

# Le régime des transports solides en suspension dans divers cours d'eau du Cameroun de 1969 à 1971

J. F. NOUVELOT,  
Chargé de Recherches au Service hydrologique  
de l'O.R.S.T.O.M.,  
Centre de Yaoundé (Cameroun).

## RÉSUMÉ

L'étude des transports solides en suspension demandant un très grand nombre de mesures dont la fréquence croît généralement pour un régime hydrologique donné, inversement à la superficie du bassin étudié, seuls trois bassins ont fait l'objet d'observations minutieuses entre 1969 et 1971, au Cameroun : la Sanaga à Nachtigal (77 000 km<sup>2</sup>), le Mbam à Goura (42 300 km<sup>2</sup>) et la Tsanaga à Bogo (1 535 km<sup>2</sup>). Ces mesures ont permis de donner une première approximation de la dégradation spécifique moyenne, c'est-à-dire de l'importance de l'érosion continentale, susceptible d'être observée sur ces trois types de bassins, l'un étant soumis au climat tropical pur (Tsanaga), les deux autres au climat tropical de transition.

Cette dégradation serait de 28 T/km<sup>2</sup>/an pour le bassin de la Sanaga, de 85 T/km<sup>2</sup>/an pour celui du Mbam et de 210 T/km<sup>2</sup>/an pour celui de la Tsanaga, ce qui correspond à des turbidités moyennes de 58 g/m<sup>3</sup>, 160 g/m<sup>3</sup> et 1 200 g/m<sup>3</sup> respectivement.

Il est certain que ces valeurs ne nous donnent qu'une estimation par défaut de l'érosion, les transports ou dépôts plus ou moins localisés dans les bas de pente ou les plaines d'inondation échappant à nos mesures. Bien qu'il s'avère que ces mouvements locaux puissent être parfois importants, les érosions mesurées au champ étant parfois de 500 à 1 000 supérieures à celles mesurées aux exutoires des grands cours d'eau, ils restent hors de notre sujet.

Il n'en est pas moins vrai que les facteurs conditionnels que nous nous sommes efforcés de dégager, ont une portée générale. Ceci concerne principalement le rôle de l'évolution du sol et de sa couverture au cours de la saison des pluies : nettoyage d'un sol nu par les premières pluies, puis croissance de la végétation herbacée.

## ABSTRACT

«About the regime of suspended load in various rivers of Cameroons from 1969 until 1971».

The study of suspended load requires a lot of measurements with a frequency higher than is smaller the drainage area of the basins. The observations from 1969 until 1971 have been carried out into three basins: Sanaga at Nachtigal (77,000 sq. km), Mbam at Goura (42,300 sq. km) and Tsanaga at Bogo (1,535 sq. km). These measurements allowed to give first evaluations of the specific suspended load discharges, that are representative of the continental soil erosion. The annual sediment rates are 28 t/sq. km in the Sanaga and 85 t/sq. km in the Mbam, two basins submitted at a climate intermediary between tropical and equatorial ones; this annual rate is 210 t/sq. km in the Tsanaga basin submitted at a tropical climate; the yearly averages of turbidity are respectively for these three basins 58, 160 and 1,200 g/cub.m.

It is obvious that these values are lower than the effective erosion, because local transportation or sedimentation, in the fields and flooded areas for example, are not taking in account of.

These local phenomena are sometimes important because we know that the measured rates of field erosion can be 500 or 1 000 times higher than the turbidities of the big rivers.

In spite of that, we have pointed out the general influence of some physical or climatological factors. The more important one should be the evolution of soil and of its cover during the rainy season: cleaning of bare soil by the first showers, then growth of herbaceous vegetation.

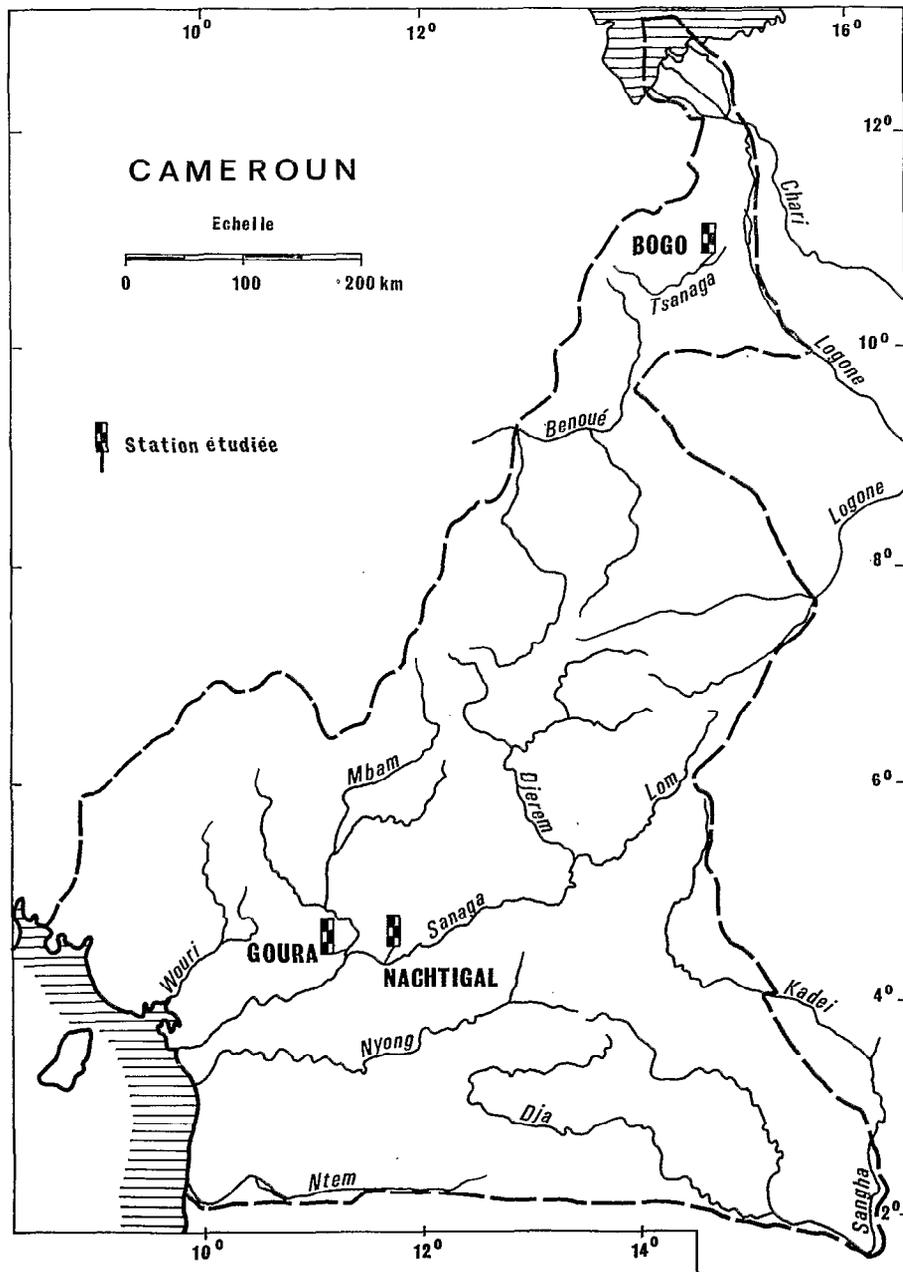


Fig. 1. — Carte de situation.

La mesure systématique des transports solides en suspension, sur un certain nombre de cours d'eau camerounais s'est poursuivie de 1969 à 1971, avec, toutefois, un programme moins ambitieux que celui établi en 1966. Des cinq zones d'action initialement retenues, nous n'avons conservé, que trois bassins ayant des caractéristiques géologiques, pédologiques, phytogéographiques et hydrologiques très différentes (voir graph. 1) :

— le bassin de la Sanaga à la station de Nachtigal (Centre Cameroun),

— le bassin du Mbam à la station de Goura (Ouest Cameroun),

— le bassin du Mayo Tsanaga à la station de Bogo (Nord Cameroun).

Cet article constitue un complément et un approfondissement de celui que nous avons fait en 1969 (« Mesure et étude des transports solides en suspension au Cameroun », *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, vol. VI, n° 4).

## 1. LA SANAGA A NACHTIGAL

### 1.1 DIVERSES CARACTÉRISTIQUES.

Les diverses caractéristiques de ce bassin figurent dans l'article précité. Nous nous contenterons de rappeler que ce bassin a une superficie de 77 000 km<sup>2</sup>, un sous-sol formé principalement de roches métamorphiques et éruptives avec localement des recouvrements volcaniques et sédimentaires, des sols ferrallitiques, une végétation composée de 30% de forêt et de 70% de savane, des pentes modérées. Ce bassin est soumis au régime tropical de transition caractérisé par une pointe de crue en septembre-octobre et un étiage en février-mars.

La hauteur pluviométrique annuelle sur l'ensemble du bassin est de 1 580 mm environ et le module spécifique interannuel de 15,3 l/s/km<sup>2</sup> (module : 1 178 m<sup>3</sup>/s) soit un coefficient d'écoulement de 30,5%.

### 1.2. PROTOCOLES DE MESURES.

Il ne s'agit pas de revenir sur le matériel utilisé, ni sur les diverses manipulations intervenant lors des prélèvements ou dépouillements (cf. notre premier article dans le présent Cahier « Méthodologie pour la mesure en réseau des transports solides en suspension dans les cours d'eau intertropicaux peu chargés »). Nous voulons simplement préciser le programme de travail que nous avons imposé aux agents chargés des mesures :

— chaque semaine et alternativement un jaugeage complet — débit solide + débit liquide — ou un jaugeage partiel (uniquement des prélèvements de surface) ;

— quotidiennement, un prélèvement d'un échantillon de 10 l, suffisamment dans le courant et toujours dans les mêmes conditions. Ce même type d'échantillon témoin était également prélevé au cours de chaque jaugeage complet ou partiel.

### 1.3. LISTE DES MESURES.

Dans le tableau ci-après contenant les 27 mesures hebdomadaires effectuées en 1969, on a fait figurer les éléments suivants :

H hauteur d'eau à l'échelle limnimétrique en cm,

Q débit en m<sup>3</sup>/s,

C<sub>r</sub> concentration de l'échantillon témoin en g/m<sup>3</sup>,

Q<sub>s</sub> débit solide en kg/s,

C<sub>m</sub> concentration moyenne en g/m<sup>3</sup> ( $C_m = \frac{Q_s}{Q}$ ),

C<sub>M</sub> concentration maximale ponctuelle mesurée en g/m<sup>3</sup>.

Il a été effectué 14 jaugeages complets dont 8 ont pu être dépouillés par la méthode dite des « paraboles ». Ces derniers se situent principalement entre mai et août, période la plus intéressante pour l'étude des transports solides, d'autant qu'au milieu de saison des pluies 1969, l'écoulement de la Sanaga a été quelque peu perturbé par la fermeture, plus ou moins complète, du barrage de Mbakaou (Djerem).

A ces 14 mesures, s'ajoutent 13 jaugeages partiels au cours desquels nous avons prélevé uniquement, des échantillons de surface, en plongeant directement les jerrycans de 10 l dans la rivière. La répartition des points de mesures dans la section était la même que lors des jaugeages complets.

### 1.4. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS.

#### 1.4.1. Jaugeages complets.

Pour chaque jaugeage complet, nous avons mesuré :

— la cote du plan d'eau, H ;

— le débit de la rivière, Q ;

— le débit solide, Q<sub>s</sub> ;

— la concentration moyenne,  $C_m = \frac{Q_s}{Q}$  ;

N°	Date	H	Q	C <sub>r</sub>	Q <sub>s</sub>	C <sub>m</sub>	C <sub>M</sub>	Type de jaugeages
1	29-1-69	72	334		2,2	6,5	10,0	complet
2	5-3-69	66	308		0,74	2,4	8,0	»
3	28-3-69	81,5	380		11,9	31,3		partiel
4	8-4-69	69,5	323		6,0	18,7		»
5	15-4-69	66	314	4,2	2,1	6,6	9,2	complet
6	21-4-69	82	383	4,6	2,2	5,8		partiel
7	28-4-69	81	377	6,0	2,5	6,6	9,3	complet
8	5-5-69	72,5	336	4,5	2,3	6,9		partiel
9	12-5-69	84	396	12,3	5,9	14,8	22,9	complet
10	20-5-69	144	867	61,3	53,8	62,0		partiel
11	27-5-69	164,5	1 059	70,5	75,1	71,0	86,6	complet
12	2-6-69	136	795	36,3	37,3	46,9		partiel
13	9-6-69	160,5	999	47,3	48,0	48,0	66,0	complet
14	16-6-69	145	875	57,9	51,3	58,6		partiel
15	23-6-69	133,5	775	56,5	44,1	56,9	63,7	complet
16	30-6-69	168	1 100	71,7	85,0	77,3		partiel
17	7-7-69	229	1 731	124,1	214,6	124,0	175,1	complet
18	15-7-69	224	1 672	92,8	152,0	90,9		partiel
19	21-7-69	242	1 879	92,0	172,1	91,6	111,5	complet
20	28-7-69	268	2 200	87,5	199,3	90,6		partiel
21	4-8-69	287	2 444	68,6	(183,5)	(75,1)	100,7	*
22	11-8-69	292	2 508	45,7	133,4	53,2		partiel
23	18-8-69	273	2 264	40,6	108,7	48,0	60,9	complet
24	25-8-69	338	3 150	63,8	179,6	57,0		partiel
25	17-11-69	229	1 731	36,9	65,1	37,6		»
26	24-11-69	172	1 031	19,9	21,6	21,0	40,2	complet
27	9-12-69	133	769	16,1	15,1	20,9	23,8	»

\* Mauvaises mesures de vitesses.

