3 Teneurs en bicarbonates CO_3H^- et titres alcalins T.A.

Aux trois stations amont de l'estuaire, hors de toute influence saline de la mer, les concentrations en bicarbonates varient entre 2,9 et 7,9 mg/l avec une moyenne de 4,1 mg/l, correspondant à un titre alcalin T.A. de 3,4 mg/l exprimé en CO_3Ca .

A Socoumou, la forte marée de lll survenue vers la fin de l'étiage a déterminé une valeur maximale de 15 mg/l, soit un T.A. de 12 mg/l.

La teneur en bicarbonates augmente vers l'aval, avec la salure. Elle atteint une valeur maximale de 83 mg/l aux Pères et de 134 mg/l à Guatémala, soit respectivement 68 et 110 mg/l de CO_3Ca .

L'ensemble des pH demeurant inférieurs à 8,3, les carbonates n'existent pas dans les eaux de l'estuaire, ainsi que le confirment les analyses.

L'alcalinité dans l'estuaire ne constitue donc pas un facteur limitatif à l'utilisation des eaux pour l'usine puisque la valeur maximale admissible de 75 mg/l de CO_3Ca n'est dépassée qu'en aval des Pères.

7.10.4 Les cations Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Fe^{3+} , Mn^{2+} ; essais de déferrisation ; les duretés.

Les eaux de l'estuaire aux trois stations amont, en période non influencée par la marée saline, présentent au cours de l'ensemble des marées observées, les teneurs médianes en cations et les duretés correspondantes suivantes.

Cations	Teneurs médianes extrêmes (mg/l)	Teneurs moyennes (mg/l)	Dureté médianes extrêmes CO ₃ Ca (mg/l)	Dureté totale moyennes CO ₃ Ca (mg/l)
Na ⁺	2,5 -3,1	2,8		
Mg ⁺⁺	0,45-0,62	0,51	1,9-2,6	2,1
Ca ⁺⁺	0,14-0,46	0,22	0,4-1,2	0,6
K ⁺	0,40-0,97	0,55		
Fe ⁺⁺⁺	0,44-0,98	0,69		
Mn ⁺⁺	0,01-0,02	0,01	0,02	
Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺	2,9 -3,7	3,3	2,2-3,8	2,7
Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺ + Fe ⁺⁺⁺ + Mn ⁺⁺	3,4 -4,7	4,0	3,0-5,5	3,9

Contrairement aux autres cations, les teneurs en fer tendent à diminuer avec l'augmentation de la salure et du pH. D'origine continentale, le fer est précipité en milieu saumâtre. La relation fer-conductivité (fig. 27) illustre ce phénomène. La disparition du fer dissous s'accroît lorsque la conductivité dépasse 150 à 200 µmhos. Dès 600 µmhos, 95% des teneurs en fer sont inférieures à 0,1 mg/l.

Les concentrations en fer dans les eaux estuariennes, comprises entre 0,4 et 1 mg/l, nettement supérieures à la teneur limite de 0,1 mg/l, obligeront à une déferrisation des eaux.

Des essais de déferrisation, ont été réalisés au laboratoire, en ajoutant 1 ml d'une solution à 10% de sulfate d'alumine à 100 ml d'eau estuarienne, laquelle après repos de 48 h est filtrée sur papier neutre "Durieux".

Les résultats ci-après mentionnés (en mg/l) montrent que les teneurs en fer n'ont pu être abaissées en dessous de la norme 0,1 mg/l, fixée pour limite admissible.

Echantillon	1	2	3	4
Teneur en fer initiale	0,43	0,58	0,59	1,50
Teneur en fer après traitement	0,11	0,26	0,22	0,28
Rapport de diminution	0,26	0,45	0,37	0,19

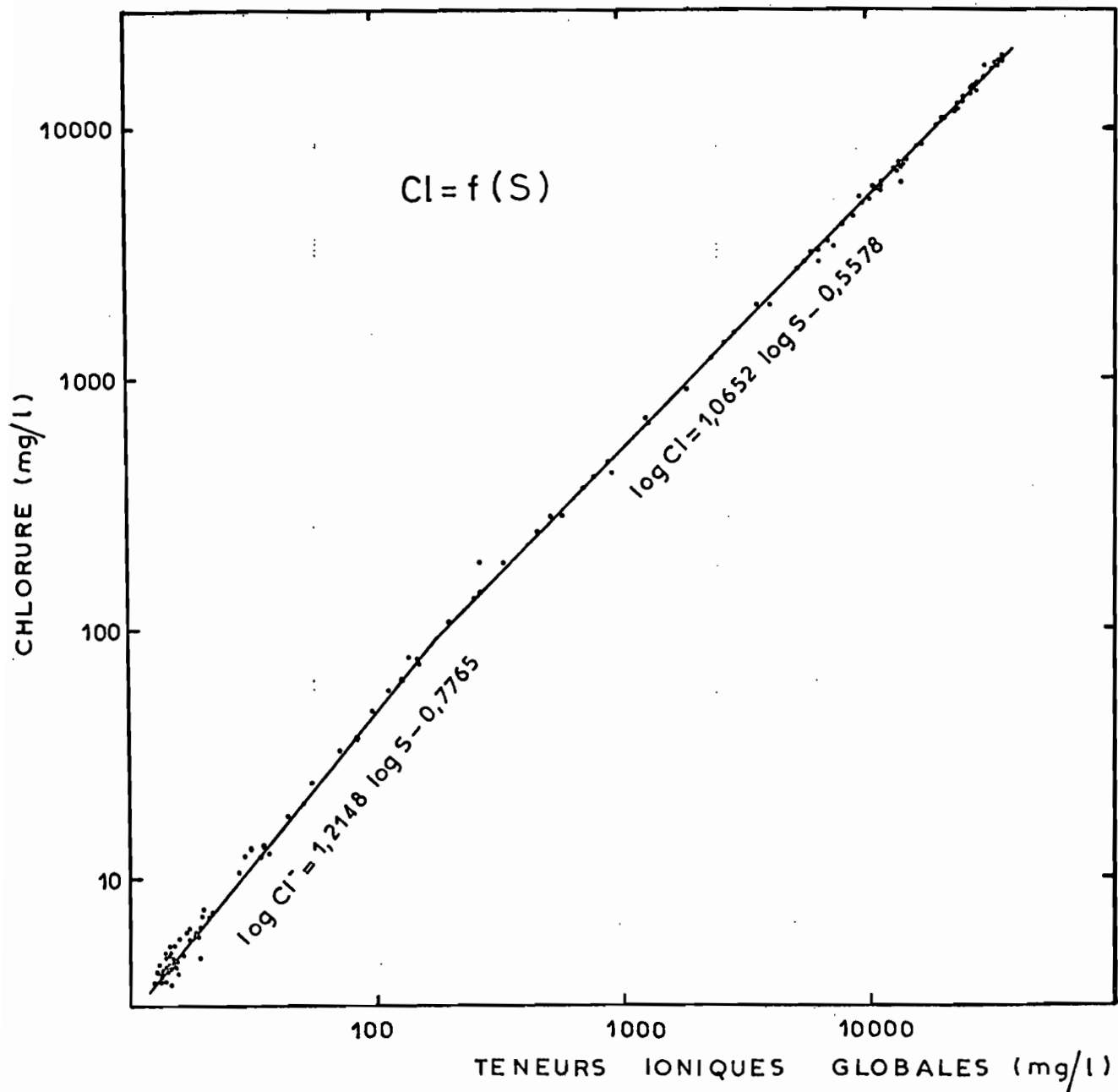


Fig. 26 : Relation entre la teneur en chlore et la salure dans les eaux de l'estuaire du Kourou.

