

**LES TRANSPORTS SOLIDES
EN SUSPENSION DANS LA GAMBIE
A KEDOUGOU ET A GOULOUMBO**

Résultats de la campagne 1974

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

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

Avril 1975



OFFICE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
OUTRE-MER

CENTRE DE DAKAR

SECTION D'HYDROLOGIE

P.N.U.D.

Projet REG - 60

LES TRANSFERTS SOLIDES EN SUSPENSION DANS LA GAMBIE

A KEDOUGOU ET A GOULOUBO

Campagne 1974

par J. LERIQUE

Avril 1975.

SOMMAIRE

	Pages
- Introduction	1
- 1 - Généralités	2
- 2 - Résultats enregistrés	3
2-1 Station de KEDOUGOU	3
2-2 Station de GOULOUNBO	8
- 3 - Conclusion.	11

INTRODUCTION

Dans le cadre de la mise en valeur du bassin de la GAMBIE (projet PNUD REG 60) la Société HOWARD HUMPREYS and SONS confiait à l'ORSTOM par contrat signé le 5 décembre 1972 l'étude hydrologique du bassin continental du fleuve GAMBIE. Un point de cette étude concernait les mesures des transports solides.

Le programme 1973 prévoyait l'estimation du transport solide en suspension dans la GAMBIE continentale aux deux stations principales extrêmes : KEDOUGOU et GOULOUMBO.

A l'issue de cette campagne, les résultats de laboratoire n'ont pas donné satisfaction.

Le flocculant employé (silicate d'alumine) a été précipité avec les argiles en suspension et s'est concentré dans l'échantillon résiduel.

La concentration de la solution flocculante était peut être trop élevée, ou le produit de mauvaise qualité...

Les mesures de contrôle ont montré que les concentrations en sels dissous atteignaient 20 à 25 g/l masquant ainsi la teneur des argiles en suspension sans possibilité de correction.

Une seconde campagne de mesure a été entreprise en 1974. Les résultats figurent ci-après.

Nous ne reviendrons pas sur les caractéristiques physiques et climatologiques des deux bassins drainés à KEDOUGOU et GOULOUMBO ; elles figurent dans le rapport définitif de P. CHAPERON et N. GUIGUEN - "Etude hydrologique du bassin continental du fleuve GAMBIE (avril 1974)".

Les prises étaient réalisées selon la méthodologie ORSTOM : pompe Japy et ensemble de jaugeage suspendu avec le tuyau-raccord de la pompe et un lot de jerrycans de 10 litres.

Ces mesures en 6 points étaient doublées en cours d'opération par un échantillon témoin prélevé au site de prise du lecteur en vue de la comparaison des résultats obtenus.

16 opérations de ce genre ont été réalisées à KEDOUGOU, du 26 juin au 25 septembre 1974 et 9 à GOULOUMBO (du 13 juillet au 12 octobre 1974).

Chaque échantillon de dix litres était traité de la façon suivante :

- adjonction de 10 cc d'une solution mère de sulfate d'alumine dosée à 50 g/l,
- décantation pendant 24 heures,
- réduction après précipitations des argiles en suspension et dépôt des sables et limons, à un échantillon de 1 litre par siphonnage de l'eau surnageante clarifiée,
- transport des échantillons de 1 litre au laboratoire de DAKAR,
- évaporation à l'étuve à 105° pour l'obtention du résidu sec,
- pesée de précision de ce résidu,
- correction de - 0,05 g correspondant à l'injection dans l'échantillon de sulfate d'alumine dosée à 50 g/l.

2. - RESULTATS ENREGISTRES :

2.1. - Station de KEDOUGOU :

Le tableau ci-après reprend l'ensemble des résultats enregistrés :

- colonne 1 : n° du prélèvement,
- colonne 2 : date du prélèvement,
- colonne 3 : H : hauteur à l'échelle en cm au moment du prélèvement,
- colonne 4 : Q : débit correspondant à cette hauteur en m³/s, la valeur de ce débit a été déterminée à partir de la relation univoque $Q = f(H)$ établie à l'aide de 103 jaugeages,
- colonne 5 : valeur de la concentration ponctuelle du prélèvement effectué par le lecteur (C_p en g/m³),

- colonne 6 : valeur de la concentration ponctuelle de l'échantillon témoin, prélèvement lors de la mesure à 6 points (C_t en g/m³),
- colonne 7 : concentration moyenne dite "arithmétique" des mesures en six points obtenue en faisant la moyenne arithmétique des 6 concentrations ponctuelles (C_{ma} en g/m³).

Cette dernière valeur est assez représentative de la concentration moyenne sur l'ensemble de la section qui aurait pu être obtenue par des jaugeages plus complets (30 à 40 points de mesures). Pour des raisons de temps, d'efficacité et de cadence, eu égard à la courte période de la saison des pluies, nous avons opté pour cette méthode qui nous donnera avec une précision suffisante une estimation mensuelle du poids des matières solides transportées. De nombreuses études réalisées par les hydrologues de l'ORSTOM dans d'autres territoires : CAMEROUN, DAHOMEY, TCHAD, TOGO etc... ont montré que dans pratiquement tous les cas il existait des relations linéaires étroites entre les turbidités mesurées en un ou plusieurs points et la concentration moyenne mesurée dans l'ensemble de la section.

- colonne 8 : valeurs adoptées C en g/m³ des résultats en fonction de la relation éventuelle $C_t = f(C_{ma})$,
- colonne 9 : valeur du débit solide Q_s en kg/s obtenu par l'égalité $Q_s = Q \times C$.

Il est à noter que les colonnes 5, 6 et 7 reprennent les valeurs obtenues au laboratoire.