— la concentration moyenne dite « arithmétique » obtenue en faisant la moyenne arithmétique des  $n$  concentrations ponctuelles :

$$\bar{C}_A = \frac{C_i}{n}$$

— la concentration moyenne dite « partielle », obtenue en faisant la moyenne arithmétique des  $m$  concentrations de surface :

$$\bar{C}_p = \frac{C_{st}}{m}$$

— la concentration d'un échantillon témoin,  $C_r$ .

#### 1.4.2. Jaugeages partiels.

Au cours de ces jaugeages, seules étaient mesurées :

- la cote du plan d'eau,  $H$  ;
- la concentration moyenne,  $C_p$  ;
- la concentration de l'échantillon témoin,  $C_r$ .

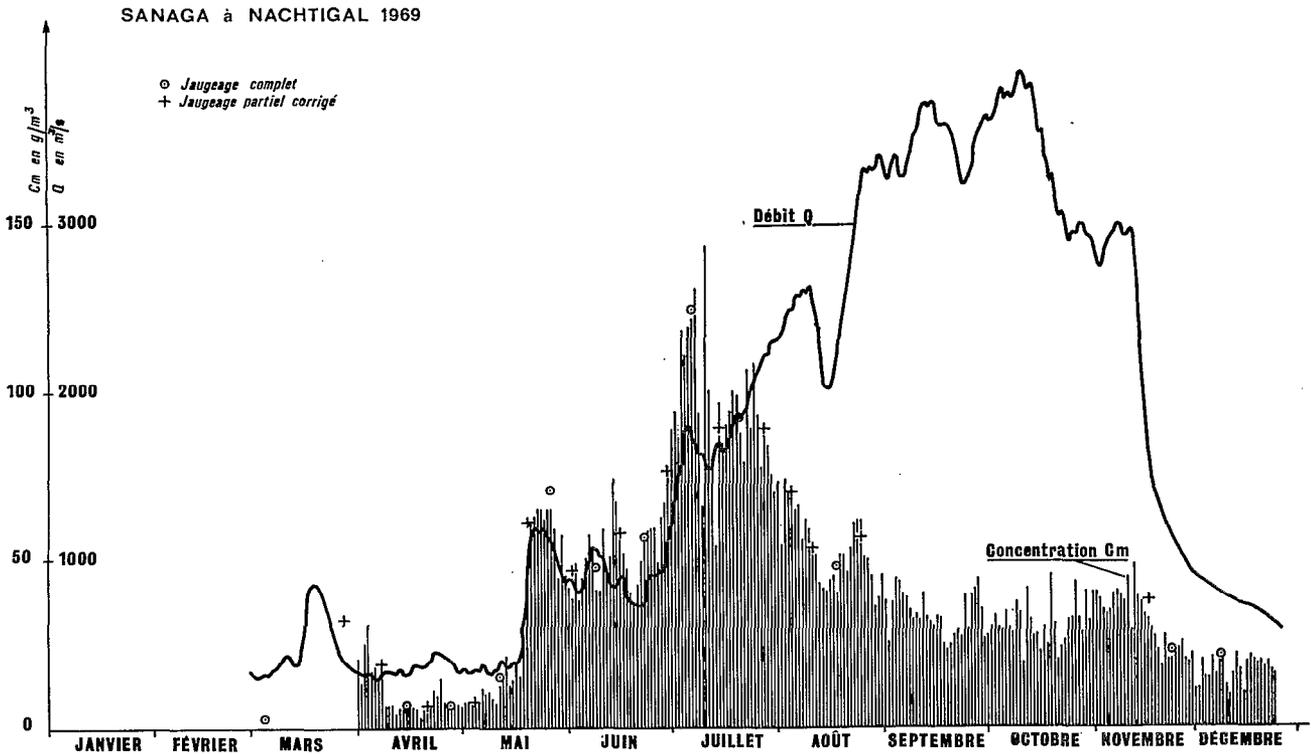
#### 1.4.3. Prélèvements journaliers.

Un observateur prélevait chaque matin, en même temps qu'il notait la cote du plan d'eau, un échantillon de 10 l, dans les mêmes conditions que l'échantillon témoin pris au cours des différents jaugeages.

#### 1.5. SIGNIFICATION DES MESURES.

Dans la masse des mesures effectuées, seuls les jaugeages complets sont susceptibles de fournir une valeur, relativement exacte, de la concentration moyenne. Les prélèvements journaliers, ou les jaugeages partiels, ne présentent un intérêt que dans la mesure où ils permettent de calculer la turbidité moyenne réelle.

Nous avons montré dans le premier article de cette livraison des Cahiers qu'il existait effectivement, dans de très nombreux cas, des liaisons linéaires étroites



entre ces différentes valeurs de la turbidité et la concentration moyenne. Nous disposons donc d'un moyen relativement aisé de calculer la concentration moyenne journalière et par là même, le débit solide.

#### 1.6. VARIATIONS SAISONNIÈRES DES TRANSPORTS SOLIDES.

##### 1.6.1. Variation de la concentration moyenne.

Le graphique 2 donne les variations saisonnières de la concentration moyenne journalière et du débit moyen journalier.

Les deux courbes de régime ont été quelque peu perturbées par la construction, puis la fermeture plus ou moins partielle du barrage de Mbakaou, réalisée en 1969.

Nous pouvons tout de même dégager qualitativement certains caractères propres à la Sanaga à Nachtigal et certainement valables pour d'autres grands

bassins hydrographiques de milieu physique comparable et soumis au régime tropical de transition :

a) En début de saison des pluies, de mars-avril à juillet, la turbidité augmente très fortement en fonction du débit (de moins de  $10 \text{ g/m}^3$  en avril,  $C_m$  passe à plus de  $100 \text{ g/m}^3$  en juillet, le débit passant de  $300 \text{ m}^3/\text{s}$  à  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$  en moyenne à Nachtigal).

Les premières pluies suffisamment importantes pour ruisseler nettoient littéralement la surface du sol, pulvérulente et desséchée, qui, en pays de savane, reste pratiquement sans aucune protection végétale durant toute la saison sèche. On saisit là l'importance de la répartition temporelle des premières averses au début de la saison des pluies.

b) En pleine saison des pluies, de juillet à la mi-octobre, les débits augmentent sensiblement, alors que la concentration décroît, d'abord très rapidement le premier mois (de plus de  $100 \text{ g/m}^3$  à  $50 \text{ g/m}^3$ ), puis beaucoup plus lentement les mois suivants.

Entre la fin août et la mi-octobre, période des plus

hautes eaux, la turbidité reste relativement stable. Elle se situe entre 50 et 30 g/m<sup>3</sup> à Nachtigal.

La végétation est alors suffisamment dense pour intercepter efficacement les gouttes de pluie dont l'action mécanique sur le sol se trouve ainsi très réduite.

c) En fin de saison des pluies, lorsque la décrue est amorcée, la turbidité décroît plus rapidement.

d) En saison sèche, lorsque les pluies ont complètement cessé, la décroissance devient très rapide, les matériaux transportés provenant uniquement de l'érosion affectant les berges ou les lits du réseau hydrographique principal.

Pour cette dernière période nous nous sommes référés aux mesures faites de la fin de 1968 au début de 1969, l'étude des transports solides à Nachtigal ayant été abandonnée en décembre 1969, les premières lâchures devant être effectuées en aval du barrage de Mbakaou, à la mi-janvier 1970.

Le graphique 3 montre les variations de la concentration moyenne journalière en fonction du débit moyen journalier.

Les points représentatifs forment un nuage assez dispersé, montrant cependant une certaine évolution parallèle des débits liquides et solides selon une large boucle ayant grossièrement la forme d'un triangle

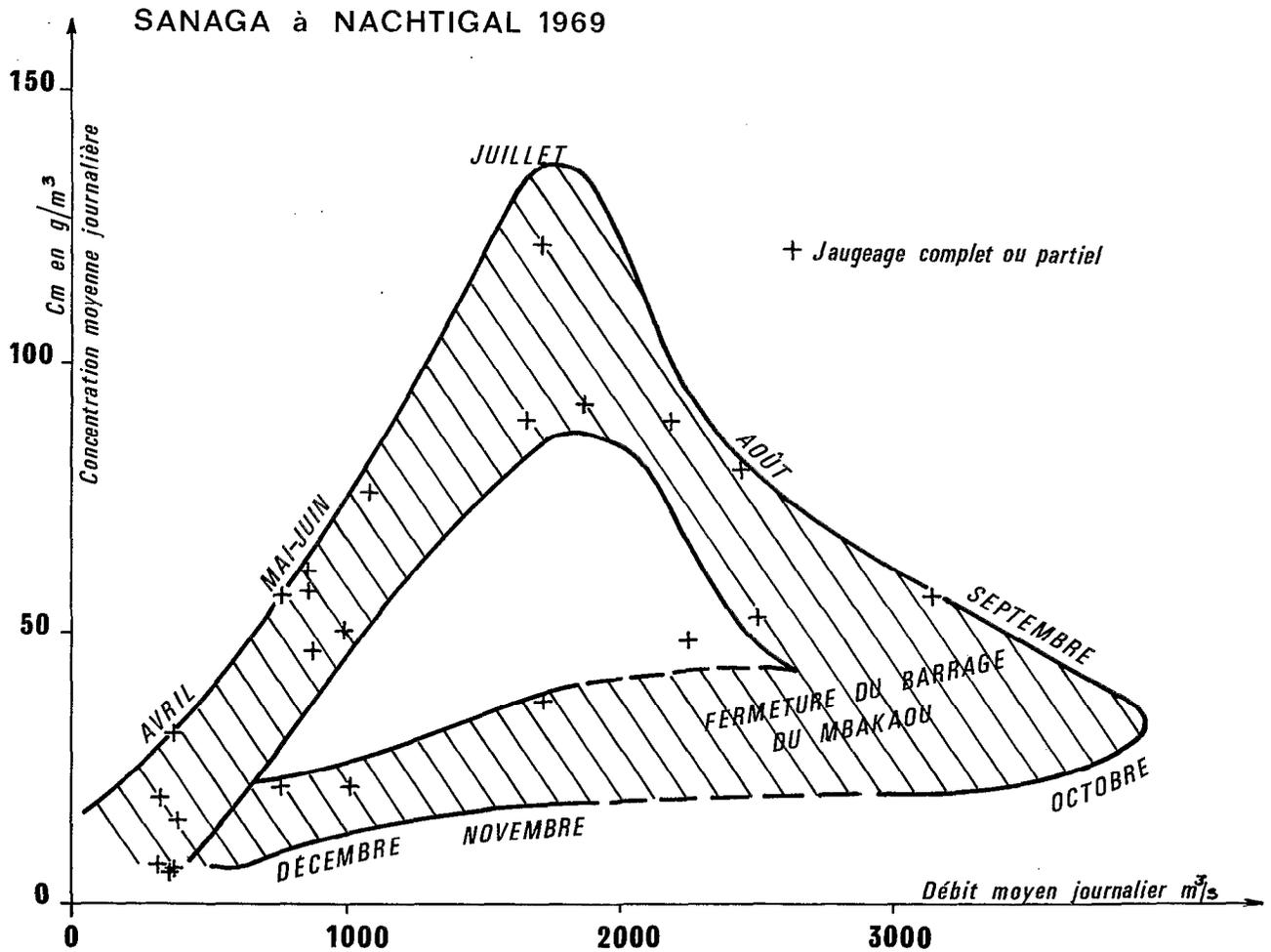


Fig. 3. — Variation de la concentration moyenne Cm en fonction du débit.

dont les sommets auraient pour coordonnées, respectivement :

- la concentration minimale et le débit minimal ;
- la concentration maximale et le débit de juillet ;
- une concentration faible et le débit maximal (octobre).

#### 1.6.2. Variation du débit solide.

Nous avons porté sur le graphique 4, les variations du débit solide moyen  $Q_s = C_m \times Q$ , en fonction du temps :

— les plus forts transports solides s'observent en début de saison des pluies malgré les débits relativement faibles (inférieurs à la moitié des débits maximaux) ;

— en pleine saison des pluies, le facteur concentration l'emporte sur le facteur débit liquide, puisque durant cette période le débit solide tend à décroître, alors que le débit liquide augmente. Ce phénomène s'accroît évidemment en fin de saison des pluies et en saison sèche lorsque les deux facteurs,  $C_m$  et  $Q$ , décroissent simultanément.