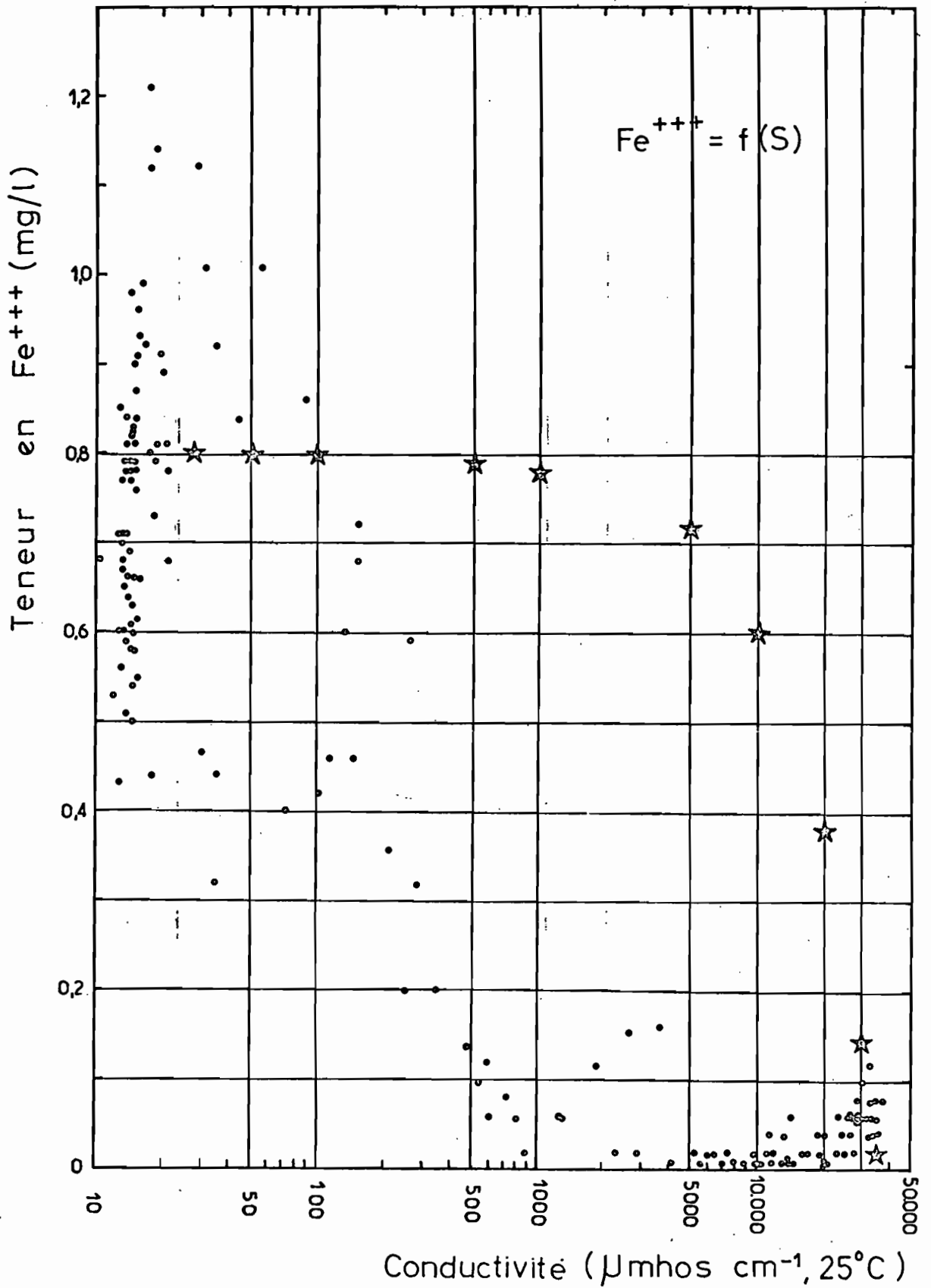


Fig. 27 : Evolution de la teneur en fer dissous en fonction de la conductivité dans les eaux de l'estuaire du Kourou. Les points figurés par des étoiles représentent les teneurs théoriques en fer correspondant à la dilution de l'eau fluviale dans l'eau de mer.

Le manganèse présente dans l'estuaire des concentrations maximales de 0,01 à 0,02 mg/l mais le plus souvent, en particulier dans la partie amont, les valeurs demeurent inférieures à 0,01 mg/l. La limite la plus sévère étant de 0,05 mg/l, la présence de cet élément ne paraît donc pas diminuer la qualité des eaux.

La limite des duretés calcique et magnésienne, exprimées en CO_3Ca , étant de 50 mg/l et celle des duretés totales de 100 mg/l, les eaux d'origine fluviale, avec des valeurs inférieures à 5,5 mg/l (tableau ci-dessus), apparaissent particulièrement douces.

Dans les conditions les plus défavorables à la qualité des eaux survenues en octobre 1976 au cours de la marée de lll, la dureté totale n'a pas dépassé 7 mg/l à Gourdonville.

Par contre à Socoumou, au cours de cette même marée, les duretés calcique, magnésienne et totale ont atteint respectivement un maximum de 70, 355 et 425 mg/l.

En période d'étiage, les valeurs limites de 50 et 100 mg/l se sont ainsi situées pendant quelques jours, à marée haute, entre Socoumou et Gourdonville.

Les duretés des eaux croissent rapidement avec les salures. Aux Pères, elles sont rarement inférieures aux normes. A Guatémala, la dureté totale peut atteindre 6500 mg/l.

7.11. Teneurs en silice dissoute SiO_2

Aux trois stations amont, les teneurs extrêmes en silice dissoute, observées pendant l'étiage au cours de différentes marées, varient entre 6,7 et 10,9 mg/l. La teneur moyenne à Socoumou est de 9,4 mg/l, et de 9,7 mg/l aux deux autres stations en cause.

Les concentrations en silice dissoute ont été portées sur la figure 28 en fonction de la conductivité des eaux et des proportions d'eau de mer dans les eaux estuariennes. Quand la conductivité dépasse $30 \mu\text{mhos cm}^{-1}$, les concentrations, de 8 à 12 mg/l, tendent à devenir en moyenne légèrement supérieures à celles de l'amont, comprises entre 7 et 11 mg/l, puis se stabilisent jusqu'à $1200 \mu\text{mhos cm}^{-1}$. Ensuite, avec l'accroissement des salures les teneurs varient de 7 à 2 mg/l aux environs de l'embouchure.

Les teneurs théoriques en silice, consécutives aux mélanges des eaux fluviales et marines, ont été calculées en prenant en considération des teneurs limites de 13 mg/l d'ions et de 10 mg/l de silice pour les premières et de 25 000 mg/l d'ions et 2 mg/l de silice pour les secondes. Les points représentatifs des teneurs en silice ainsi évalués, mentionnés par des étoiles sur la figure 28, indiquent que les teneurs en silice mesurées sont déterminées simplement par la dilution des eaux fluviales dans les eaux marines.

Les teneurs en silice, toujours très inférieures à la norme requise de 20 mg/l, peuvent être jugées satisfaisantes pour la fabrication de la pâte de bois.