N°	Dates	H cm	Q m ³ /s	C_p g/m ³	C_t g/m ³	C_{ma} g/m ³	C g/m ³	Q_s kg/s
1	24.06	107	8,45	25			(
2	24.06	107	8,45		15		) 22	0,185
3	24.06	107	8,45			22	(
4	27.06	107	8,45	30			) 32,7	0,280
5	29.06	112	10,4	85			(
6	29.06	112	10,4		25		) 23	0,240
7	29.06	112	10,4			23	(
8	03.07	129	18,5	30				
9	03.07	145	27,0		25			
10	03.07	144	26,7			28	28	0,750
11	06.07	154	32,4	40			(
12	06.07	154	32,4		35		) 38	1,230
13	06.07	154	32,4			38	(
14	08.07	254	132,0	85			90	11,900
15	10.07	224	94,8		55		(
16	10.07	224	94,8			54	) 54	5,120

N°	Dates	H cm	Q m ³ /s	C _p g/m ³	C _t g/m ³	C _{ma} g/m ³	C g/m ³	Q _s kg/s
17	12.07	185	55,0	55			58,7	3,230
18	13.07	217	86,8		55		(78,0	6,770
19	13.07	217	86,8			78	) 78,0	
20	16.07	339	254,0	285		298	298,0	75,690
21	17.07	278	166,0		75		(95,0	15,770
22	17.07	278	166,0			95	) 95,0	
23	19.07	339	254,0	75			79,5	20,200
24	20.07	320	225,0		60		(63,0	14,200
25	20.07	320	225,0			63	) 63,0	
26	22.07	257	136,0	95			100,0	13,600
27	24.07	285	175,0		35		(39,0	6,800
28	24.07	285	175,0			39	) 39,0	
29	03.08	300	196,0	25			27,5	5,390
30	07.08	463	459,0	45			48,3	22,200
31	10.08	349	270,0	35				
32	10.08	351	274,0		25		(22	6,030
33	10.08	351	274,0			22	) 22	
34	16.08	380	322,0	70			74,3	23,900
35	17.08	385	330,0	70			74,3	24,500
36	17.08	434	411,0		135		(79,0	32,460
37	17.08	434	411,0			79	) 79,0	
38	21.08	656	783,0	160			168,0	131,500
39	24.08	670	808,0			(102) *	102	82,400
40	26.08	627	734,0	80			84,2	62,200
41	31.08	530	571,0	60				
42	31.08	532	575,0		65		(54,0	31,050
43	31.08	532	575,0			54	) 54,0	
44	05.09	417	383,0	25			27,5	10,500
45	07.09	415	380,0	25			27,5	10,500
46	08.09	480	488,0	45				
47	08.09	477	484,0		25		(38,0	18,400
48	08.09	477	484,0			38	) 38,0	
49	12.09	397	351,0	35			37,9	13,300
50	14.09	417	383,0	40				
51	14.09	465	462,0		45		(48,0	22,200
52	14.09	465	462,0			48	) 48,0	
53	16.09	545	596,0	15			17,1	10,200
54	21.09	410	372,0		20		(24,0	8,900
55	21.09	410	372,0			24	) 24,0	
56	25.09	339	254,0	35			(22,0	5,600
57	25.09	339	254,0		15		) 22,0	
58	25.09	339	254,0			22	) 22,0	
59	28.09	523	559,0	35			37,9	21,200
60	02.10	367	300,0	25			27,5	8,250
61	05.10	574	644,0	155			162,8	105,000

* : mesure incomplète (n° 39)

2.1.1. - Relation entre C_t concentration de l'échantillon témoin et C_{ma} concentration arithmétique de la mesure en six points.

Le graphique n° 1 illustre cette relation. Sur un ensemble de seize opérations, trois points accusent une dispersion assez forte par rapport à la droite ajustée ayant pour équation $C_t = 0,961 C_{ma} - 1,5$. Il semblerait dans ces trois cas que la prise de l'échantillon témoin ait eu lieu à la fin de l'opération de mesure.

La station de jaugeage est située à deux kilomètres environ à l'aval du point de prélèvement des échantillons témoins et il s'écoule un temps assez appréciable entre la fin de la mesure dans la section et l'opération de recueil de la prise témoin dont l'heure ne figure pas sur un document de terrain.

Les mesures du 13 et 17 juillet ont été réalisées en décrue et C_{ma} est supérieur à C_t .

Pour le 17 août, la GAMBIE était en pleine crue $H = 3,85$ m à 8 heures, 4,49 à 18 heures et 5,42 le 18 à 8 heures. De plus un élément de la mesure à six points était très hétérogène en comparaison des cinq autres concentrations ponctuelles. Nous avons hésité à prendre en compte les valeurs relevées le 17 août que nous considérons comme aberrantes.

A partir de la relation $C_t = f(C_{ma})$, dont le coefficient angulaire est voisin de 1, nous avons quand même revalorisé les valeurs trouvées en laboratoire de la concentration ponctuelle des échantillons prélevés par le lecteur. La concentration moyenne arithmétique des opérations en six points, plus représentative a été gardée telle quelle. Le graphique n° 2 illustre les variations de ces concentrations retenues. Elles ont été portées en superposition sur l'hydrogramme.