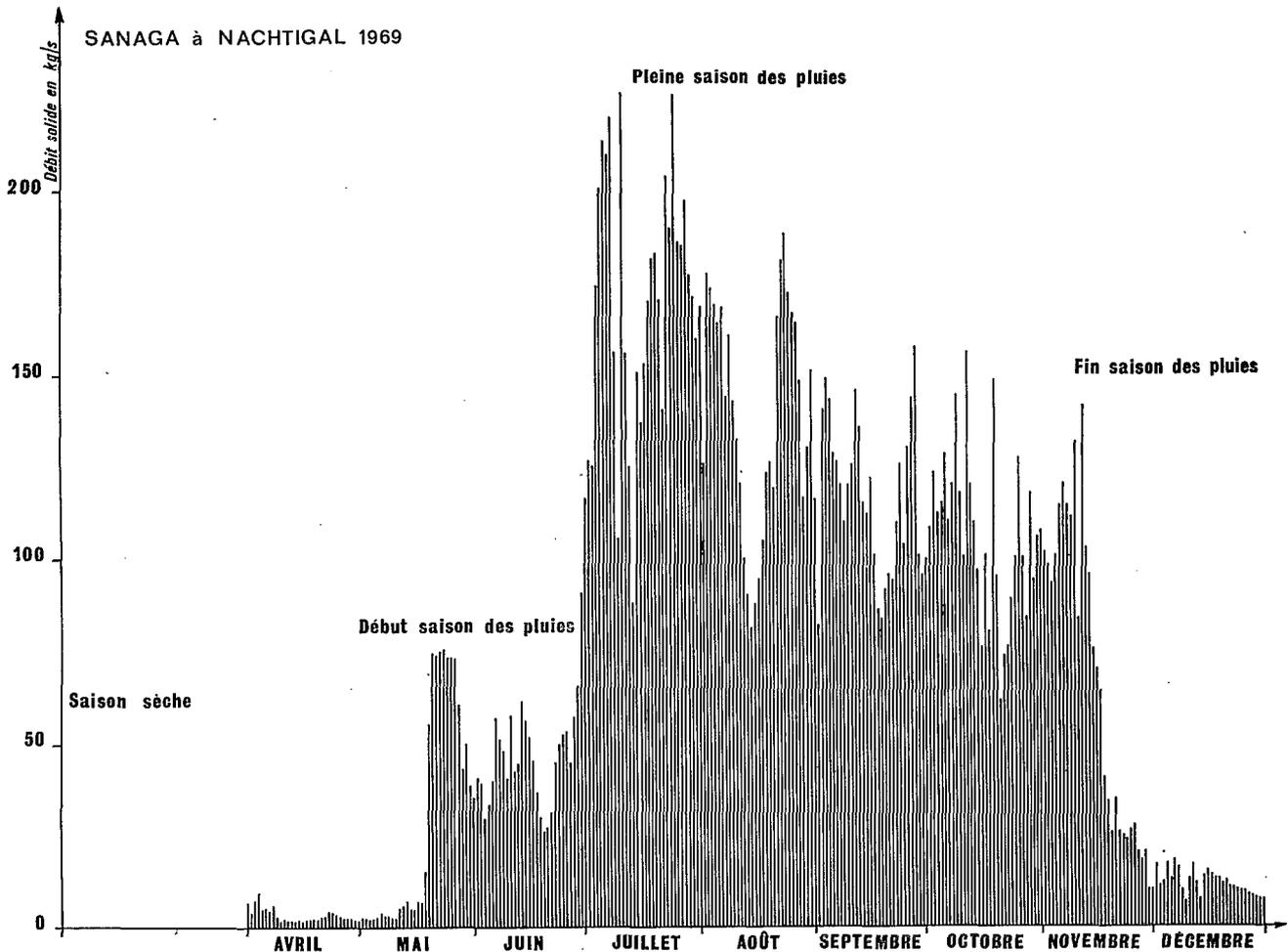


Fig. 4. — Débits solides moyens journaliers en kg/s.

## 1.7. QUANTITÉS TOTALES DE MATÉRIAUX TRANSPORTÉS

Comme nous l'avons déjà précisé, l'hypothèse de base, pour la détermination du poids des matériaux transportés en suspension, est que la *concentration corrigée* de l'échantillon témoin journalier  $C_r$  est sensiblement égale à la concentration journalière  $C_m$ ; cette concentration est obtenue par corrélation entre les couples  $C_r, C_m$  des jaugeages complets (cf. second article déjà cité).

Ceci suppose évidemment que les variations du plan d'eau, et par-là même du débit, sont suffisamment faibles au cours de la journée pour être négligées, ce qui est le cas général à Nachtigal.

Le poids des matières solides transportées en 24 heures est donc donné par la relation :

$$P_S = 86\,400 \times C_m \times Q$$

avec  $Q = \varphi(H)$  ( $H$  : cote à l'échelle du plan d'eau),

et  $C_m = f(C_r)$  ( $C_r$  : concentration de l'échantillon témoin).

$\varphi$  est la courbe de tarage de la station,

$f$  la droite d'estimation de  $C_r$  en  $C_m$ .

Le total des matériaux transportés sur une période donnée, peut être calculé, soit en faisant la somme des poids journaliers, soit en planimétrant la surface délimitée par la courbe de variation du débit solide en fonction du temps, sur la période considérée, et les axes des coordonnées ( $Q_S$  et  $T$ ); ceci revient à calculer l'intégrale :

$$P = \int_{t_1}^{t_2} Q_S dt$$

Les résultats mensuels pour l'année 1969 sont les suivants :

Mois	Total (en tonnes)	Moyenne (t/jour)
Janvier	(12 000)	(387)
Février	(2 300)	(82)
Mars	(40 000)	(1 290)
Avril	8 700	290
Mai	73 700	2 377
Juin	117 700	3 923
Juillet	447 400	14 432
Août	375 400	12 110
Septembre	300 000	10 000
Octobre	279 000	9 016
Novembre	179 700	5 990
Décembre	31 300	1 010
Année	1 867 700	5 117

Le module ayant été de  $1\,429 \text{ m}^3/\text{s}$ , soit un volume liquide annuel de  $45\,065 \times 10^6 \text{ m}^3$ , la concentration moyenne annuelle est égale à  $42 \text{ g/m}^3$ .

La dégradation spécifique a donc été de  $24 \text{ t/km}^2/\text{an}$ . En admettant une densité de 1,3 pour l'horizon du sol soumis à l'érosion, le transport annuel total équivaldrait à une lame de sol d'environ  $2/100^{\text{e}}$  de millimètre.

Les mesures effectuées en 1967 et 1968 avaient donné :

Mois	Total (en tonnes)	Moyenne (t/jour)
1967		
Septembre	(349 000)	(11 630)
Octobre	(367 000)	(11 840)
Novembre	(141 000)	(4 700)
Décembre	(40 000)	(1 290)
1968		
Janvier	(13 000)	(420)
Février	(3 600)	(129)
Mars	(2 300)	(74)
Avril	(4 900)	(163)
Mai	(16 000)	(515)
Juin	(123 000)	(4 100)
Juillet	(468 000)	(15 100)
Août	(563 000)	(18 160)
Septembre	(440 000)	(14 670)
Octobre	(429 000)	(13 840)
Novembre	(214 000)	(7 130)
Décembre	(54 000)	(1 740)
Année	2 330 800	6 386

Avec, en 1968 : module =  $1\,042 \text{ m}^3/\text{s}$ ,

$$V^e = 32\,860 \times 10^6 \text{ m}^3,$$

$$C_m = 72 \text{ g/m}^3,$$

$$D_S = 30 \text{ t/km}^2/\text{an},$$

$$H_S = 2,3/100^{\text{e}} \text{ de mm env.}$$

Le graphique 5 donne les variations mensuelles des poids et matières solides transportées en suspension de septembre 1967 à décembre 1969.

Il est évident que ces valeurs ne nous donnent qu'une estimation globale et, par conséquent par défaut, de l'érosion subie localement par les sols, étant donné qu'une partie, parfois importante, des matériaux érodés se dépose sous forme de colluvions sur les bas de pente, puis dans les plaines d'inondation sans atteindre les cours d'eau importants du réseau hydrographique (bassin du Djerem par exemple).

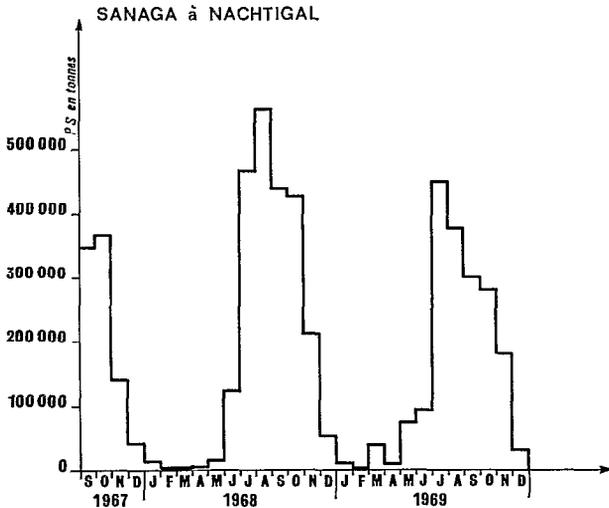


Fig. 5. — Variations mensuelles du poids de matières solides transportées en suspension

### 1.8. CONCLUSION.

Le module de l'année 1969 est le plus fort observé en 19 ans, malgré la mise en eau du barrage de Mbakaou, qui, le 1<sup>er</sup> janvier 1970, retenait déjà 1 milliard 800 millions de mètres cubes d'eau. Par contre, le poids annuel des matières solides transportées en suspension est inférieur à celui mesuré en 1968, année dont l'hydraulicité a été légèrement déficitaire.

Nous pourrions trouver plusieurs explications à cette faiblesse relative des transports solides en 1969. Tout d'abord, la construction, puis la mise en eau du barrage de Mbakaou, ont favorisé le dépôt local dans la réserve d'une partie des matériaux provenant du bassin du Djerem (zone montagneuse de l'Adamaoua). Or, ces matériaux représentent, en année moyenne, plus de la moitié des transports solides drainés par la Sanaga et transitant par la station de Nachtigal. On peut donc raisonnablement supputer qu'en l'absence de ce barrage le total annuel des transports solides aurait été largement supérieur à 2 millions de tonnes en 1969.

D'autre part, les résultats de l'année hydrologique 1968-1969 ont été établis à partir de mesures en quantité un peu faible. Les extrapolations ne donnent qu'une estimation de la concentration moyenne, il est par conséquent possible que ces résultats aient été légèrement surestimés.

Enfin, les relations entre débits liquides et débits solides n'étant pas simples, il n'y a peut-être rien

d'étonnant à ce que le classement des années à partir des volumes d'eau écoulés annuels soit différent du classement à partir du poids annuel des matières solides transportées en suspension.

Il pourrait être intéressant de reprendre, ultérieurement, cette étude, afin de chiffrer le déficit de transports solides à Nachtigal dû à la mise en eau du barrage de Mbakaou.

Nous pensons que la dégradation spécifique moyenne annuelle de la Sanaga, non régularisée, à la station de Nachtigal, doit se situer aux environs de 28 t/km<sup>2</sup>/an ; ce qui, pour un module interannuel de 1 178 m<sup>3</sup>/s correspond à une turbidité moyenne de 58 g/m<sup>3</sup> et une lame équivalente de sol érodé légèrement supérieure à 2/100<sup>e</sup> de millimètre.

## 2. LE MBAM A GOURA

### 2.1. DIVERSES CARACTÉRISTIQUES.

Elles peuvent se résumer ainsi :

- superficie du bassin versant : 42 300 km<sup>2</sup> ;
  - pentes relativement fortes, même dans la partie inférieure ;
  - le sous-sol est constitué de formations précambriennes — essentiellement des migmatites — avec quelques massifs de roches intrusives et éruptives anciennes — (granites et syénites). Douze % de la surface totale du bassin sont recouverts de roches volcaniques récentes — basaltes et trachytes ;
  - l'altération latéritique de surface est généralement assez importante ;
  - végétation : 25% de la surface du bassin est recouverte de forêt, le reste étant le domaine des galeries forestières et des savanes ;
  - régime climatologique tropical de transition avec une pluviosité située entre 1 500 et 2 000 mm (moyenne annuelle estimée à 1 780 mm).
- Le module étant voisin de 710 m<sup>3</sup>/s (16,8 l/s/km<sup>2</sup>), le coefficient d'écoulement égale 31,4%, c'est-à-dire qu'il est légèrement supérieur à celui de la Sanaga à Nachtigal.

Le bassin du Mbam est en effet un peu plus accidenté et plus arrosé que celui de la Sanaga.

### 2.2. PROTOCOLE ET LISTE DES MESURES.

Les protocoles de mesures utilisés à Goura en 1970 et 1971 sont tout à fait semblables à ceux décrits pour Nachtigal (au par. 1.2.).

Les abréviations figurant dans le tableau récapitu-

N°	Date	H	Q	C <sub>r</sub>	Q <sub>s</sub>	C <sub>m</sub>	C <sub>M</sub>	Type de jaugeages
1	8-3-70	71	85	2,8	0,18	2,1		partiel
2	16-6-70	153	740	159,7	107,5	145,3	176,2	complet
3	23-6-70	123	465	92,4	43,0	92,6		partiel
4	30-6-70	138	606	149,8	83,9	138,1	155,8	complet
5	7-7-70	127,5	507	142,1	72,8	143,7		partiel
6	14-7-70	129	538	108,3	62,4	116,0	162,3	complet
7	20-7-70	169,5	899	272,5	249,7	277,8		partiel
8	5-8-70	173	951	151,2	148,5	156,2	190,1	complet
9	19-8-70	189	1 082	157,2	166,5	153,9		partiel
10	2-9-70	195,5	1 137	196,5	206,4	181,6	236,2	complet
11	22-9-70	228,5	1 467	179,0	259,7	177,1	259,1	»
12	7-12-70	122	456	40,1	16,7	36,6		partiel
13	10-5-71	83	131	46,9	5,8	44,5		»
14	23-6-71	111	353	158,5	50,2	142,2		»
15	3-9-71	210	1 278	196,3	272,5	213,2		»
16	28-9-71	258	1 723	197,9	375,0	217,6	341,1	complet
17	11-10-71	230	1 465	152,3	176,5	120,5		partiel
18	10-11-71	140	630	70,4	38,3	60,8	77,3	complet
19	24-11-71	126	493	50,4	21,0	42,6		partiel
20	8-12-71	120,5	430	40,7	17,2	40,0	53,5	complet

latif des mesures ci-dessus, sont rigoureusement les mêmes que celles utilisées au paragraphe 1.3. (Nachtigal).

Sur un total de 20 mesures, on compte 9 jaugeages complets effectués entre le 8 mars 1970 et le 8 décembre 1971 ; ils ont été faits principalement en saison des pluies de juin à novembre.