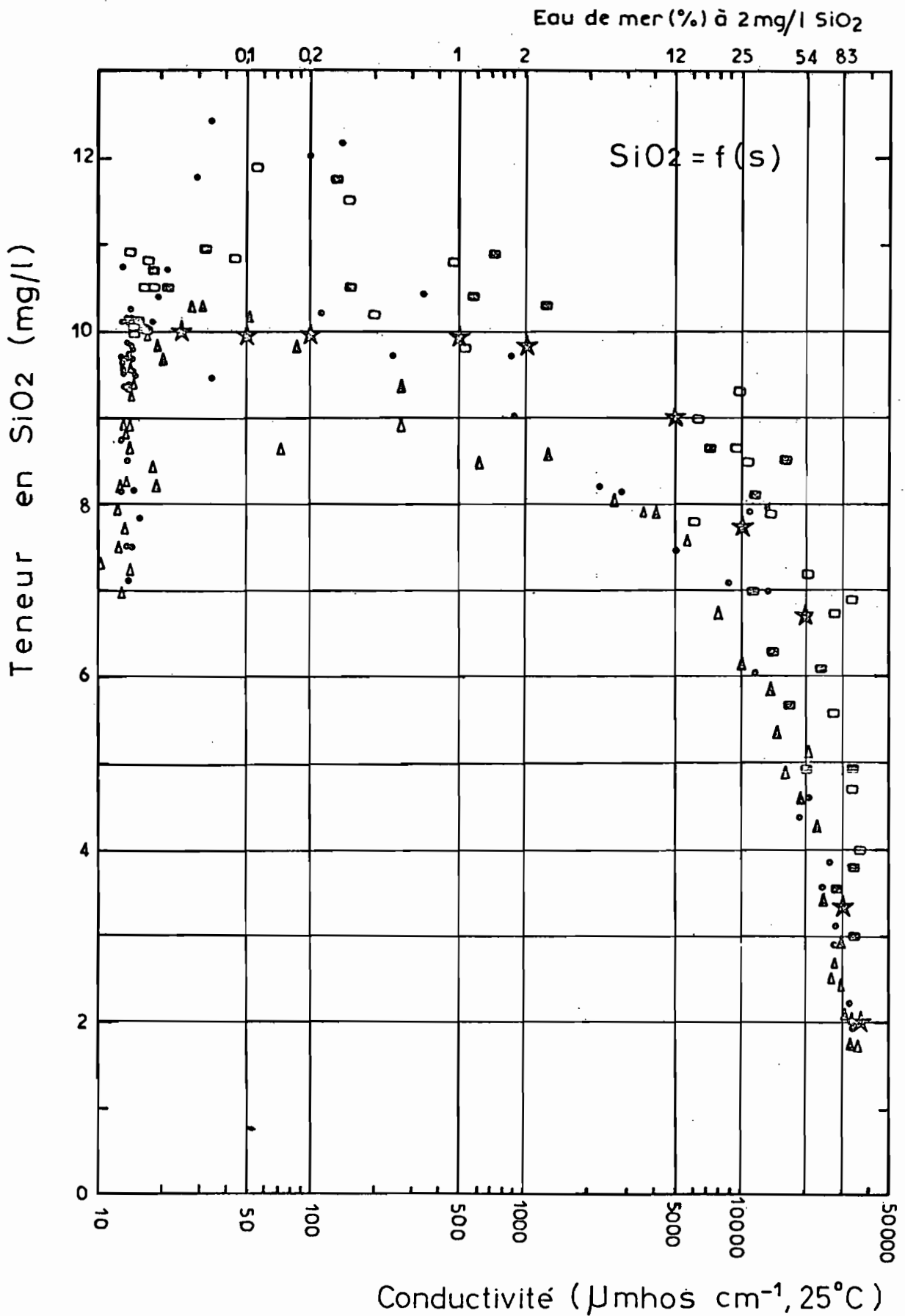


Fig. 28 : Evolution de la teneur en silice dissoute en fonction de la conductivité dans les eaux de l'estuaire du Kourou. Les points figurés par des étoiles représentent les teneurs théoriques en silice correspondant à la dilution de l'eau fluviale dans l'eau de mer.

8. CONCLUSION

Les observations réalisées dans l'estuaire du Kourou à cinq stations réparties sur une cinquantaine de kilomètres depuis l'embouchure, ainsi que les prélèvements effectués d'aval en amont, permettent de caractériser l'évolution longitudinale de la dynamique et de la physico-chimie des eaux estuariennes pendant l'étiage. Il est ainsi possible de situer l'emplacement optimal du site de pompage recherché pour la future usine, et, d'évaluer les risques de pollution que les eaux résiduaires rejetées dans la crique des Pères pourraient entraîner dans les eaux d'alimentation tant de l'usine considérée, que de la ville de Kourou.

Alimentation

La consommation en eau de l'usine située au droit de Gourdonville représenterait, avec $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$, 2% du débit moyen pluriannuel de l'apport fluvial. Le taux de prélèvement serait moins important pendant la saison des pluies mais plus élevé en saison sèche. Ainsi pendant l'étiage, ce taux atteindrait 6% du débit mensuel minimum moyen ($23 \text{ m}^3/\text{s}$), 10 à 8% du débit caractéristique d'étiage moyen (13 à $17 \text{ m}^3/\text{s}$) et 14 à 9% du débit journalier minimum moyen ($9,5$ à $13,5 \text{ m}^3/\text{s}$).

Si l'on considère les débits correspondants de fréquence décennale les proportions respectives deviennent 8%, 12 à 15% et 16 à 23%.

Les évaluations de débits, relatives à Gourdonville, restent valables en cas de déplacement de la prise d'eau de quelques kilomètres en amont ou en aval de cette station de référence car la variation de superficie du bassin versant ainsi engendrée, à laquelle est liée celle de l'apport amont, est peu sensible.

Sur le seul plan quantitatif, les possibilités d'alimentation en eau d'une usine de pâte de bois offertes par les débits du Kourou apparaissent donc suffisantes dans les environs de Gourdonville.

Qualité

Les eaux de la rivière Kourou, comme celles des autres cours d'eau guyanais (M.A. ROCHE et al. -1974-) se placent parmi les moins minéralisées du globe. Des salures ioniques globales de 13 à 15 mg/l sont conservées pendant l'étiage dans toute la partie amont de l'estuaire jusqu'à une quarantaine de kilomètres de l'embouchure puis augmentent rapidement par mélange avec les eaux d'origine marine. A Gourdonville, ce n'est qu'en fin d'un étiage de fréquence 1/3 environ, pendant un mois, qu'une faible influence de la remontée saline se manifeste. Toutefois cette influence n'entraîne pas à cette station, comme le montrent les valeurs présentées dans le tableau VIII, des caractéristiques moyennes extrêmes supérieures aux normes auxquelles se réfèrent les Papetiers.

Tableau VIII : Normes de qualité E 603 S 49, prises en considération dans l'industrie de la pâte de bois, et caractéristiques physico-chimiques moyennes minimales et maximales des eaux de l'estuaire du Kourou à Gourdonville, pendant l'été 1976.

	Normes E 603 S 49	Caractéristiques moyennes extrêmes à Gourdonville	unités
Salure	250	13-42	mg/l
Chlore	75	4,0-6,6	mg/l
Fer	0,1	0,60-0,92	mg/l
Manganèse	0,05	0,01	mg/l
Alcalinité (en CO_3Ca)	75	2,9-3,7	mg/l
dureté calcique (en CO_3Ca)	50	0,4-0,6	mg/l
dureté magnésienne (en CO_3Ca)	50	2,0-3,0	mg/l
dureté totale (en CO_3Ca)	100	3,5-5,3	mg/l
Silice	20	8,0-10,1	
Turbidité	25	52-107	gouttes
Teneurs en suspension	-	5-49	mg/l
Couleur	-	30-35	
DCO	4	2,9-3,4	mg/l
Température	-	24-29	°C
pH	7	6,4-7,0	

Par contre, si la prise d'eau était implantée 2 km environ en aval, un risque de disposer d'eau de qualité inférieure pourrait apparaître, en fin d'étiage, à la haute mer des marées de vives-eaux. Ainsi dans les conditions hydrologiques de 1976, le site de l'ancien chantier Terre Jaune ne paraît pas convenir pour l'implantation de la prise d'eau, plusieurs normes limites de qualité étant dépassées à chaque haute mer des fortes marées. Le site de Gourdonville est donc mieux adapté aux exigences de qualité des eaux.