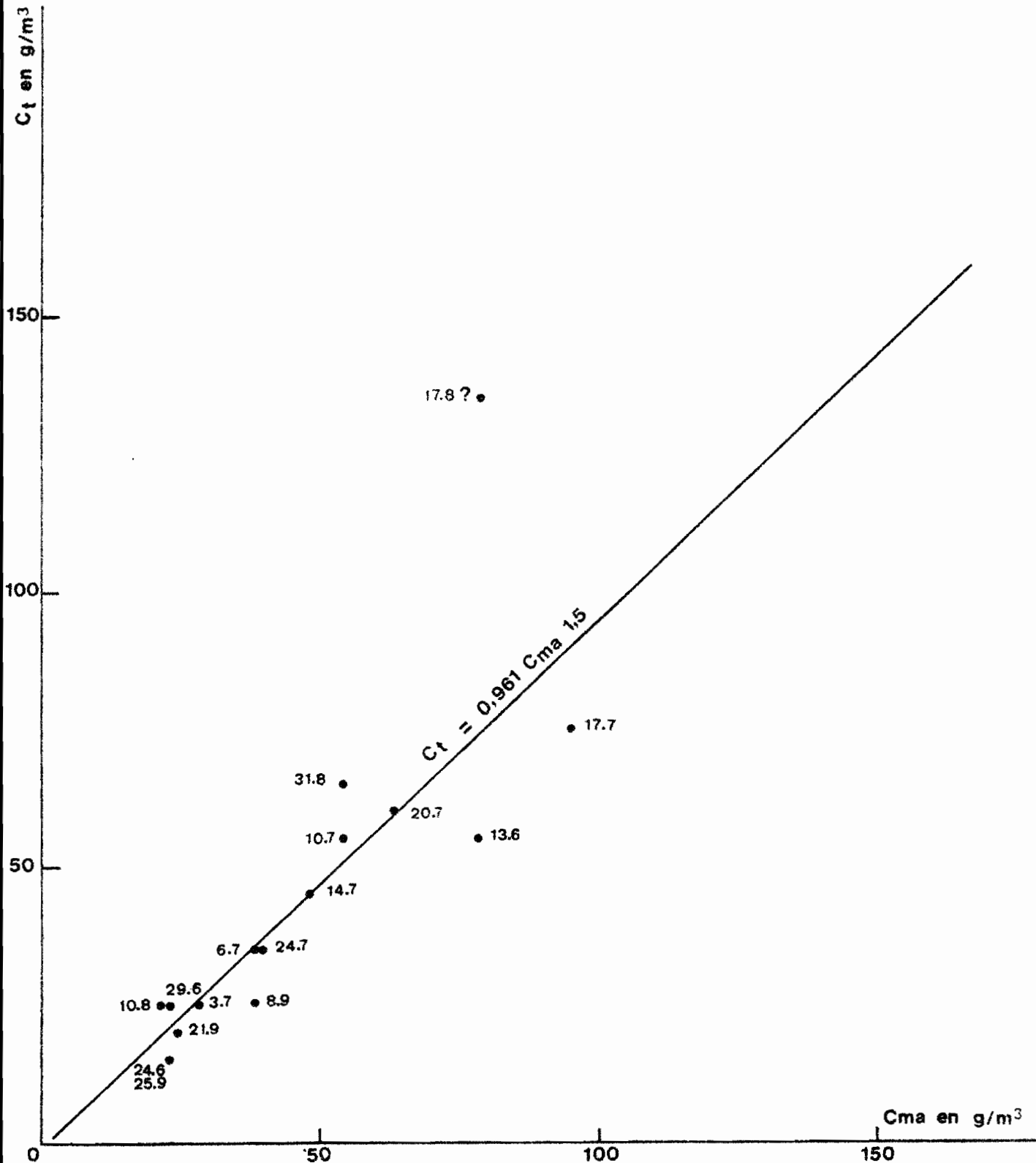
2.1.2 - Variation des concentrations :

Par rapport au débit enregistré, les concentrations en matières solides sont plus fortes au début de la saison des pluies qu'en pleine saison. Les premières averses qui ont provoqué le début de l'écoulement assurent le nettoyage quasi intégral de la surface du sol desséché par environ 9 mois de sécheresse, ce sol n'ayant plus aucune protection végétale. De 20 à 30 g/m³ fin juin la turbidité est pratiquement toujours supérieure à 40 g/m³ en juillet, en août les débits augmentent et les valeurs de la turbidité sont très variables. Elles plafonnent entre 30 et 40 g/m³ lorsque le fleuve est en décrue et elles peuvent monter à plus de 100 g/m³ en cas de crues brutales importantes. En septembre, les concentrations sont comprises entre 20 et 50 g/m³ en fonction des fluctuations du fleuve. Début octobre, c'est-à-dire au commencement de la baisse des eaux, la turbidité doit décroître très vite, les matériaux transportés ne provenant que de l'érosion des berges. on notera quand même le 5 de ce mois une concentration de 162 g/m³ relevée lors d'une crue très pointue, la dernière enregistrée, la GAMBIE charriant 240 m³ le 4 à 18 h et 640 le 5 à 8 heures.