Les concentrations maximales sont deux fois plus fortes que celles observées à Nachtigal ; quant aux concentrations moyennes, nous verrons qu'elles restent importantes durant toute la saison des pluies.

### 2.3. VARIATIONS SAISONNIÈRES DES TRANSPORTS SOLIDES.

#### 2.3.1. Variations de la concentration moyenne.

Les graphiques 6 et 7 donnent les variations saisonnières de la concentration moyenne et du débit moyen journaliers pour les années hydrologiques 1970-1971 et 1971-1972.

Nous retrouvons les mêmes caractéristiques que celles observées à la station de Nachtigal avec toutefois certaines variantes intéressantes :

a) En début de saison des pluies (avril en 1970, juin en 1971) la turbidité augmente très rapidement passant en quelques jours de quelques dizaines de g/m<sup>3</sup> à plus de 120 g/m<sup>3</sup>.

En juillet, période du maximum de turbidité, celle-ci peut dépasser 300 g/m<sup>3</sup> avec, malgré tout, des minimums voisins de 100 g/m<sup>3</sup>.

b) En pleine saison des pluies, la concentration journalière varie beaucoup moins, mais reste tout de même assez forte (entre 150 et 250 g/m<sup>3</sup>).

c) Ce n'est qu'à la fin de septembre-début octobre qu'une nette décroissance apparaît précédant toujours incontestablement le maximum de la crue ; la turbidité moyenne reste toutefois supérieure à 100 g/m<sup>3</sup>.

Cette décroissance s'accélère évidemment dès que les pluies cessent.

La différence essentielle avec la station de Nachtigal est que la turbidité reste importante durant presque toute la saison des pluies. Il suffit pour s'en rendre compte de comparer les graphiques 3 d'une part et 8 et 9 d'autre part, qui donnent les variations de la concentration moyenne journalière en fonction du débit à Nachtigal et Goura ; les histogrammes des concentrations mensuelles du graphique 10 sont aussi parlants.

Il apparaît donc que sur le bassin du Mbam, les caractéristiques pédologiques et surtout orographiques (pentes, assez fortes) l'emportent sur les caractères phytogéographiques. Nous devons de plus préciser que le Noun, affluent rive droite du Mbam, draine une région montagneuse volcanique, les pays Bamileké

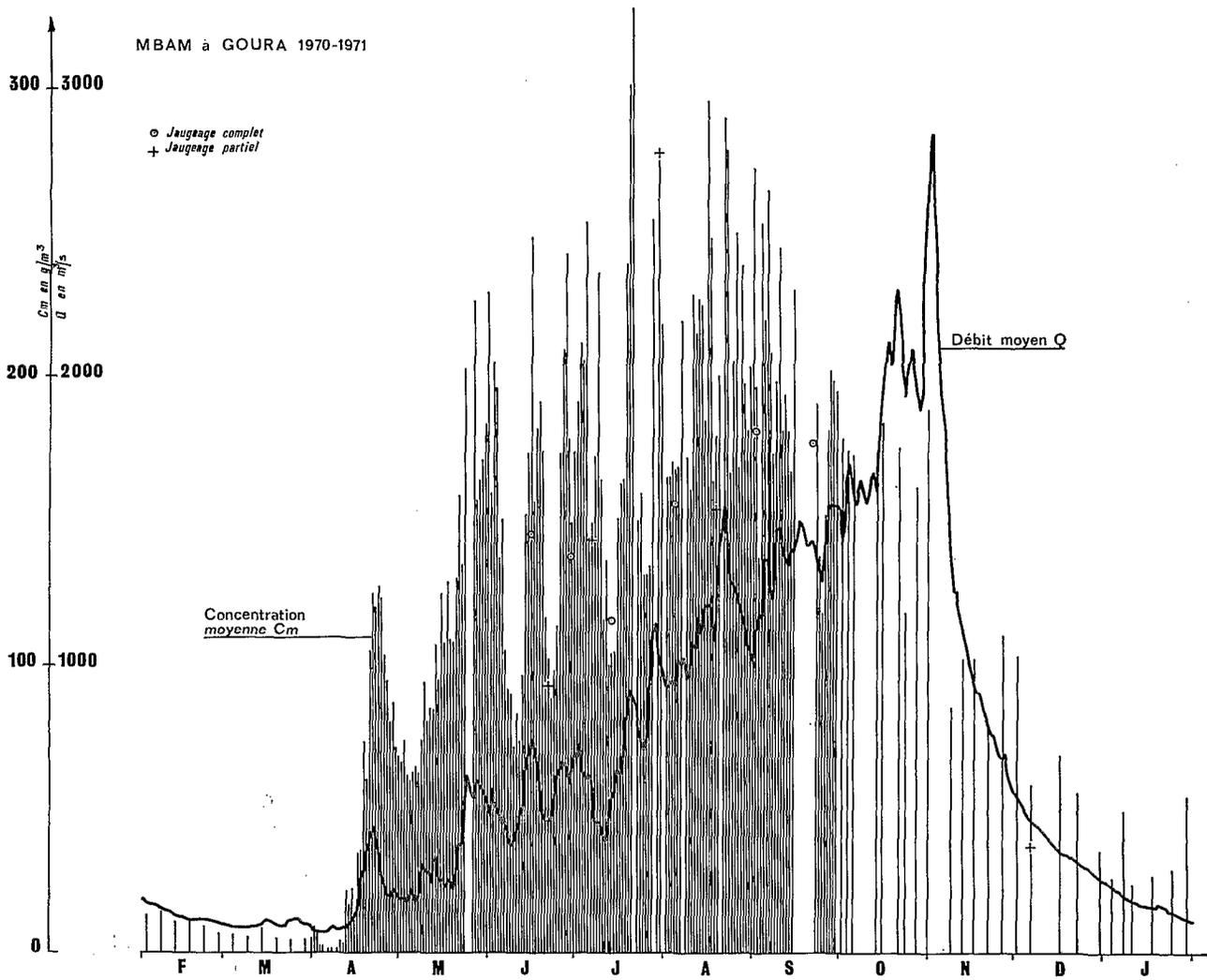


Fig. 6. — Concentration moyenne et débits moyens journaliers.

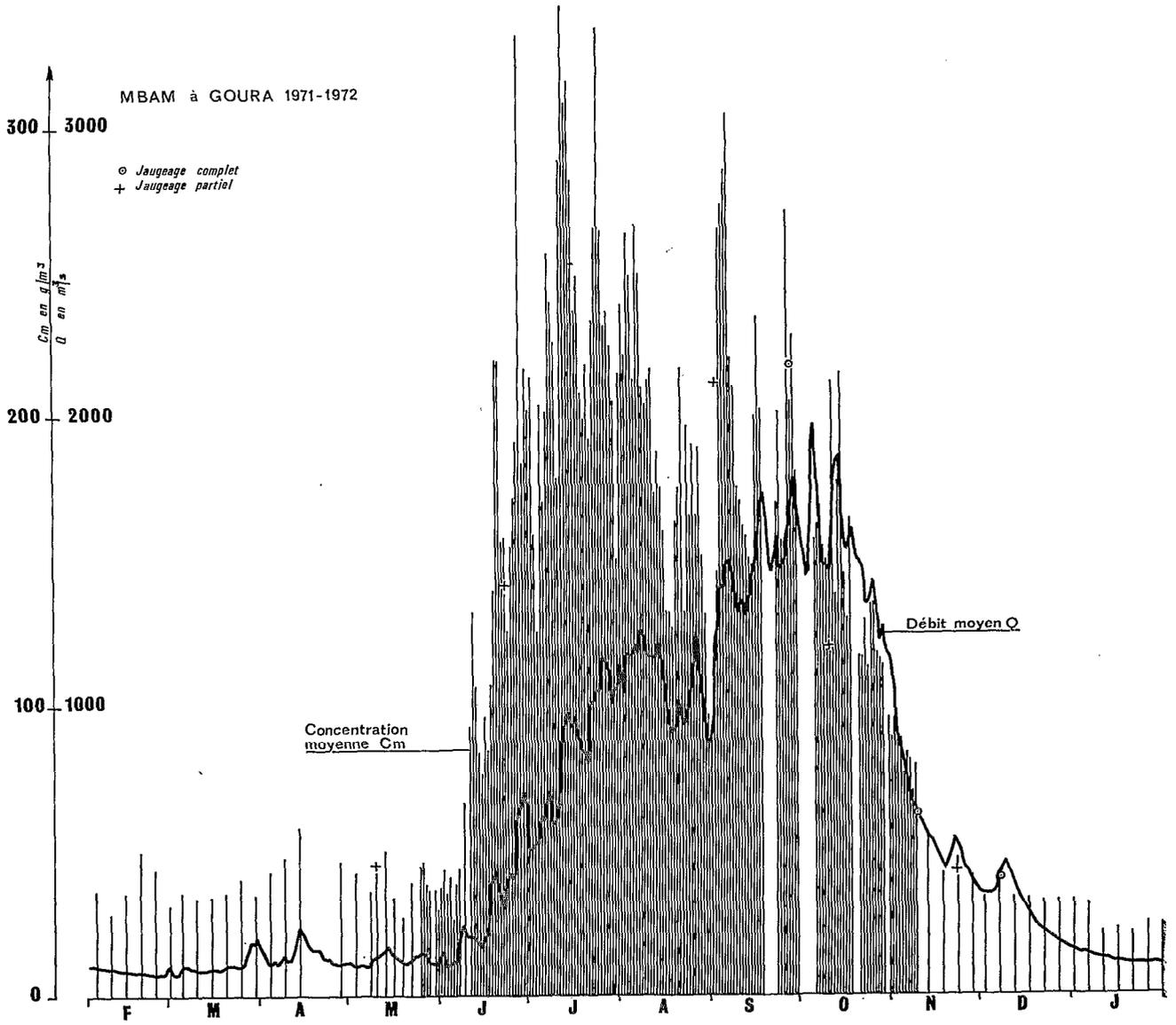


Fig. 7. — Concentration moyenne et débits moyens journaliers.

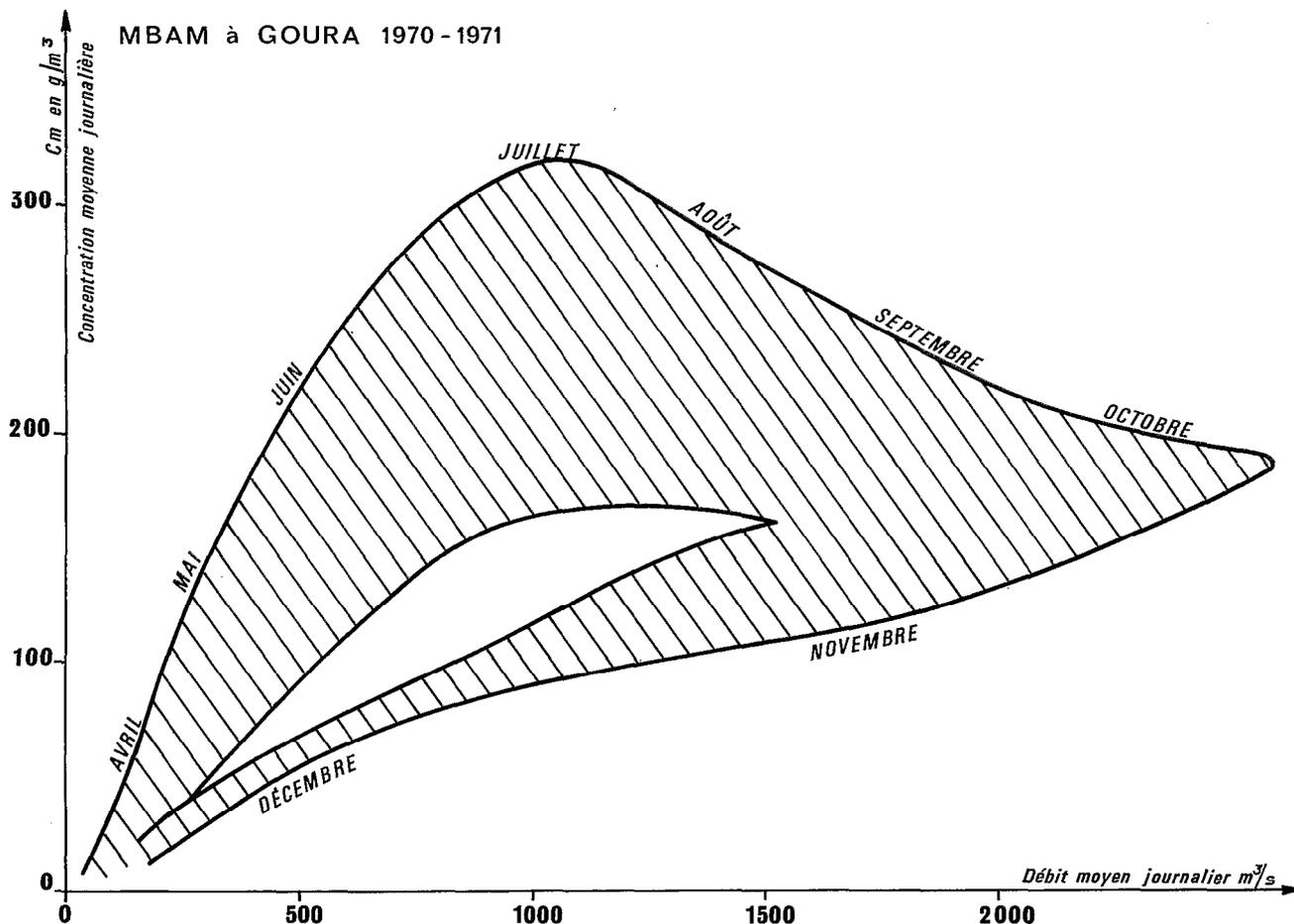


Fig. 8. — Variation de la concentration moyenne  $C_m$  en fonction du débit.

et Bamoun à forte densité de population dans lesquelles les zones cultivées sont relativement importantes.