Les turbidités (52 à 107 gouttes) et les teneurs en fer (0,6 à 0,9 mg/l), dont les valeurs (avec la DCO) croissent vers l'amont, contrairement à l'évolution des autres caractéristiques physico-chimiques, représentent à Gourdonville, les seuls facteurs de valeurs supérieures aux normes de qualité admises par les Papetiers. Un traitement de floculation et de déferrisation s'imposera donc.

Les expériences réalisées en laboratoire à cet effet, ont révélé que des teneurs en fer initiales de 0,43 à 1,50 mg/l ont pu être abaissées de 0,11 à 0,28 mg/l par traitement au sulfate d'alumine. De même, la couleur de 35 à 45 mg/l de platine par litre a été ramenée de 15 à 25 mg/l.

Le pH, également, dont la norme optimale est de 7, paraît, avec des valeurs comprises entre 6,3 et 7,0, à tendance trop acide.

Risques de pollution

Les risques de pollution des prises d'eau en cause, et d'une façon plus générale, de l'estuaire dans son ensemble, ont été envisagés tant sur le plan des dérives que sur celui de la dilution que subiront les eaux résiduaires.

Les composantes transversales et verticales de l'écoulement, mises en évidence par l'observation de flotteurs, outre leur rôle dans la réalisation des mélanges, régleront dans une large mesure, la dérive d'éventuels produits flottés (écumes, débris...). De tels déchets seraient d'abord rassemblés au sein de la traînée qui, en amont de la confluence des Pères, marque le front de convergence au niveau duquel les courants transversaux portent vers le fond. Avec le déplacement de ce front d'un bord à l'autre, les corps flottés seraient déportés sur les rives où ils se déposeraient, piégés par la végétation ripicole, jusqu'à ce que la composante transversale, souvent à l'occasion d'une inversion du courant longitudinal, vienne dans la direction favorable à leur éventuelle libération.

Un stockage sur les rives au cours des jusants, suivi de reprises successives pendant les flots, peut entraîner certains produits flottés jusqu'à Gourdonville et même Saramaca, soit sur une distance beaucoup plus importante que les dérives de flot de fréquences rares.

Deux modes de pollution ont été examinés au cours de la présente étude. L'un, s'exerce sur une distance limitée

avec des dilutions faibles au cours de la rapide dérive de flot, l'autre accompagne loin en amont, mais avec des dilutions fortes, la lente remontée saline qui se produit durant l'étiage.

- Dans le premier cas, les relations établies entre les dérives, les coefficients de marée et les débits fluviaux, permettent de conclure que la dérive de fréquence décennale, depuis la confluence de la crique des Pères en direction de l'amont, s'arrête quelques centaines de mètres en aval de l'ancien chantier Terre Jaune. Par contre, la dérive maximale, de fréquence inférieure à la décennale ($< 1/10$), peut dépasser ce site de quelques centaines de mètres sans atteindre cependant Gourdonville. L'écart entre les dérives amont, de fréquence annuelle et de fréquence inférieure à la décennale, de l'ordre de 3 km, s'avère faible. Chaque année, plusieurs dérives atteignent Bistouri, situé 5 km en aval de Terre Jaune. L'incidence du pompage effectué pour l'alimentation en eau de l'usine représentera un accroissement de la dérive amont d'une centaine de mètres seulement. La dilution consécutive à cette dérive amont depuis la crique des Pères, varie entre 0,8 et 0,06 selon les marées observées.

La dérive maximale envisageable depuis la crique des Pères s'arrêtant 12 km en aval de Dégrad Saramaca, la prise d'eau, qui de ce site alimente la ville de Kourou et la base spatiale, ne court aucun risque de pollution par des produits dissous ou en suspension, tandis qu'un tel risque subsiste pour des produits flottés.

En ce qui concerne l'évacuation des rejets vers la mer, pendant l'étiage, les dérives de surface depuis le confluent de la crique des Pères à marée haute, atteignent l'embouchure au cours du jusant lorsque le coefficient de marée est supérieur à 80. Depuis le confluent de la crique Ouayabo, les dérives de surface dans la crique des Pères, puis l'estuaire du Kourou, oscillent entre le Mont Galliot pour un coefficient de 35, se cantonnant dans la crique, et le débarcadere du Vieux Kourou pour un coefficient supérieur à 115. Le coefficient doit être supérieur à 55 pour que les dérives arrivent jusqu'à l'estuaire du Kourou. Aussi, afin qu'une grande part des produits puissent déboucher en mer au terme de quelques jusants successifs, il conviendrait d'effectuer les rejets dans la crique des Pères peu avant les vives-eaux, au moment de la haute mer. Dans de telles conditions, l'évacuation sera d'autant plus efficace que le point de rejet sera situé plus en aval dans la crique des Pères, la situation optimale, compte tenu de l'emplacement choisi pour la future usine, étant le confluent de la crique des Pères et de l'estuaire.

- Dans le deuxième cas, il apparaît que l'extension de la marée saline au cours de l'étiage, d'après les mesures effectuées au moulinet, ne peut être provoquée dans la zone amont de l'estuaire du Kourou, ni par un accroissement de la dérive des eaux consécutif à la diminution du débit fluvial, ni par la résultante de ces dérives qui se révèle orientée systématiquement vers l'aval tant en surface qu'en profondeur.

Il semblerait donc que matières en suspension et salures, par suite de phénomènes de freinage et de piégeage au fond et sur les rives de l'estuaire, accusent, pour une part d'entre elles, un retard par rapport à la dérive liquide telle qu'elle est mesurée. Ne revenant pas en totalité à leur point de départ initial au terme d'une période de marée, contrairement aux quantités d'eau mesurées, les matières peuvent progresser vers l'amont par oscillations et dilution successives, étendant ainsi au gré des marées l'influence marine.

Les polluants suivraient le cheminement des matières en solution ou en suspension, selon leur nature, pour atteindre Gourdonville, lors d'un étiage de fréquence inférieure à 1/3. Toutefois, l'importance des dilutions que subiraient les substances, depuis la confluence de la crique des Pères jusqu'à Gourdonville, (minimum de $4 \cdot 10^{-3}$ en 1976), écartent, semble-t-il, tout danger de pollution pour la future prise d'eau. La prise d'eau alimentant la ville de Kourou depuis Dégrad Saramaca, qui demeure d'ailleurs hors de l'influence saline, serait épargnée de tout risque.

Il est à souligner par ailleurs que l'envasement ou l'ensablement à l'embouchure de l'estuaire pourrait connaître, comme il est observé à l'embouchure des autres fleuves guyanais, de grandes variations pluriannuelles éventuellement susceptibles de modifier à long terme la remontée saline et les dérives telles qu'elles ont été définies dans les conditions actuelles.