KEDOUGOU

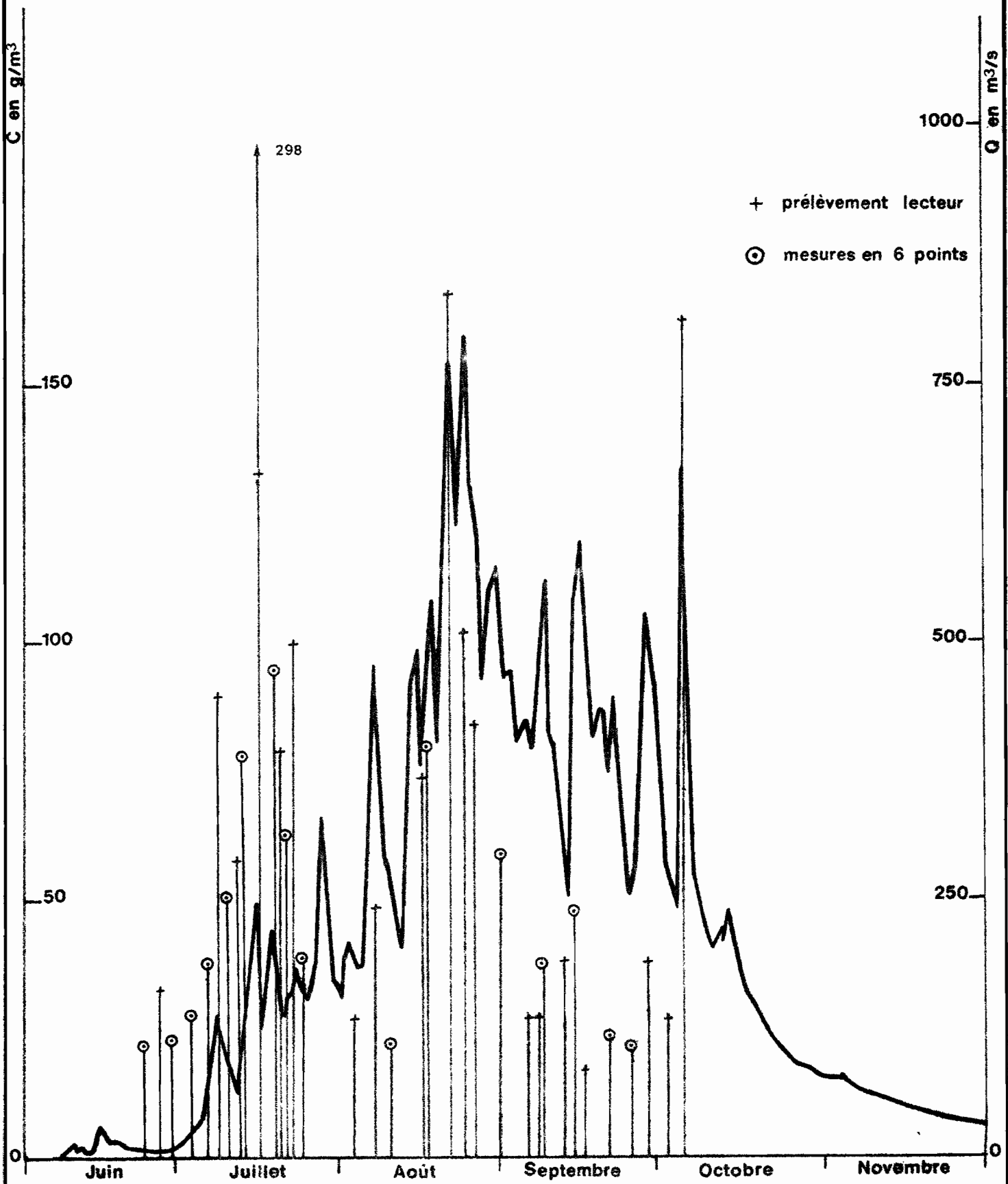
Gr 1

Corrélation entre la moyenne arithmétique
des concentrations de la mesure en 6 points (C_{ma})
et la concentration de l'échantillon témoin
pris à la station près de la berge C_t



KÉDOUGOU

Variations des Concentrations



A 12 h le même jour, le fleuve débitait près de 800 m³/s. La figure n° 3 reprend les variations de la concentration en fonction du débit. Elle illustre bien ce qui vient d'être dit ci-dessus. Malgré un hydrogramme en forme de dents de scie, nous voyons que les concentrations vont en augmentation depuis le début de l'écoulement jusqu'au maximum d'août pour décroître au fur et à mesure de la baisse des eaux. Il est à noter que la forte crue du 5 octobre apporte une réelle perturbation dans les transports solides au début du commencement traditionnel de la baisse des eaux.

L'examen un peu plus détaillé de concentration appelle quand même quelques observations : la concentration du prélèvement du 16 juillet avec 298 g/m³, valeur maximale enregistrée, nous semble forte mais elle est vraisemblable, quant à la turbidité du prélèvement du 16 septembre avec 15 g/m³, valeur minimale enregistrée, nous semble nettement sous estimée. Nous avons tenu compte de ces remarques pour le calcul des débits solides enregistrés les jours précités.

2.1.3. - Transports solides observés :

La fréquence faible des prélèvements ne nous permet que de faire une évaluation mensuelle des matières solides transportées.

La valeur du débit solide pour les jours avec prélèvements a été calculée à partir de la concentration obtenue du ou des prélèvements et du débit pris sur le barème de tarage correspondant à la hauteur relevée lors de la prise.

Pour les jours manquants, nous avons procédé arbitrairement par interpolation en tenant compte des résultats encadrant le ou les jours considérés. Le tableau suivant reprend les quantités mensuelles de matériaux en suspension transportées et ce, en milliers de tonnes :