### 2.3.2. Variation du débit solide.

Nous avons porté sur les graphiques 11 et 12 les variations du débit solide moyen journalier en fonction du temps.

La turbidité restant relativement forte durant toute la saison des pluies, la courbe de variations des

transports solides a une forme générale qui se rapproche de celle de l'hydrogramme avec toutefois une réduction des amplitudes entre le début et la fin de la saison des pluies, puisqu'au début les faibles valeurs du débit sont compensées par des valeurs élevées de la turbidité et, qu'à la fin la croissance du débit s'accompagne d'un net fléchissement de la concentration.

Contrairement à Nachtigal, les plus forts transports solides sont observés à Goura en fin de saison des pluies, au moment des débits maximaux, la turbidité étant encore à cette période de l'année relativement importante.

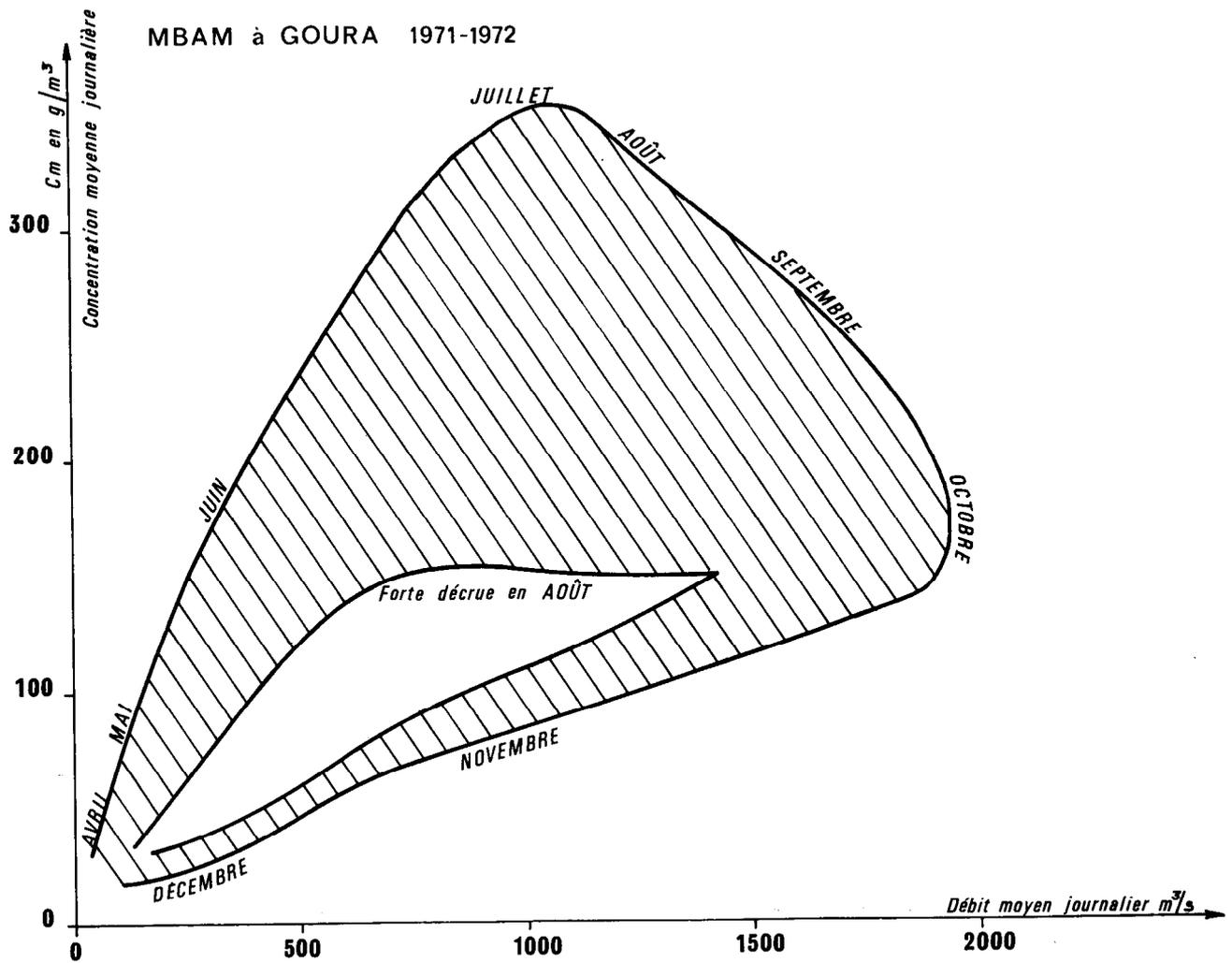


Fig. 9. — Variation de la concentration moyenne  $C_m$  en fonction du débit.

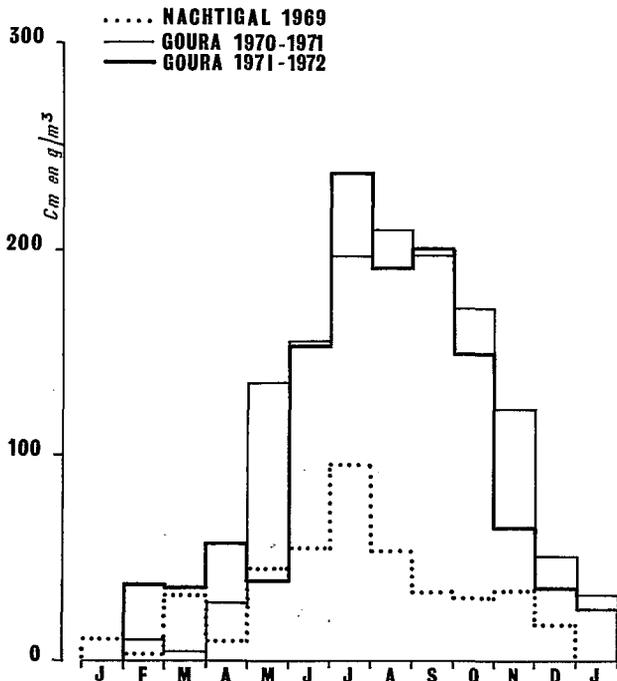


Fig. 10. — Variation de la concentration moyenne mensuelle à Nachtigal et Goura.

2.4. QUANTITÉ TOTALE DE MATÉRIAUX TRANSPORTÉS.

Les résultats mensuels et annuels pour 1970-1971 et 1971-1972 se présentent de la manière suivante :

Campagne 1970-1971 :

Mois	Total (en tonnes)	Moyenne (t/jour)
Février	3 600	129
Mars	1 430	46
Avril	33 400	1 113
Mai	120 800	3 987
Juin	214 200	7 140
Juillet	369 800	11 929
Août	637 000	20 548
Septembre	703 100	23 437
Octobre	848 200	27 361
Novembre	392 900	13 097
Décembre	69 000	2 226
Janvier	14 900	481
Année	3 408 330	9 338

Campagne 1971-1972 :

Mois	Total (en tonnes)	Moyenne (t/jour)
Février	8 370	299
Mars	10 770	347
Avril	21 500	717
Mai	13 650	440
Juin	118 700	3 957
Juillet	533 900	17 222
Août	557 200	17 974
Septembre	767 500	25 583
Octobre	628 100	20 261
Novembre	97 500	3 250
Décembre	26 900	868
Janvier	8 000	258
Année	2 792 090	7 650

Ces résultats globaux conduisent aux conclusions suivantes :

	en 1970-1971	en 1971-1972
Module	682 m <sup>3</sup> /s	562 m <sup>3</sup> /s
Volume écoulé	21 508 × 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	17 723 × 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Concentration moyenne	158 g/m <sup>3</sup>	158 g/m <sup>3</sup>
Dégradation spécifique	81 t/km <sup>2</sup> /an	66 t/km <sup>2</sup> /an
Lame équivalente de sol érodé	6,2 × 10 <sup>-2</sup> mm	5,1 × 10 <sup>-2</sup> mm

Le graphique 13 donne les variations mensuelles des poids de matières solides transportées en suspension ainsi que du débit de février 1970 à janvier 1972.

Il est intéressant de noter qu'au cours de deux années consécutives, ayant des hydraulicités assez différentes, la concentration moyenne annuelle est restée la même : 158 g/m<sup>3</sup>.

De plus une estimation établie pour les années 1966-1967 aurait donné des chiffres tout à fait comparables.

Le module de l'année 1970-1971 est légèrement inférieur à la moyenne (682 m<sup>3</sup>/s contre 710 m<sup>3</sup>/s pour celle-ci), tandis que celui de l'année 1971-1972 (562 m<sup>3</sup>/s) est un des plus faibles observés en 20 ans. Malgré tout, comme nous l'avons déjà signalé, la concentration moyenne est restée la même au cours des deux années d'étude. On peut donc admettre, pour une année moyenne, une dégradation de 3 600 000 t/an, soit 85 t/km<sup>2</sup>/an, correspondant à une concentration de 160 g/m<sup>3</sup> et une lame équivalente de sol érodé de 6,5 × 10<sup>-2</sup> mm.

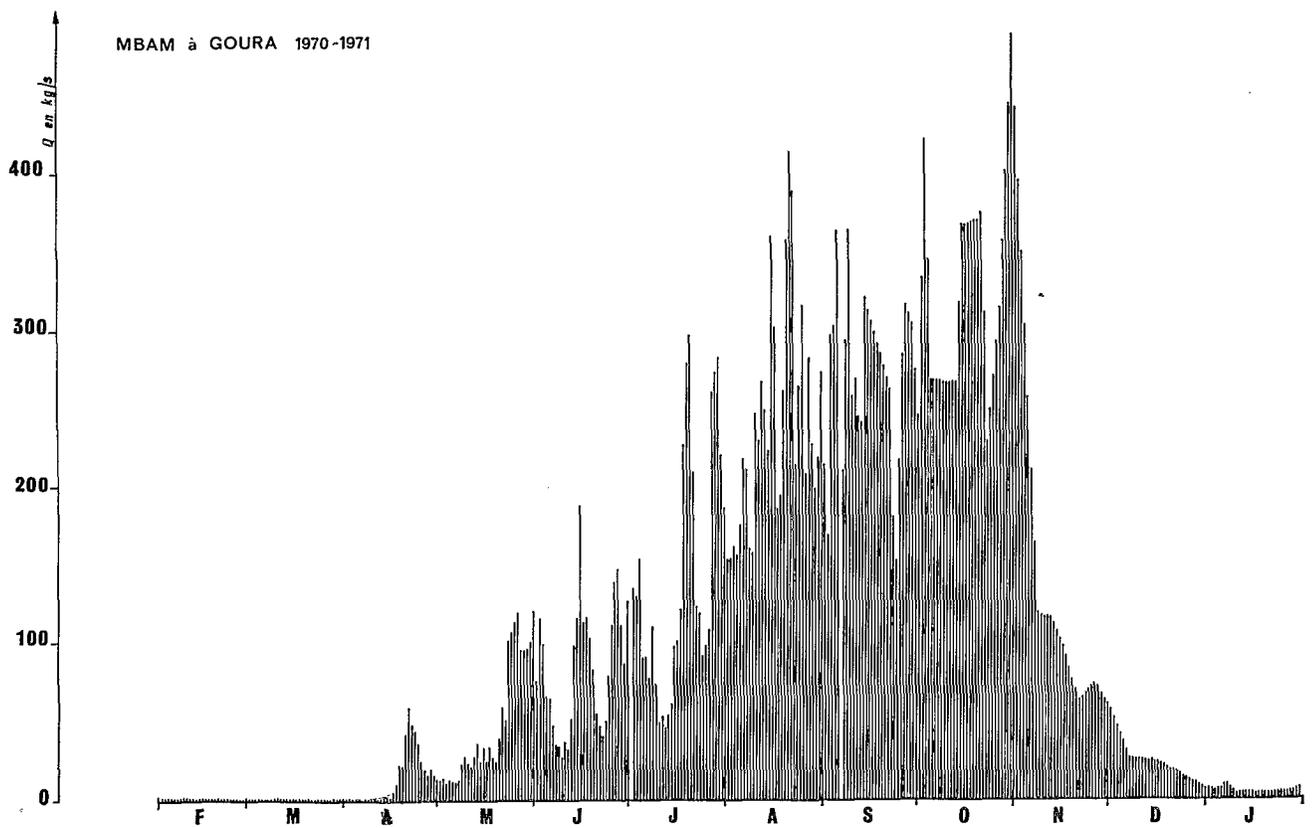


Fig. 11. — Débits solides moyens journaliers en kg/s.