B I B L I O G R A P H I E

- AUBERT (M.J.) -1973- Pollutions marines et aménagement des rivages. Rev. intern. Océan. méd., suppl., 309 p., 64 fig.
- BARNES (R.S.K.), GREEN (J.) -1971- The estuarine environment. Applied Science, London, 133 p.
- BELLESORT (B.), MIGNIOT (Cl.) -1972- Etude comparative des mouvements sédimentaires dans quelques estuaires. La Houille Blanche, 8, pp. 695-702, 5 fig.
- BENNERT (H.), TARDIF (M.), ORGERON (C.) -1968- Estuaire du Mahury - Aménagement du chenal. L.C.H.F., 116 p., planches.
- BERTHOIS (L.), HOORELEBECK (J.) -1968- Etude dynamique de la sédimentation dans trois cours d'eau de la Guyane française. La rivière Mahury, la rivière de Cayenne et le fleuve Maroni. Mém. O.R.S.T.O.M., 128 p., 64 fig.
- BILLON (B.) -1968- Mise au point des mesures de débits solides en suspension. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrol., V, 2, pp. 3-13.
- BRUGIERE (J.M.), HOORELEBECK (J.) -1966- Dynamique fluviale dans la basse Conté. Effets de marée à Dégrad Edmond. O.R.S.T.O.M., Cayenne, 14 p., 3 fig.
- CARRE (P.) -1972- Quelques aspects du régime des apports fluviaux de matériaux solides en suspension vers le lac Tchad. Cah. O.R.S.T.O.M., Sér. Hydrol., IX, 1, pp. 19-45.
- CHOUBERT (B.), BOYE (M.) -1959- Envasements et dévasements du littoral en Guyane française. C.R. Ac. Sc., 249, pp. 145-147.
- DIACHISHIN (A.N.), ASCE (J.M.), HESS (S.G.), ASCE (M.), INGRAM (W.T.), ASCE (A.M.) -1953- Sewage disposal in tidal estuaries. Americ. Soc. Civil. Engin. Proceedings, 76, 167, pp. 1-14, 6 fig.
- DYER (K.R.) -1973- Estuaries : A Physical Introduction. John, Wiley and Sons. 140 p.
- ECKENFELDER (W.W.) -1973- L'eau dans l'industrie. Pollution, traitement, recherche de la qualité. Entreprise Moderne d'Ed., Paris, 332 p.
- EVORA (J.) -1974- Le Papier. Sciences et Avenir, N° 323, pp. 38-53, 14 fig.
- FRANCIS-BOEUF (C.) -1947- Recherches sur le milieu fluvio-marin et les dépôts d'estuaire. Ann. Inst. Ocean., XXIII, 3, 344 p.

- GAUTHIER (M.J.) -1973- Milieu d'estuaire et pollution. Rev. intern. ocean. méd., XXX, 2, pp. 89-113, 7 fig.
- HIEZ (G.), DUBREUIL (P.) -1963- Les régimes hydrologiques de Guyane française. Mém. O.R.S.T.O.M., 119 p., 49 fig.
- HOEPPFNER (M.) -1973- Le réseau hydrométrique O.R.S.T.O.M. en Guyane française. Serv. Hydrol. O.R.S.T.O.M. Cayenne, 40 p., 20 fig.
- HOEPPFNER (M.) -1974- Caractéristiques principales du régime hydrologique en Guyane française. Serv. Hydrol. O.R.S.T.O.M. Cayenne, rapp. provisoire, 16 p., 31 fig.
- HOORELBECK (J.) -1966- Etude de l'alimentation en eau de la base spatiale de Kourou, Serv. Hydrol. O.R.S.T.O.M., 23 p., 6 fig.
- INGLIS (Sir C.C.), ALLEN (F.H.) -1957- The regimen of the Thames estuary as affected by current, salinities and river flow. Maritime and Waterways Engineering Division meeting, pp. 827-878, 21 fig.
- KETCHUM (B.H.) -1951- The exchanges of fresh and salt waters in tidal estuaries. J. Mar. Res., pp. 18-38, 5 fig.
- LARRAS (J.) -1964- Embouchures, estuaires, lagunes et deltas. Eyrolles ed., Paris, 171 p., 60 fig.
- LE FLOCH (J.) -1961- Propagation de la marée dans l'estuaire de la Seine et de la Seine Maritime. Thèse de Doct. ès Sciences, Paris.
- LERIQUE (J.) -1965- Etude de la remontée de la marée et de la salinité dans les rivières Komo, Mbeï et Awebé. Serv. Hydrol. O.R.S.T.O.M., Paris, 50 p.
- LIVRE DE L'EAU -1964, 1966- CEBEDEAU, Herstal, Belgique, 5 tomes.
- MAEDA (H.), TAKESUE (K.) -1961- The relation between chlorinity and silicate concentration of water observed in some estuaries. Ocean. Works, Japan, 6, 1, pp. 112-120.
- MARTIN (J.M.) -1971- Contribution à l'étude des apports terrigènes d'oligoéléments stables et radioactifs à l'océan. Thèse doct. ès Sciences, Paris VI, Labo. Géol. dyn., 158 p., 59 fig.
- MARTIN (J.M.) -1974- Estuaire de l'Orénoque. Coll. Géol. Caraïbes, juillet 1974.
- MAUVAIS (J.L.) -1971- Calcul des vitesses moyennes instantanées en Loire Maritime. Cah. Ocean., XXIII, 3, pp. 251-266, 13 fig.
- MIGNIOT (G.) -1969- Etude des principales caractéristiques de l'estuaire de la Gironde et des paramètres susceptibles d'intervenir dans un estuaire schématisé. L.C.H.F., 12 p.
- MILLIERE (H.) -1967- Mission d'études du Kourou. Centre Spatial guyanais. 2 vol., 81 p., planches.

- MONNET (Cl.) - Contribution à l'étude de la dynamique et de la nature des suspensions d'un fleuve intertropical, le Bandama, Côte-d'Ivoire. Evolution des éléments chimiques des eaux de son estuaire. Thèse d'Etat. Nice, O.R.S.T.O.M., 427 p., 95 fig.
- MOLINIER (M.), TOILIEZ (J.) -1973- Hydrologie de la région de San Pédro. Fleuves San Pédro, Néro et Brimay. O.R.S.T.O.M., Abidjan, 41 p., 19 fig.
- NOUVELOT (J.F.) -1972- Méthodologie pour la mesure en réseau des transports solides en suspension dans les cours d'eau intertropicaux peu chargés. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrol., IX, 1, pp. 3-18.
- PARKER (R.R.), SIBERT (J.) -1973- Effect of pulp mill effluent on dissolved oxygen in a stratified estuary - I. Empirical observations. Water Research Pergamon Press, 7, pp. 503-514, 8 fig.
- PRITCHARD (D.W.) -1954- A study of the salt balance in a coastal plain estuary. J. Mar. Res., 13, 1, pp. 133-144, 4 fig.
- PRITCHARD (D.W.) -1955- The dynamic structure of a coastal plain estuary. J. Mar. Res., pp. 33-42, 1 fig.
- PRITCHARD (D.W.) -1957- Discussion of "On estimating streamflow into a tidal estuary". Trans. Amer. geophys. Un., 38, 4, pp. 581-583.
- PRITCHARD (D.W.) -1958- The equations of mass continuity and salt continuity in estuaries. J. Mar. Res., 17, pp. 412-423.
- ROCHE (M.A.) -1973- Traçage naturel salin et isotopique des eaux du système hydrologique du lac Tchad. Thèse de doct. ès Science, Paris VI, Serv. Hydrol. O.R.S.T.O.M., 398 p., 131 fig.
- ROCHE (M.A.) -1972- Traçage hydrochimique naturel du mouvement des eaux dans le lac Tchad. Note présentée au Symposium sur l'Hydrologie des lacs. A.I.H.S., Helsinki, pp. 18-27.
- ROCHE (M.A.), DUBREUIL (P.), HOEPFFNER (M.) -1974- Dynamique des eaux, des sels et des sédiments en suspension dans les estuaires du Mahury et de l'Approuague. Etude en vue de l'alimentation d'une usine de pâte de bois (Guyane française). Sect. Hydrol. O.R.S.T.O.M., Paris, 80 p., 28 fig.
- ROCHE (M.A.) -1976- Méthodologie de mesure de la dynamique des eaux, des sels et des suspensions en estuaire. Quatorzièmes Journées de l'Hydraulique, Paris, septembre 1976.
- ROCHETTE (C.) -1964- Remontée des eaux marines dans le Sénégal. Serv. Hydrol. O.R.S.T.O.M., Paris, 81 p., 54 fig.
- TISON (G.) -1963- Méthode de détermination de la somme des débits d'amont d'un fleuve à marée. in "Mélange offert à Maurice Pardet", pp. 657-660, 1 fig.