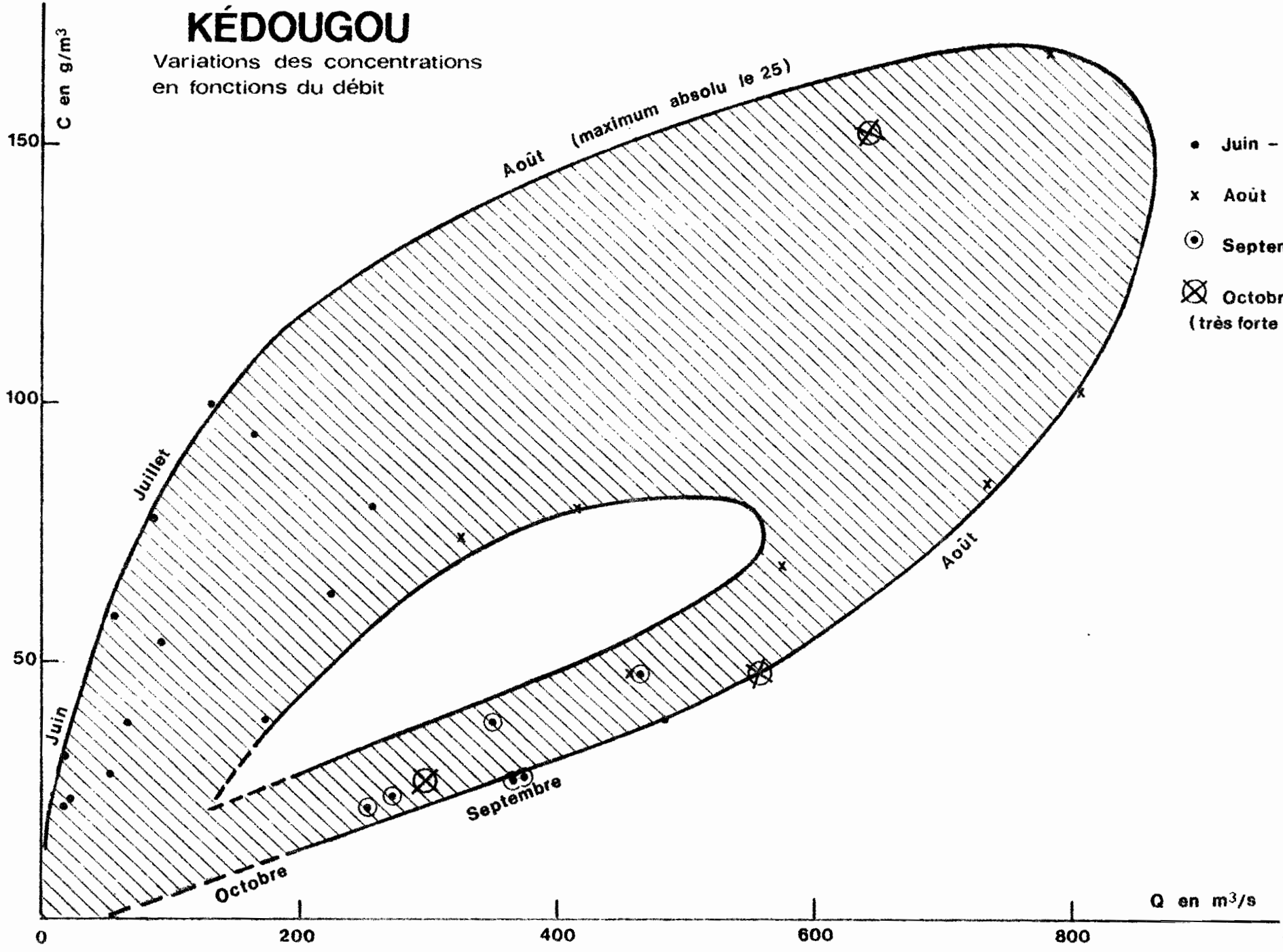
- mai	: très peu différent de 0
- Juin	: 0,4 (valeur indicative)
- juillet	: 30,0
- août	: 101,5
- septembre	: 40,1
- octobre	: 26,8 (valeur indicative)
<u>total</u>	: 198,8 x 10 ³ t.

Le graphique 4 reprend les variations des débits moyens journaliers, des débits moyens mensuels et des débits solides mensuels.

En considérant qu'à partir de novembre la décrue est bien amorcée et que la majeure partie des matériaux en suspension provient

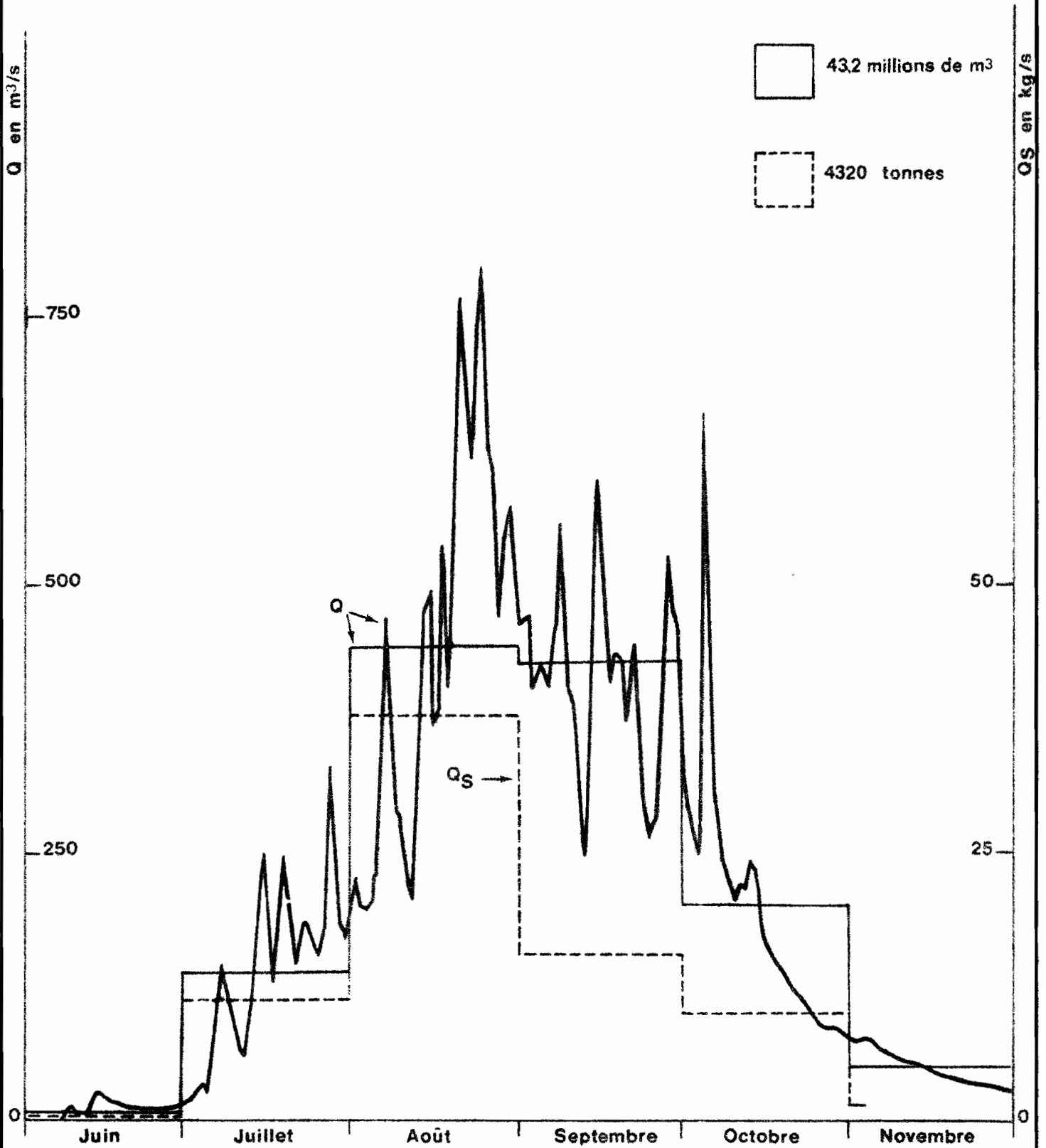
KÉDOUGOU

Variations des concentrations en fonctions du débit



KÉDOUGOU

Variations des débits moyens journaliers
- des débits moyens mensuels
- des débits solides mensuels



de l'érosion des berges, nous pouvons donc estimer à 200 000 t la quantité totale de matières en suspension transportées dans la GAMBIE à KEDOUGOU pendant l'année hydrologique 1974-1975. Ce chiffre nous conduit à une dégradation spécifique de 26,7 tonnes/km²/an.