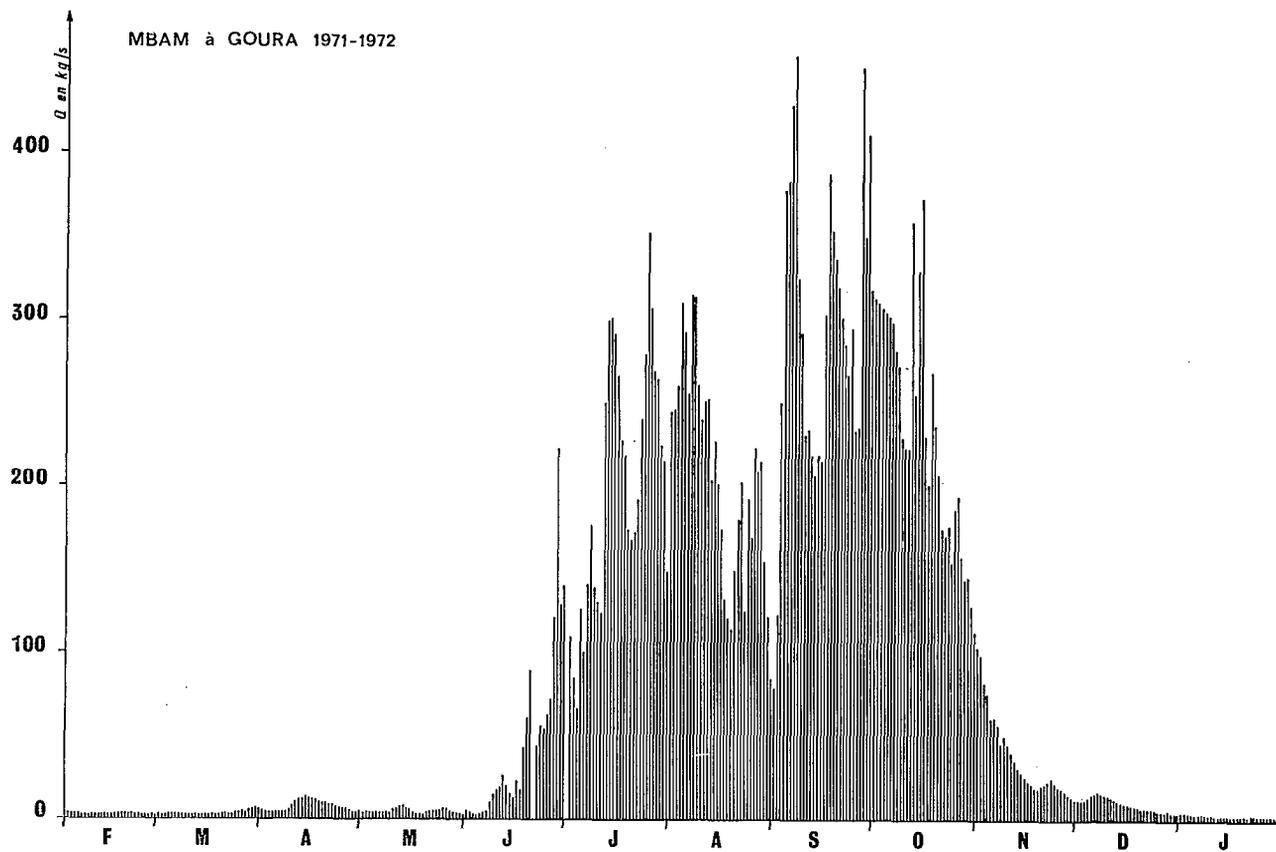


Fig. 12. — Débits solides moyens journaliers en kg/s.

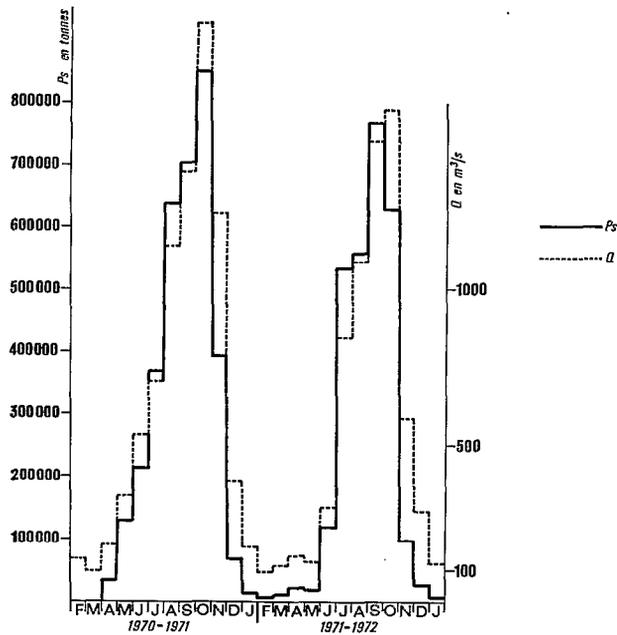


Fig. 13. — Variations mensuelles du débit et du poids de matières solides transportées en suspension. Mbam à Goura.

Les valeurs relativement fortes des transports solides pour un bassin de cette importance (plus de 40 000 km<sup>2</sup>) laissent préjuger que dans certaines zones, l'érosion locale, à l'échelle de la parcelle ou du petit bassin, doit être très importante. Il a été en effet mesuré, en pays Bamiléké, sur une parcelle cultivée des dégradations supérieures à 10 000 t/km<sup>2</sup>/an. Toutefois, les mêmes mesures effectuées sur une parcelle vierge (savane) n'ont donné des valeurs que trois fois supérieures à celles observées à Goura. De la même manière, des observations effectuées au Cameroun occidental sur un bassin montagneux de 25 km<sup>2</sup> ont montré que la dégradation spécifique se situait aux environs de 110 t/km<sup>2</sup>/an, en moyenne.

Ces comparaisons rapides mettent clairement en lumière :

a) l'importance de l'échelle de mesure (champ ou cours d'eau, surface de bassin, ...) sur la grandeur mesurée ;

b) l'effet néfaste de la mise en cultures incontrôlée sur la conservation des terres, effet qui bien qu'atténué se fait sentir très loin en aval.

### 3. LA TSANAGA A BOGO

#### 3.1. QUELQUES CARACTÉRISTIQUES.

Les caractéristiques essentielles du bassin peuvent se résumer ainsi :

- superficie : 1 535 km<sup>2</sup> ;
- fortes pentes longitudinales jusqu'à Maroua, relief presque inexistant entre Maroua et Bogo ;
- unités géologiques :
  - massifs et inselbergs formés de roches cristallines,
  - formations de piémont constituées de roches détritiques,
  - massifs de roches vertes ;
- sols très diversifiés, souvent mal protégés contre l'érosion ;
- végétation : savane arborée sur l'ensemble du bassin (couverture peu dense) ;
- régime climatologique de type tropical caractérisé par l'alternance d'une saison absolument sèche de novembre à mars et d'une saison des pluies de juin à septembre, avec des averses à fortes intensités (des intensités de 200 mm/h peuvent être observées durant 5 mn) ; le bassin de la Tsanaga se situe entre les isohyètes 800 à 950 mm, le gradient pluviométrique croissant d'est en ouest.

La hauteur pluviométrique moyenne peut être estimée à 830 mm ; le module à 8,45 m<sup>3</sup>/s (5,5 l/s/km<sup>2</sup>) soit un coefficient d'écoulement de 20,9% ; l'écoulement temporaire va de juin à octobre, environ.

#### 3.2. PROTOCOLE DE MESURES.

84 mesures complètes ont été effectuées entre le 18 juin et le 6 octobre 1969, représentant près de 720 prélèvements.

Pour chaque jaugeage, nous avons admis que la moyenne arithmétique des concentrations donnait une estimation suffisamment précise de la concentration moyenne (voir second article déjà cité).

Nous nous sommes efforcés d'effectuer pour chaque crue, un minimum de trois séries de mesures : une à la montée, une autre au maximum et une à la décrue. Entre les crues les prélèvements étaient plus espacés.

Malgré le nombre important de mesures nous avons été contraints, pour effectuer certaines interpolations ou extrapolations, de tracer un réseau de courbes en boucles  $Q = f(C)$  liant le débit à la concentration.

## 3.3. RÉSULTATS OBTENUS.

Il serait fastidieux de donner la liste complète des différentes mesures. Nous avons simplement regroupé dans le tableau ci-après les caractéristiques des principales crues.

Les différentes colonnes de ce tableau indiquent, dans l'ordre :

N<sup>o</sup> : numéro de la crue,  
Date : date de la crue,  
V<sub>R</sub> : volume ruisselé, en 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>,

P<sub>s</sub> : poids des matériaux transportés en suspension, en tonnes,  
C<sub>m</sub> R : concentration moyenne de ruissellement, en g/l ( $C_m R = \frac{P_s}{V_R}$ ), (nous disons bien en grammes par litre),  
Q<sub>max</sub> R : débit maximum de ruissellement, en m<sup>3</sup>/s,  
 $K = \frac{Q_{max} R}{Q_{moy} R}$  : Q<sub>moy</sub> R étant le débit moyen de ruissellement. Ce coefficient permet de définir la forme de l'hydrogramme.

N <sup>o</sup>	Date	V <sub>R</sub> (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	P <sub>s</sub> (t)	C <sub>m</sub> R (g/l)	Q <sub>max</sub> R (m <sup>3</sup> /s)	$K = \frac{Q_{max} R}{Q_{moy} R}$
1	20/21-6	1 530	4 970	3,2	26,5	2,7
2	23-6	2 830	11 560	4,1	45,5	3,3
3	6/7-7	2 665	5 790	2,2	24,2	1,6
4	14/15-7	3 310	12 580	3,8	60,0	3,8
5	22/23-7	3 160	11 010	3,5	43,8	2,5
6	24/27-7	9 245	23 090	2,5	65,9	3,1
7	31-7 3-8	12 330	27 550	2,2	111	2,1
8	3/4-8	14 760	36 280	2,5	184	2,3
9	5/6-8	5 400	13 680	2,5	103	2,0
10	6/7-8	6 900	17 410	2,5	84	1,9
11	16/17-8	9 935	20 170	2,0	133	2,6
12	23/24-8	4 230	5 300	1,3	69,0	2,1
13	26/27-8	24 700	41 380	1,7	177	2,1
14	4/5-9	10 325	15 430	1,5	85	1,8
15	14/15-9	3 445	3 520	1,0	35,0	2,3
16	19/20-9	5 015	8 470	1,7	67,7	3,4
17	26-9	3 995	5 950	1,5	46,5	2,5

## 3.4. INTERPRÉTATION DES MESURES.

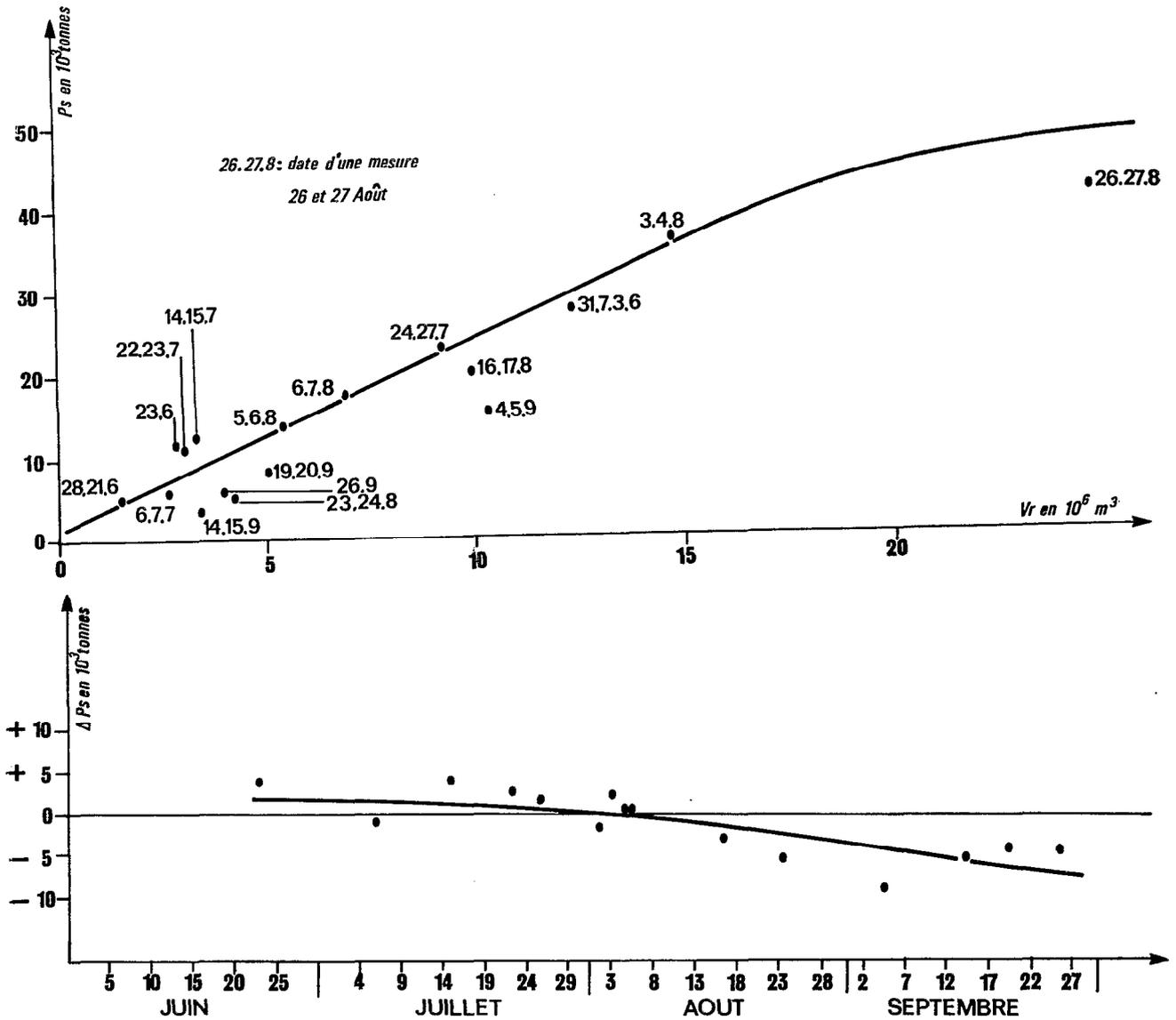
La méthode de travail utilisée est celle des déviations résiduelles.