A N N E X E

Tableau A I : Caractéristiques physico-chimiques et teneurs en éléments, maximales, médianes et minimales, des eaux de l'estuaire du Kourou à Guatémala. P = teneurs en suspension $>0,8 \mu$, en mg/l. S = salure = somme des ions, en mg/l. Coul = couleur, en mg/l de Pt. DCO = consommation d'oxygène à chaud, en mg/l. Teneurs en ions et en silice, en mg/l.

	A	B	C	D	E	F
P	1420 973 672	69 50 28	611 233 55	3800 1640 152	266 147 72	1100 404 37
S	32220 27400 12420	27640 16570 11610	34260 28950 13970	31280 29480 21970	34510 28230 21690	34390 31260 21410
C	44880 38660 18660	38970 24330 17530	47490 40670 20790	43670 41350 31540	47810 39730 31180	47650 43650 30802
Coul	15 11 10	12 10 10	15 10 10	15 7 <5	15 10 5	10 5 5
pH	7,8 7,5 7,3	8,0 7,9 7,7	8,1 8,0 7,9	7,9 7,7 7,6	7,8 7,6 7,4	7,9 7,8 7,7
DCO	3,8 2,9 2,7	2,9 2,1 1,7	3,1 2,5 2,3	3,1 2,9 2,7	3,5 3,1 3,0	3,5 2,8 2,3
Cl ⁻	19030 14520 6390	15830 9140 5960	20160 15380 6990	18600 17500 12280	19170 15370 11150	19170 17290 11220
CO ₃ H ⁻	133 108 51,9	114 57,9 50,0	133 113 59,8	128 96,4 89,1	104 89,7 79,3	134 121 84,2
SO ₄ ⁻⁻	2550 2090 894	2150 1260 786	2540 1980 921	2490 2303 1640	2590 2110 1580	2590 2360 1570
Na ⁺	10500 8750 3750	8680 4000 3630	11300 9400 4300	11450 9650 7800	12600 8330 6500	11400 8930 6000
Mg ⁺⁺	1310 1040 435	1020 610 400	1320 1040 480	1310 1160 820	1430 1080 805	1290 1170 760
Ca ⁺⁺	340 274 140	284 180 142	300 254 130	278 212 3,16	308 253 200	310 286 196
K ⁺	610 480 200	452 255 168	480 405 186	520 470 360	550 410 280	480 445 274
Fe ⁺⁺⁺	0,06 0,05 <0,01	0,06 0,04 <0,01	0,06 0,03 <0,01	0,12 0,06 0,02	0,08 0,06 <0,01	0,08 0,08 0,04
Mn ⁺⁺	0,01 0,01 <0,01	0,01 0,01 <0,01	0,01 0,01 0,01	0,02 0,01 0,01	0,02 0,01 0,01	0,01 0,01 0,01
SiO ₂	6,1 3,5 2,0	8,0 5,9 2,9	5,1 2,6 1,7	4,3 2,5 1,8	7,3 6,2 4,0	6,1 4,4 3,0

Tableau A II : Caractéristiques physico-chimiques et teneurs en éléments, du Kourou aux Pères. P = teneurs en suspension $\geq 0,8 \mu$, en mg/l. S = salure = somme des ions, en mg/l. Coul = couleur, en mg/l de Pt. DCO = consommation d'oxygène à chaud, en mg/l. Teneurs en ions et en silice, en mg/l.

	A	B	C	D	E	F
P	2330 658 85	313 192 125	1380 463 62	2750 1040 176	311 165 54	1483 611 118
S	8800 2820 262	839 62,8 23,1	8190 3370 285	19110 11880 3965	14330 10360 6400	16830 11890 6230
C	13580 4760 500	1560 189 42,2	12710 5620 545	27740 17910 6520	21280 15790 10140	24680 17920 9880
Coul	20 12 10	25 18 12	20 11 10	10 10 5	10 8 5	10 7 5
pH	7,4 7,2 6,7	7,4 7,2 7,1	7,7 7,5 7,2	7,5 7,4 7,3	7,4 7,4 7,2	7,7 7,6 7,5
DCO	3,7 2,5 2,2	3,1 2,8 2,1	3,0 2,0 1,9	2,6 2,4 2,1	2,6 2,3 1,9	3,1 2,6 2,4
Cl ⁻	4510 1400 135	415 51,2 12,6	4153 1704 142	10240 6280 2020	7170 5220 3270	8830 6040 3090
CO ₃ H ⁻	41,8 18,6 7,8	10,1 6,40 4,4	42,1 23,1 7,9	83,0 53,1 23,2	28,7 20,5 13,4	103 53,4 30,5
SO ₄ ⁻⁻	626 223 19,1	105 11,8 3,1	558 270 21,8	1440 877 290	1050 713 447	7,0 4,7 4,1
Na ⁺	3250 505 76,9	228 36,0 7,6	2800 1005 79,0	6300 4000 1500	4800 3150 2050	5600 4030 2500
Mg ⁺⁺	320 59,2 9,4	28,5 4,10 0,88	280 127 11,3	700 427 160	500 355 220	585 420 230
Ca ⁺⁺	90,0 18,4 3,3	7,8 1,9 0,38	80,0 40,0 4,1	184 130 56,0	144 111 77,0	164 114 70,0
K ⁺	150 52,0 4,5	14,0 2,7 0,80	113 48,5 5,1	270 182 75,0	176 127 80,0	220 158 76,0
Fe ⁺⁺⁺	0,20 0,02 <0,01	0,46 0,43 0,06	0,16 0,11 <0,01	0,02 <0,01 <0,01	0,02 0,01 <0,01	0,06 0,02 0,02
Mn ⁺⁺	0,01 <0,01 <0,01	0,01 <0,01 <0,01	0,01 <0,01 <0,01	0,01 0,01 <0,01	0,01 <0,01 <0,01	0,01 0,01 0,01
Silice	9,1 8,6 7,1	11,9 11,9 9,7	8,0 8,0 6,7	6,0 6,0 5,4	9,3 8,6 7,8	8,7 7,6 5,7

Tableau A III : Caractéristiques physico-chimiques et teneurs en éléments, maximales, médianes et minimales, des eaux de l'estuaire du Kourou à Socoumou. P = teneurs en suspension $> 0,8 \mu$, en mg/l. S = salure = somme des ions, en mg/l. Coul = couleur, en mg/l de Pt. DCO = consommation d'oxygène à chaud, en mg/l. Teneurs en ions et en silice, en mg/l.