Si l'on considère que la densité des sols de l'horizon soumis à l'érosion est voisine de 1,3, le transport solide annuel correspond à une lame érodée d'environ 2,05/100^{ème} de mm.

Le module de cette année hydrologique ressort aux environs de 110 m³, les valeurs des mois de mars et avril ayant été estimées (relevés non parvenus à la date de rédaction de ce rapport).

Le volume annuel écoulé est donc de :

$$110 \times 31\,536 \times 10^3 \text{ m}^3 \neq 3\,470 \times 10^6 \text{ m}^3.$$

La concentration moyenne annuelle ressort donc à 57,6 g/m³.

2.2. - STATION DE GOULOMBO :

Nous reprendrons pour cette station le plan suivi pour KEDOUGOU. Ci-après figure le tableau des résultats enregistrés.

N°	Dates	H cm	Q m ³ /s	C _p g/m ³	C _t g/m ³	C _{ma} g/m ³	C g/m ³	Q _s kg/s
1	23.06	169	57	155			155,0	8,8
2	26.06	161	46	85			85,0	3,9
3	29.06	145	34	45			45,0	1,7
4	02.07	132	22	35			35,0	0,8
5	05.07	139	28	75			75,0	2,1
6	08.07	151	36	240			240,0	8,6
7	13.07	292	205		135		(
8	13.07	292	205			169,2	) 169,2	34,7
9	14.07	296	210	140			140,0	29,4
10	17.07	365	293	55			55,0	16,1
11	20.07	421	360	115			115,0	41,4
12	20.07	421	360	175			175,0	63,0
13	22.07	475	427		180		(
14	22.07	475	427			174,2	) 174,2	74,2
15	23.07	521	489	155			155,0	75,8
16	26.07	537	512	175			175,0	89,6
17	29.07	535	509	130			130,0	66,2
18	01.08	556	538	125			125,0	67,3
19	04.08	483	438	105			105,0	46,0
20	05.08	469	420		85		(
21	05.08	469	420			57,5	) 57,5	24,1
22	07.08	520	488	130			130,0	63,4
23	10.08	696	734		155		(
24	10.08	696	734			176,7	) 176,7	129,7
25	13.08	746	804	60			60,0	48,2
26	15.08	694	732	65			65,0	47,6
27	16.08	680	712	65			65,0	46,3
28	17.08	707	750		110		(
29	17.08	707	750			95,0	) 95,0	71,2

Nº	Dates	H cm	Q m ³ /s	C _p g/m ³	C _t g/m ³	C _{ma} g/m ³	C g/m ³	Q _s kg/s
30	19.08	790	870	110			110,0	95,3
31	21.08	877	1003		135		(150,9	151,2
32	21.08	877	1003			150,8	) 70,0	76,2
33	24.08	934	1094	70			50,0	58,8
34	28.08	985	1176	50			65,0	77,7
35	31.08	997	1195	65			65,0	77,0
36	03.09	990	1184	65				
37	06.09	962	1139		15 ?		(50,8	57,9
38	06.09	962	1139			50,8	) 59,2	65,5
39	11.09	942	1107			59,2	60,0	68,0
40	12.09	958	1133	60			70,0	80,2
41	15.09	966	1146	70			55,0	62,3
42	18.09	958	1133	55			40,0	46,0
43	21.09	969	1150	40			25,0	28,4
44	24.09	960	1136	25			75,0	85,0
45	27.09	958	1133	75			55,0	57,2
46	30.09	900	1040	55			45,0	48,7
47	03.10	926	1082	45			105,0	105,0
48	06.10	875	1000	105			85,0	89,6
49	09.10	909	1054	85				
50	12.10	867	987		60		(72,5	71,5
51	12.10	867	987			72,5	) 35,0	29,6
52	15.10	776	846	35			115,0	88,3
53	18.10	720	768	115			95,0	58,9
54	21.10	614	620	95				
55	22.10	576	566		65		(81,7	46,2
56	22.10	576	566			81,7	) 50,0	24,1
57	24.10	516	482	50			80,0	28,6
58	27.10	418	357	80			65,0	13,6
59	05.11	296	210	65			65,0	12,7
60	08.11	284	196	65				

2.2.1. - Relations entre la concentration témoin et la concentration moyenne arithmétique de la mesure en six points.

9 mesures en six points et parallèlement neuf échantillons témoins ont été recueillis durant cette campagne à GOULOMBO. Le 10^{em} jaugeage (six points) n'a pas été doublé d'une prise au point de prélèvement du lecteur. L'opération du 6.9 semble erronée, $C_t = 15 \text{ g/m}^3$, $C_{ma} = 50,8 \text{ g/m}^3$, les 8 points restants, malgré une certaine dispersion, ont permis d'ajuster une droite d'équation $C_t = 0,941 C_{ma}$, passant par l'origine et le coefficient angulaire 0,941 très voisin de 1 (graphique 5). Nous n'avons pas jugé utile étant donné le nombre très faible d'opérations doubles, de modifier les valeurs des concentrations des prélèvements effectués par le lecteur.

2.2.2. - Variations des concentrations :

Le graphique n° 6 reprend la variation des concentrations retenues en superposition avec l'hydrogramme des débits moyens journaliers. Nous avons fait figurer sur ce même graphique les débits moyens mensuels qui sont estimés pour les mois de mars et avril.