Pour les 17 crues étudiées, nous avons porté les poids de matières transportées en suspension (P<sub>s</sub>) en fonction des volumes ruisselés (V<sub>R</sub>) — graphique 14 — et tracé une courbe moyenne des poids observés. La dispersion étant relativement importante, nous avons étudié, graphiquement, les écarts des P<sub>s</sub> à la courbe du graphique 14, en prenant la date comme facteur de correction — graphique 15. Cette correction qui correspond à l'évolution du sol et de sa couverture au cours de la saison des pluies, nettoyage d'abord, puis croissance de la végétation herbacée, nous avait déjà donné des résultats très satisfaisants

lors de l'exploitation des mesures effectuées à cette même station en 1968<sup>1</sup>. L'inconvénient majeur de ce paramètre est qu'il ne permet pas une étude inter-annuelle. L'introduction des paramètres plus généraux faisant intervenir un indice d'humectation ou de sécheresse ou, tout simplement, la pluviométrie journalière, ne peut être facilement envisagée sur un bassin de cette importance.

Les poids observés corrigés sont portés sur le graphique 16. La courbe moyenne correspond aux P<sub>s</sub> observés, ramenés au 3 août 1969 (date d'une correction « nulle »).

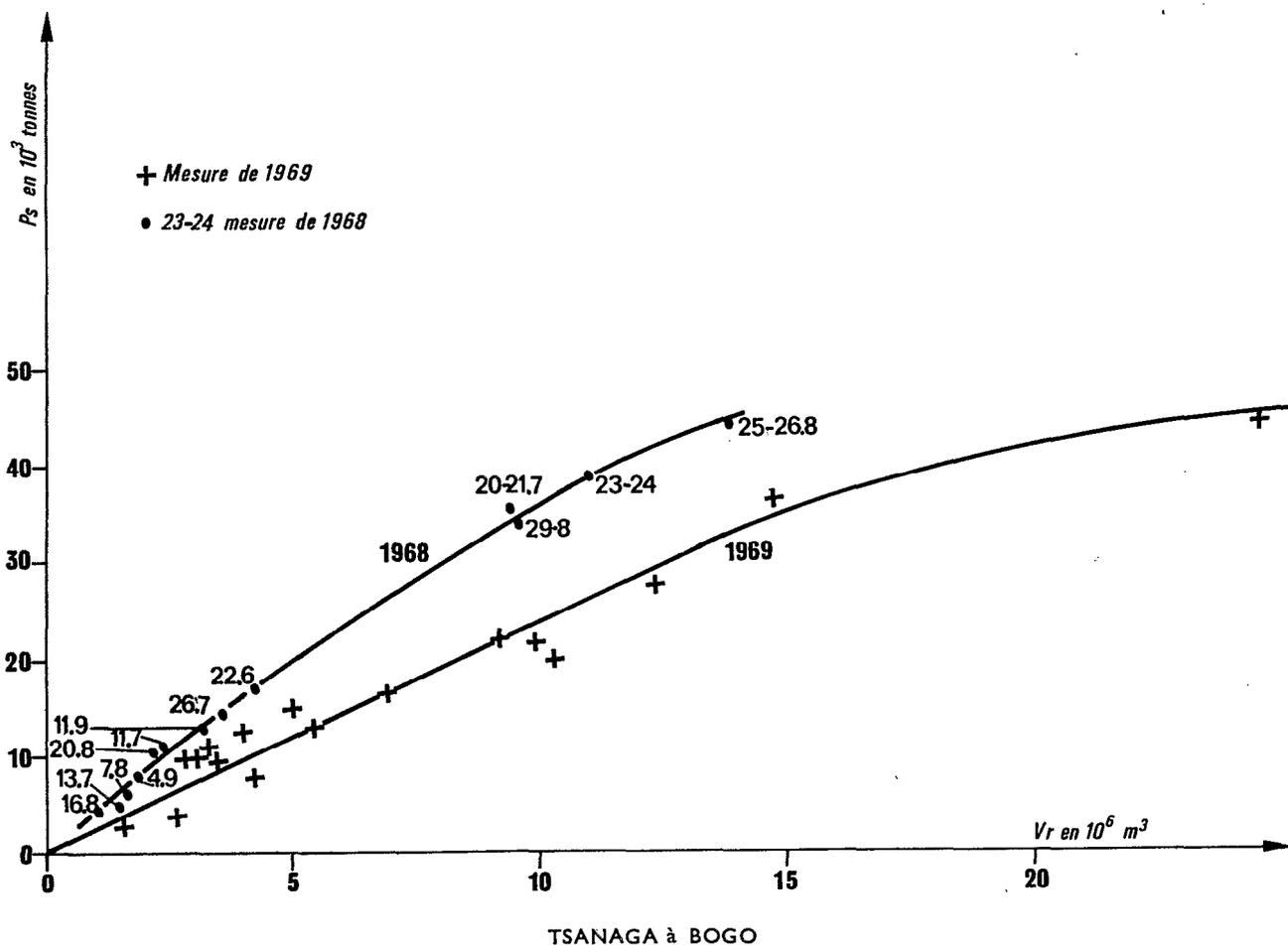
<sup>1</sup> « Mesure et étude des transports solides en suspension au Cameroun » par J. F. NOUVELOR, article déjà cité.



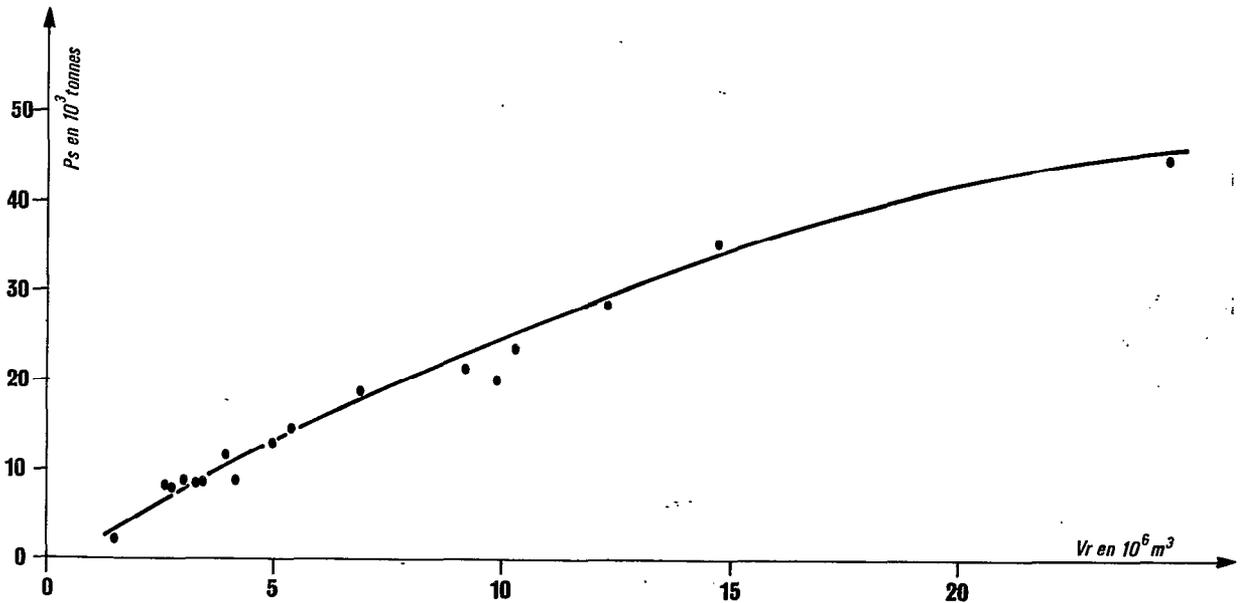
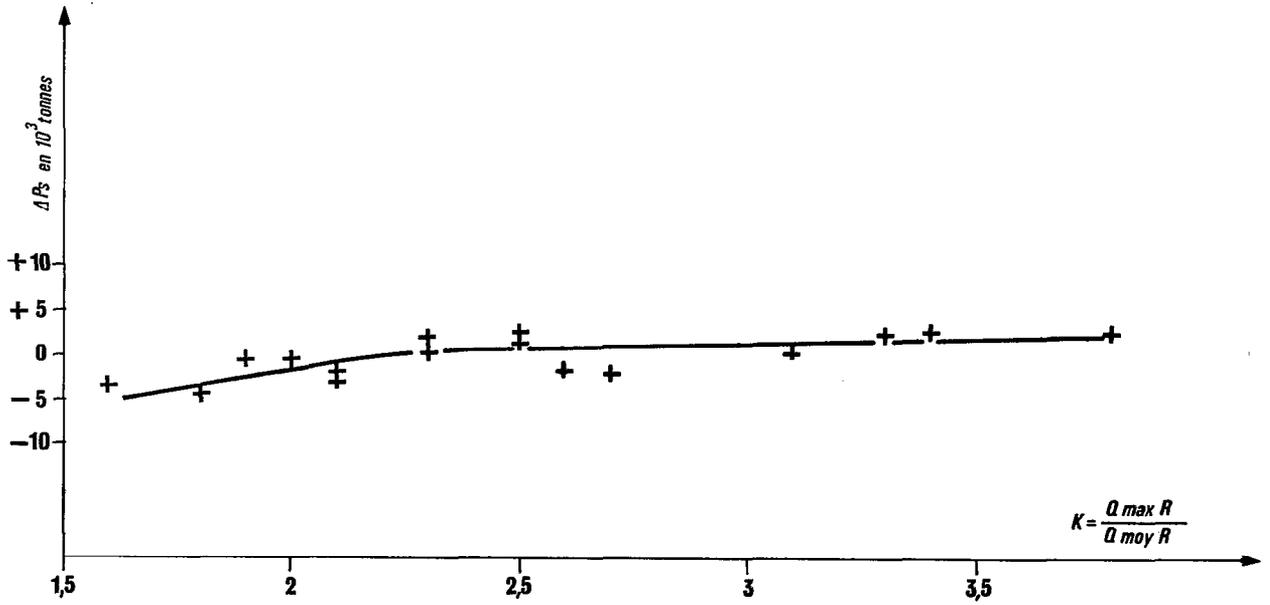
TSANAGA A BOGO 1969

Fig. 14. — Variation du poids de matières transportées en suspension en fonction du volume ruisselé (facteur principal).

Fig. 15. — Variation du poids de matières transportées en suspension dans le temps (facteur secondaire correctif C1).



TSANAGA à BOGO  
 Fig. 16. — Variation du poids de matières transportées en suspension ( $P_s$  observés ramenés au 3 août 1969 ou au 4 août 1968) en fonction du volume ruisselé.



TSANAGA à BOGO 1969

Fig. 17. — Variation du poids de matières transportées en suspension en fonction du volume ruisselé. Correction C2 : forme de la crue k.

Fig. 18. —  $P_s$  observés ramenés au 3 août avec  $k = 2,2$  correction C1 + C2.

Pour illustrer notre remarque précédente, nous donnons sur le même graphique la courbe obtenue pour la campagne 1968 ( $P_S$  observés ramenés au 4 août 1968).

Nous notons que pour les volumes ruisselés égaux et ramenés sensiblement à la même époque de référence (3 et 4 août), les poids de matières solides transportées en suspension sont beaucoup plus forts en 1968 qu'en 1969. On a d'ailleurs observé que le haut bassin de la Tsanaga, comme celui du Kalliao, son principal affluent, avaient été plus arrosés en avril, mai, juin et même juillet 1968 que durant la même période en 1969 ; ce qui peut expliquer la différence observée.

La dispersion des points de 1969 restant encore relativement importante sur le graphique 16, nous avons introduit une deuxième correction faisant intervenir la forme de l'hydrogramme, par l'intermédiaire du rapport  $K = \frac{Q_{\max} R}{Q_{\text{moy}} R}$  (graph. 17). On peut, en effet, raisonnablement supposer qu'à volume égal, et pour des averses suffisamment homogènes, la crue ayant le plus fort pouvoir érosif sera celle qui aura le rapport  $K$  le plus élevé (crues, provoquées par des averses présentant de fortes intensités, ayant une forme plus pointue).