	A	B	C	D	E	F
P	397 158 20	16,3 9,2 5,4	251 93 7,1	560 288 79	432 298 209	644 337 111
S	120 16,6 13,2	17,4 13,9 13,6	75,0 17,2 13,8	1787 180 27,9	16,7 15,2 13,9	20,8 16,1 14,1
C	225 30,1 23,9	31,7 25,2 24,6	140 31,2 24,9	3130 342 51,1	30,4 27,6 25,1	38,0 29,3 25,6
Coul	45 30 20	30 30 27	40 35 25	40 25 10	40 35 30	40 35 32
pH	6,9 6,4 6,3	7,2 7,1 7,0	7,0 6,9 6,9	6,9 6,8 6,6	7,0 6,5 6,4	6,9 6,8 6,7
DCO	4,4 4,2 3,5	3,3 2,8 2,7	3,7 3,2 2,8	3,1 2,8 2,0	3,2 2,9 2,6	3,2 3,1 2,8
Cl ⁻	57,5 6,6 4,3	4,9 4,4 4,3	32,3 5,1 4,0	923 87,0 10,7	6,2 4,6 4,5	7,0 4,7 4,1
CO ₃ H ⁻	6,9 4,3 3,4	7,9 4,2 3,5	6,1 4,1 2,9	14,7 6,7 4,6	4,0 3,7 3,6	4,2 4,5 4,3
SO ₄ ⁻⁻	10,6 2,2 0,95	1,15 0,88 0,60	10,5 1,4 1,24	154 19,2 2,0	1,5 1,1 0,83	1,9 1,2 0,74
Na ⁺	32,8 4,2 2,9	3,1 2,8 2,7	20,0 3,7 2,7	630 57,1 7,5	3,8 3,5 3,0	3,9 3,9 3,4
Mg ⁺⁺	1,4 0,69 0,44	0,60 0,50 0,44	3,1 0,69 0,52	85,0 6,3 1,17	0,72 0,62 0,59	2,0 0,82 0,64
Ca ⁺⁺	0,80 0,18 0,12	0,44 0,28 0,05	0,30 0,21 0,20	27,0 2,3 0,27	0,23 0,16 0,13	0,23 0,16 0,13
K ⁺	2,3 0,56 0,16	0,68 0,52 0,44	1,7 0,62 0,50	25,5 3,30 1,0	0,59 0,59 0,55	0,72 0,55 0,43
Fe ⁺⁺⁺	0,78 0,35 0,32	0,91 0,80 0,78	0,81 0,61 0,40	1,1 0,56 0,06	1,2 0,88 0,82	1,1 0,92 0,68
Mn ⁺⁺	0,01 0,01 <0,01	0,02 <0,01 <0,01	<0,01 <0,01 <0,01	0,02 <0,01 <0,01	0,01 <0,01 <0,01	0,01 <0,01 <0,01
SiO ₂	10,7 10,0 9,5	10,7 10,1 9,8	8,6 7,9 6,7	10,3 9,6 8,5	10,9 10,3 10,0	10,7 10,0 9,7

Tableau A IV : Caractéristiques physico-chimiques et teneurs en éléments, maximales, médianes et minimales, des eaux de l'estuaire du Kourou à Courdonville. P = teneurs en suspension $> 0,8 \mu$, en mg/l. S = salure = somme des ions, en mg/l. Coul = couleur, en mg/l de Pt. DCO = consommation d'oxygène à chaud, en mg/l. Teneurs en ions et en silice, en mg/l.

	A	B	C	D	E	F
P	20 13 6	5 5 4	6 5 5	221 49 13	59 27 10	152 43 15
S	13,1 13,0 12,8	13,5 13,4 13,1	15,9 13,8 13,5	30,0 17,3 13,0	16,7 15,2 13,9	20,8 16,1 14,1
C	23,7 23,6 23,2	24,4 24,2 23,7	28,9 24,8 24,5	55,0 31,4 23,5	30,4 27,6 25,1	38,0 29,3 25,6
Coul	35 35 30	35 35 30	35 35 30	40 30 25	40 35 30	40 35 30
pH	6,4 6,4 6,4	6,9 6,9 6,8	7,2 7,0 6,4	6,6 6,5 6,5	7,0 6,5 6,4	6,9 6,8 6,7
DCO	3,2 2,9 2,6	3,3 3,0 2,7	4,3 3,4 3,1	3,3 3,2 3,0	3,2 2,9 2,6	3,2 3,1 2,8
Cl ⁻	4,1 4,0 3,7	4,7 4,2 4,0	5,0 4,3 3,8	12,9 6,6 4,6	6,2 4,6 4,5	7,0 4,7 4,1
CO ₃ H ⁻	4,6 3,9 3,5	4,5 4,0 3,2	3,8 3,5 2,9	4,6 3,7 3,2	4,0 3,7 3,6	4,8 4,5 4,3
SO ₄ ⁻⁻	0,94 0,74 0,60	1,0 0,78 0,57	1,4 1,2 0,95	2,0 2,0 0,50	1,5 1,1 0,83	1,9 1,2 0,74
Na ⁺	2,8 2,7 2,6	2,8 2,7 2,6	2,9 2,9 2,6	8,2 4,1 3,6	3,8 3,5 3,0	4,4 3,4 3,4
Mg ⁺⁺	0,51 0,48 0,42	0,60 0,54 0,50	0,53 0,50 0,44	1,1 0,66 0,46	0,72 0,62 0,59	2,0 0,72 0,57
Ca ⁺⁺	0,26 0,17 0,10	0,39 0,23 0,18	0,25 0,22 0,21	0,20 0,16 0,13	0,23 0,16 0,13	0,23 0,16 0,13
K ⁺	0,83 0,60 0,44	0,75 0,50 0,50	0,70 0,61 0,47	1,2 0,61 0,46	0,59 0,55 0,47	0,72 0,55 0,43
Fe ⁺⁺⁺	0,71 0,67 0,65	0,84 0,78 0,77	0,71 0,60 0,43	1,1 0,80 0,76	1,2 0,88 0,82	1,1 0,92 0,68
Mn ⁺⁺	<0,01 <0,01 <0,01	<0,01 <0,01 <0,01	<0,01 <0,01 <0,01	<0,02 <0,01 <0,01	0,01 <0,01 <0,01	0,01 <0,01 <0,01
SiO ₂	9,7 9,6 9,4	10,7 10,1 8,5	8,2 8,0 7,3	10,3 9,8 9,6	10,9 10,3 10,0	10,7 10,1 9,7

Tableau A V : Caractéristiques physico-chimiques et teneurs en éléments, maximales, médianes et minimales, des eaux de l'estuaire du Kourou à Saramaca. P = teneurs en suspension $>0,8 \mu$, en mg/l. S = salure = somme des ions, en mg/l. Coul = couleur, en mg/l de Pt. DCO = consommation d'oxygène à chaud, en mg/l. Teneurs en ions et en silice, en mg/l.

	A	B	C	D	E	F
P	11,5 7,8 4,7	6,5 5,8 5,3	7,1 5,4 4,3	5,7 5,1 4,1	6,0 4,2 2,7	6,3 5,9 5,5
S	13,5 13,3 13,1	13,9 13,8 13,7	13,7 13,6 13,5	13,3	14,0	14,6
C	24,4 24,0 23,7	25,2 25,0 24,9	24,7 24,6 24,5	24,0	25,4	26,4
Coul	35 30 30	35 30 30	40 30 30	40	30	40
pH	6,6 6,5 6,4	6,8 6,8 6,8	7,0 6,9 6,8	6,5	6,6	6,8
DCO	3,3 2,9 2,3	4,7 4,0 3,6	3,1 3,0 2,9	3,0	2,8	3,1
Cl ⁻	5,4 4,2 3,9	5,9 4,2 4,0	4,8 4,5 4,3	4,2	3,9	3,2
CO ₃ H ⁻	5,0 4,6 4,1	4,3 3,5 2,9	4,9 4,1 3,7	3,8	4,4	4,3
SO ₄ ⁻⁻	1,2 0,70 0,52	1,8 1,5 1,4	1,1 0,90 0,60	0,50	5,2	1,0
Na ⁺	2,8 2,7 2,6	2,7 2,5 2,4	3,3 2,9 2,6	3,1	3,0	2,9
Mg ⁺⁺	0,52 0,45 0,38	0,61 0,55 0,50	0,49 0,45 0,40	0,46	0,53	0,62
Ca ⁺⁺	0,15 0,14 0,13	0,33 0,22 0,08	0,22 0,18 0,16	0,20	0,14	0,46
K ⁻	0,73 0,71 0,70	1,3 0,97 0,75	0,54 0,47 0,40	0,50	0,40	0,53
Fe ⁺⁺⁺	0,64 0,56 0,54	0,99 0,65 0,61	0,85 0,64 0,58	0,81	0,44	0,98
Mn ⁺⁺	$\leq 0,01$ $\leq 0,01$ $\leq 0,01$	$\leq 0,01$ $\leq 0,01$ $\leq 0,01$	$\leq 0,01$ $\leq 0,01$ $\leq 0,01$	$\leq 0,01$	$\leq 0,01$	$\leq 0,01$
SiO ₂	10,1 9,6 9,3	8,1 7,7 7,1	9,4 8,9 8,7	9,7	10,5	10,1

Tableaux B I et II : Variation de la salure S (mg/l) et de la teneur en suspension P (mg/l) moyennes des eaux dans la section à différentes heures t d'une période de marée.