Comme à KEDOUGOU, les concentrations sont plus fortes au début de la saison des pluies. Dans la première quinzaine de juillet elles sont supérieures à 50 g/m³ pour atteindre des valeurs presque toujours plus grandes que 100 g/m³ jusqu'au 15/8. Ensuite elles plafonnent entre 50 et 80 g/m³ jusqu'au 15 octobre. Une forte crue entre le 13 et le 18 octobre sur le haut bassin et les affluents puissants de la rive gauche THLOKOYE et DIARHA a renforcé la turbidité (115 g/m³). A partir de cette date les concentrations décroissent. Il nous semblerait que les trois dernières valeurs du tableau précédant soient sur-estimées.

Aucune figure simple ne s'est dégagée de la relation des concentrations journalières avec les débits saisonniers.

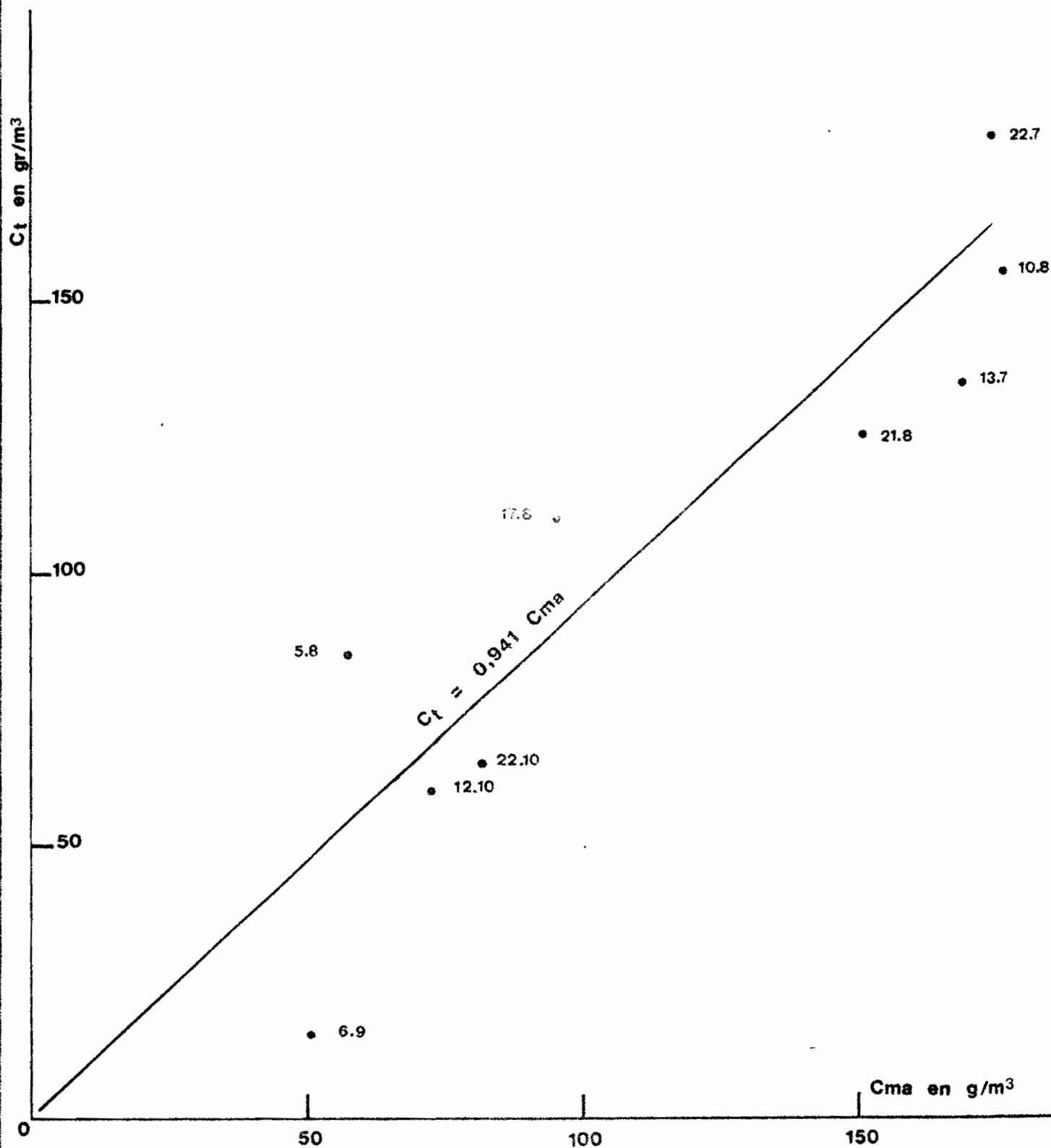
2.2.3. - Transports solides observés :

Le tableau suivant reprend l'estimation des quantités mensuelles en milliers de tonnes de matériaux en suspension transportés dans la GAMBIE à GOULOMBO de juin à novembre 1974 inclus :

- juin	9,5	(valeur indicative)
- juillet	110	
- août	100	
- septembre	157,2	
- octobre	144,5	
- novembre	20,7	(valeur indicative)
TOTAL	$\underline{= 646,9 \times 10^3}$	tonnes

GOULOUMBO

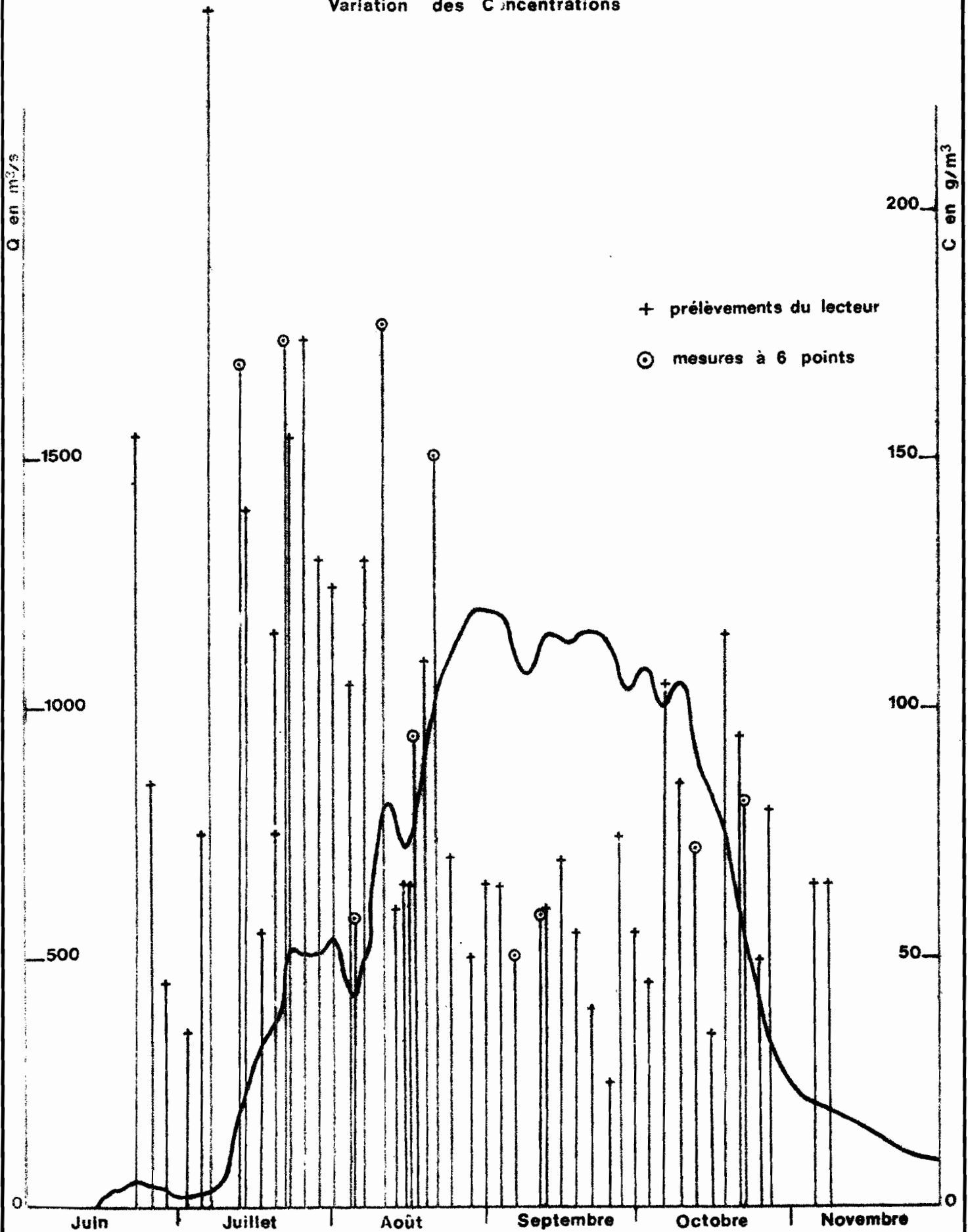
Corrélation entre la moyenne arithmétique des concentrations de la mesure en 6 points et la concentration de l'échantillon témoin pris en surface à la verticale du milieu du pont



GOULOUMBO

Gr 6

Variation des Concentrations



Environ 647 000 tonnes de matériaux en suspension ont donc été transportées sur la période 1er juin - 30 novembre 1974.

A partir de décembre, le module mensuel tombe brutalement : de 63,7 m³/s il passe à 3,5 m³/s en avril (estimation). Les charges solides diminuent dans le même sens, cette diminution est encore plus sensible si l'on considère que les concentrations, elles aussi diminuent, les matériaux transportés ne provenant pratiquement que de l'érosion des berges. Nous pouvons donc estimer raisonnablement le poids total de matériaux transportés en suspension à GOULOUMBO pendant l'année hydrologique 1974-1975 à 660 000 tonnes.

Le graphique 7 reprend les variations des débits moyens journaliers, des débits moyens mensuels et des débits solides mensuels.

Le volume écoulé sur cette période est de :

$270 \times 31\,536 \times 10^3 \text{ m}^3 = 8\,515 \times 10^6 \text{ m}^3$. La concentration moyenne annuelle ressort à 77,5 g/m³. La dégradation spécifique est de $\frac{660\,000}{42\,000} = 15,7$ tonnes/km²/an.

En reprenant comme pour KEDOUGOU la densité de 1,3 pour les sols dont l'horizon est soumis à l'érosion, nous arrivons à une lame de sol érodé de 1,2/100^{ème} de mm.

3. - CONCLUSIONS :

Cette étude, la première du genre réalisée sur le bassin de la GAMBIE, nous donne un premier aperçu des masses en suspension transportées par le fleuve pour une année très proche d'une année normale au point de vue hydraulicité.

Pour GOULOUMBO, le module moyen, calculé sur une période de 20 ans dans le support hydrologique de P. CHAPERON et N. GUIGUEN ressort à 300 m³/s. Il a atteint 270 m³/s en 1974-1975.

Pour KEDOUGOU, dont la période d'observations ne couvrait que 4 années déficitaires, le module médian a été estimé à partir des hydraulicités régionales assez homogènes des stations de la FALEME (KIDIRA - GOURBASSI et FADOUGOU). Il est inclus dans une fourchette variant de 100 à 150 m³/s. La valeur de 110 m³/s relevée cette année s'encadre bien dans ces limites.

Ces résultats demanderaient à être précisés par plusieurs campagnes analogues pour pouvoir dégager les relations entre les éléments relatifs aux charges transportées et les caractéristiques de l'écoulement du fleuve.

GOULOUMBO

Variations des débits moyens journaliers

- des débits moyens mensuels

- des débits solides mensuels