Estuaire du Kourou à GUATEMALA (I)

N°	Date		1	2	3	4	5	6
A	24 sept 76	t	5h45	7h50	10h05	13h40	15h00	16h30
		S	32780	32720	26450	13950	21370	31120
		P	787	1110	1450	1230	1550	944
B	30 sept 76	t	5h50	6h05	8h45	10h40	13h05	15h45
		S	14690	16390	25060	31450	30210	19754
		P	387	712	1200	1404	665	1000
C	7 oct 76	t	6h00	8h25	11h50	13h20	15h00	16h45
		S	32310	29900	16550	19450	31400	33050
		P	15760	4440	17400	18940	12400	2210
D	23 oct 76	t	6h55	9h30	11h30	13h50	15h35	17h10
		S	28900	29240	29710	24220	31740	32090
		P	2410	3830	4680	9590	1930	2530
E	29 oct 76	t	5h20	7h30	9h50	14h30	14h25	16h10
		S	23380	28310	32250	31570	29160	26110
		P	7850	16670	20190	20530	23070	21140
F	6 nov 76	t	4h35	6h45	9h05	11h35	13h05	14h35
		S	32000	32040	31010	23290	24510	33090
		P	1340	860	5090	7440	9700	7830

Estuaire du Kourou aux PERES (II)

N°	Date		1	2	3	4	5	6
A	25 sept 76	t	6h30	9h20	12h05	14h35	15h45	16h50
		S	8690	9360	3070	413	997	3060
		P	2200	1840	1710	650	836	901
B	1 oct 76	t	6h00	8h30	10h35	13h00	14h55	16h45
		S	35,8	34,8	138	845	516	121
		P	319	166	310	99,4	125	253
C	8 oct 76	t	5h15	7h35	10h30	12h50	14h45	16h00
		S	7860	9880	3600	430	1130	3780
		P	1346	1271	1276	861	496	830
D	24 oct 76	t	6h15	9h10	11h35	13h50	15h15	16h45
		S	19460	17930	11930	5180	8160	13300
		P	2968	2750	1802	1201	1726	1632
E	30 oct 76	t	5h35	8h20	10h00	11h40	15h00	16h00
		S	6790	7300	10460	14060	12580	10980
		P	371	493	453	482	311	314
F	7 nov 76	t	8h20	10h05	12h25	14h20	15h50	17h35
		S	16150	12300	6510	7710	11810	16390
		P	1470	1130	591	701	1010	1710

Tableaux B III et IV : Variation de la salure S (mg/l) et de la teneur en suspension P (mg/l) moyennes des eaux dans la section à différentes heures t d'une période de marée.

Estuaire du Kourou à SOCOUMOU (III)

N°	Date		1	2	3	4	5	6
A	25 sept 76	t	9h00	11h40	13h55	15h55	17h40	18h45
		S	153	16,9	13,2	13,1	16,8	34,4
		P	327	115	26,4	41,9	193	492
B	1 oct 76	t	6h55	7h40	10h15	12h35	14h00	15h45
		S	12,9	13,3	13,0	14,7	13,7	13,3
		P	9,28	6,53	9,48	16,6	15,7	13,0
C	8 oct 76	t	9h10	11h05	13h10	15h45	17h30	19h10
		S	27,4	16,2	15,6	15,0	23,5	65,0
		P	139	38,3	14,4	26,2	145	303
D	24 oct 76	t	6h40	9h00	10h50	13h00	15h10	16h15
		S	1270	2390	356	53,9	32,3	88,1
		P	656	864	881	506	337	717
E	30 oct 76	t	5h55	8h25	10h10	11h45	14h25	16h15
		S	63,9	46,9	146	461	705	240
		P	391	271	487	387	184	406
F	7 nov 76	t	5h40	7h55	9h15	11h00	14h15	15h45
		S	722	1760	642	153	40,2	147
		P	492	332	486	589	353	692

Estuaire du Kourou à GOURDONVILLE (IV)

N°	Date		1	2	3	4	5	6
A	26 sept 76	t	6h25	7h50	9h00	11h30	14h00	16h00
		S	12,9	12,7	13,0	12,9	13,0	13,0
		P	16,5	16,1	22,9	13,5	9,9	9,1
B	2 oct 76	t	5h50	8h40	10h40	13h00	14h25	16h30
		S	13,6	13,4	13,3	13,9	13,9	13,3
		P	4,0	5,5	5,6	5,4	4,9	4,9
C	9 oct 76	t	5h30	7h30	9h40	12h05	13h55	15h30
		S	14,7	13,9	13,8	13,5	13,7	14,1
		P	6,9	7,9	6,7	6,0	5,8	5,6
D	25 oct 76	t	5h35	7h05	8h40	10h45	13h00	15h00
		S	18,7	21,2	25,0	22,8	15,1	14,3
		P	41,6	115	274	129	38,4	18,7
E	31 oct 76	t	5h50	8h00	10h05	11h40	14h00	16h05
		S	20,3	14,5	14,5	14,3	16,6	17,1
		P	32,8	14,4	14,7	32,0	64,8	58,4
F	8 nov 76	t	5h25	7h40	9h30	11h45	13h45	15h20
		S	15,7	20,1	17,9	14,6	14,1	13,8
		P	58,8	171	120	44,4	24,6	24,4

Tableau B V : Variation de la salure S (mg/l) et de la teneur en suspension P (mg/l) moyennes des eaux dans la section à différentes heures t d'une période de marée.

Estuaire du Kourou à SARAMACA (V)

N°	Date		1	2	3	4	5	6
A	29 sept 76	t	8h05	9h35	11h00	14h15	15h25	16h40
		S	13,1	12,8	12,9	13,2	13,2	13,2
		P	8,7	5,9	9,4	7,8	8,2	7,6
B	2 oct 76	t	6h10	7h30	9h50	12h00	13h55	15h30
		S	13,5	14,0	15,2	14,4	13,7	14,2
		P	7,6	7,7	6,8	6,6	6,9	5,9
C	9 oct 76	t	6h15	7h15	9h50	11h45	13h20	15h35
		S	15,1	15,0	14,2	14,1	13,9	14,0
		P	5,8	5,7	5,2	6,0	6,0	5,4
D	26 oct 76	t	6h40	7h50	9h35	11h25	12h35	14h15
		S	13,8	14,1	14,5	17,5	18,8	14,3
		P	5,9	6,6	7,1	7,3	6,2	5,8
E	30 oct 76	t	6h15	10h05	11h45	13h45	16h20	17h35
		S	14,6	14,8	15,0	15,1	16,1	18,9
		P	4,1	3,7	4,5	5,6	4,8	6,0
F	8 nov 76	t	5h10	6h10	7h10	9h35	11h05	14h55
		S	15,3	14,7	15,4	15,3	15,3	16,0
		P	6,4	6,9	7,1	7,1	6,9	5,6