Les  $P_S$  observés corrigés suivant la date et le coefficient  $K$  sont portés sur le graphique 18 en fonction du

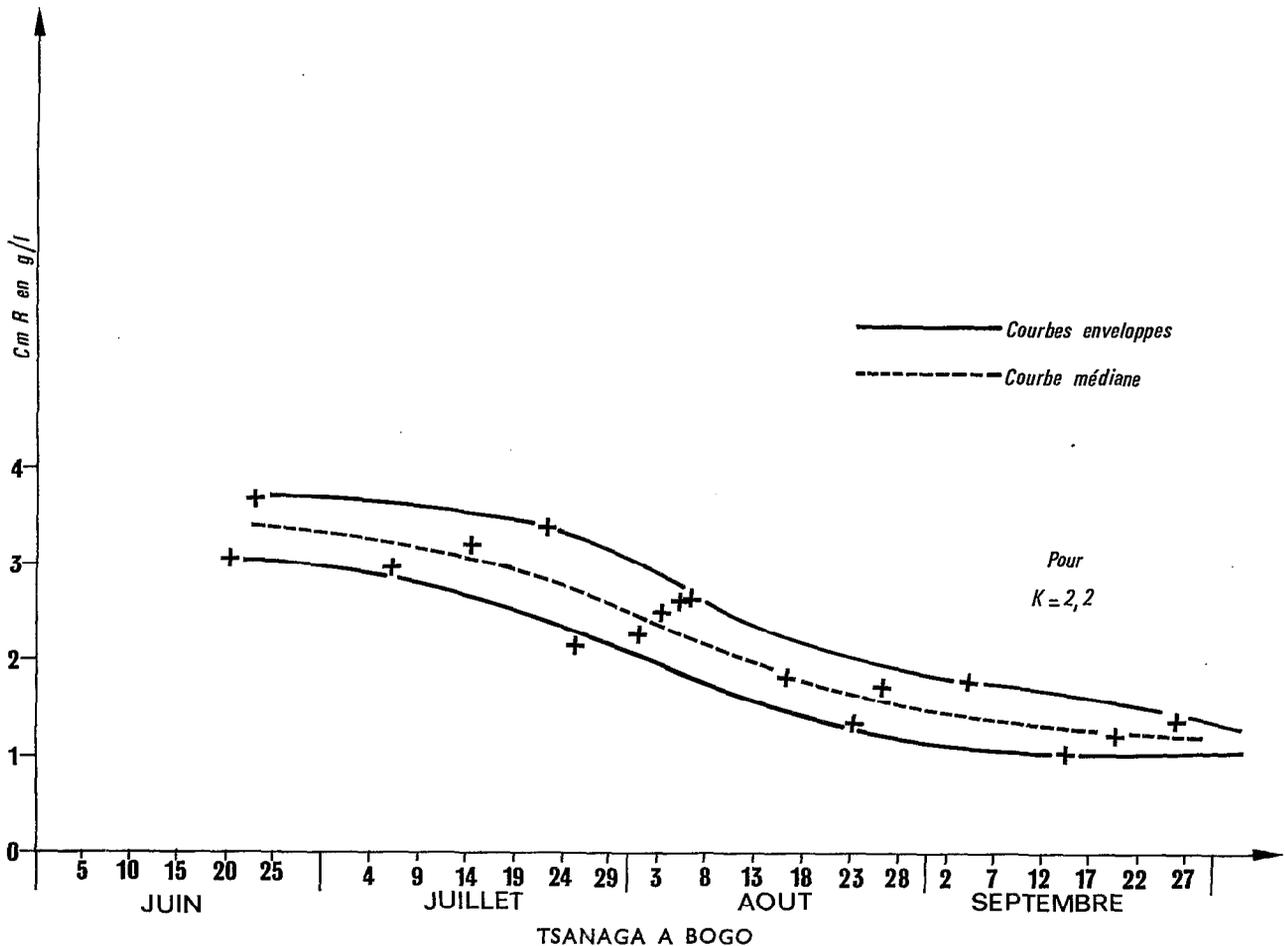


Fig. 19. — Variations des concentrations moyennes (corrigées de l'influence de la forme de crue  $k$ ) en fonction du temps.

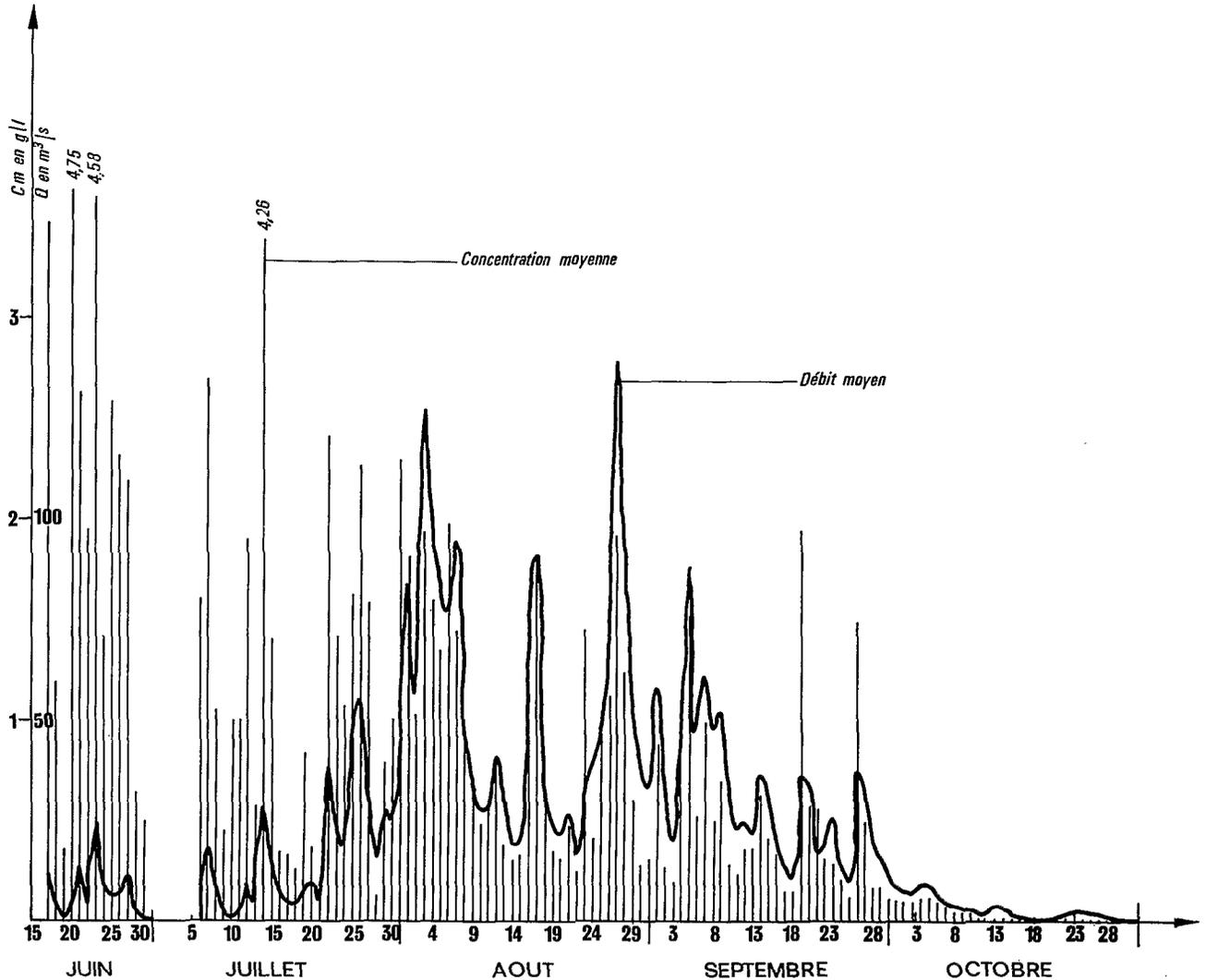
volume ruisselé. La dispersion est bien réduite et acceptable.

\* \* \*

Une autre manière d'aborder l'étude des transports solides en période de crues consiste à suivre les variations de la concentration moyenne de ruissellement en fonction du temps. Comme dans le cas précédent

pour réduire la dispersion, nous avons introduit la correction correspondant à l'influence  $K = \frac{Q_{max} R}{Q_{moy} R}$  de la forme des crues.

Le graphique 19 montre les variations des concentrations moyennes corrigées pour  $K = 2,2$  en fonction du temps.



TSANAGA A BOGO - 1969

Fig. 20. — Variations de la concentration moyenne et du débit moyen journaliers.

Nous pouvons dégager trois périodes :

a) De la mi-juin à la mi-juillet, le couvert végétal n'est pas suffisamment important pour protéger efficacement le sol. Les eaux de ruissellement sont très chargées, les concentrations moyennes étant supérieures à 3 g/l (en 1968 à la même époque  $C_m$  était voisin de 5 g/l).

g) De la mi-juillet à la mi-août, quand la végétation essentiellement herbacée commence à prendre une certaine importance sur l'ensemble du bassin (période de forte croissance des graminées), la concentration

moyenne décroît assez rapidement, de 3 g/l à moins de 2 g/l.

c) Dès la deuxième quinzaine d'août, les variations sont beaucoup moins sensibles, la protection végétale étant alors suffisante et maximale. La concentration moyenne se situe entre 1,5 g/l et 1 g/l.

Le graphique 20 sur lequel figure les variations de la concentration moyenne journalière et du débit moyen journalier en fonction du temps, montre bien l'importance primordiale de la végétation.

## DÉBITS SOLIDES EN TONNES/JOUR

Jours	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
1		0	13 100	4 430	86
2		0	5 040	740	69
3		0	21 000	325	52
4		0	14 200	1 930	93
5		0	9 650	11 300	95
6		560	13 000	2 090	46
7		4 410	11 700	5 130	29
8		740	4 000	2 050	17
9		90	1 950	3 110	9
10		78	1 190	790	5
11		78	1 330	450	1,7
12		1 760	2 660	770	0,4
13		225	1 010	670	17
14		10 600	515	2 020	9
15		1 800	560	1 170	3,5
16		190	6 010	530	0,9
17	3 600	156	13 500	200	0,3
18	505	104	2 015	140	0
19	10	605	755	6 010	0
20	1 830	305	580	1 620	0
21	3 010	86	1 110	850	0,9
22	655	8 210	325	480	1,7
23	9 970	2 750	3 960	630	6
24	1 060	1 670	1 370	290	10
25	1 540	5 690	3 640	105	9
26	1 320	10 400	7 990	4 730	4
27	2 120	5 150	22 900	1 280	2,6
28	153	173	8 570	280	0,9
29	27	1 870	2 830	240	0,5
30	0	2 200	830	110	0,2
31		9 900	830		0,1
<b>Total</b> en tonnes	25 800	69 800	178 120	54 470	570

N.B. Pas d'écoulement de novembre à mai.

### 3.5. EXAMEN GLOBAL DES TRANSPORTS SOLIDES EN 1969.

Les poids journaliers de matières solides transportées en suspension en 1969 figurent dans le tableau ci-dessus.

Le total annuel s'élève à 328 760 t, soit une dégradation spécifique de 214 t/km<sup>2</sup>/an. Ce résultat correspond, en admettant une densité moyenne de 1,4 pour l'horizon du sol soumis à l'érosion, à une lame de sol équivalente de  $153 \times 10^{-3}$  mm, valeur sous-estimée pour les mêmes raisons que pour la Sanaga, mais avec un écart certainement plus faible.

Sachant qu'au cours de la même année  $281 \times 10^6$  m<sup>3</sup> d'eau ont transité par la station de Bogo, la concentration moyenne annuelle a été de 1,17 g/l.

Malgré une pluviométrie largement excédentaire en 1969 (984 mm contre 830 mm environ en année moyenne) le module annuel est à peine supérieur au module interannuel (8,9 m<sup>3</sup>/s contre 8,5 m<sup>3</sup>/s environ pour la moyenne) ; ce qui explique que la dégradation spécifique n'ait pas été aussi forte que l'aurait laissé supposer la pluviométrie annuelle.

### 2.6. VARIATIONS INTERANNUELLES.

Nous avons porté sur le graphique 21 les variations mensuelles du poids des matières solides transportées en suspension, en 1968 et 1969.

Le tableau ci-dessous regroupe les principales caractéristiques des deux années étudiées :

$Q_{\text{moy}}$  est le débit moyen mensuel, en m<sup>3</sup>/s,

$P_{\text{moy}}$  est la pluviométrie moyenne mensuelle, en mm,

$C_m$  est la concentration moyenne mensuelle, en g/l.

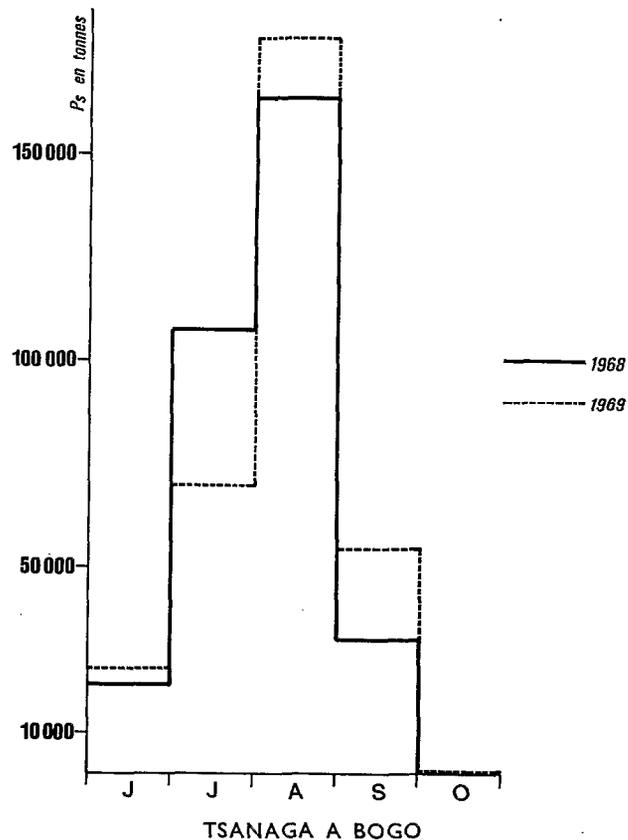


Fig. 21. — Variations mensuelles du poids des matières solides transportées en suspension.

mois	$Q_{\text{moy}}$ (m <sup>3</sup> /s)		$P_{\text{moy}}$ (mm)		$C_m$ (g/l)	
	1968	1969	1968	1969	1969	1969
Mai	0	0	225	91	0	0
Juin	3,40	3,35		164	2,43	2,96
Juillet	23,4	15,0	224	234	1,72	1,74
Août	46,2	54,0	269	275	1,32	1,24
Septembre	28,9	30,7	96	173	0,57	0,68
Octobre	1,30	2,85	9	47	0,07	0,05
Année	8,1	8,9	823	984	1,27	1,17
				1968		1969
Poids total annuel transporté (t)				325 510		328 760
Dégradation spécifique annuelle (t/km <sup>2</sup> /an)				212		214
$C_m$ annuelle (g/l)				1,27		1,17

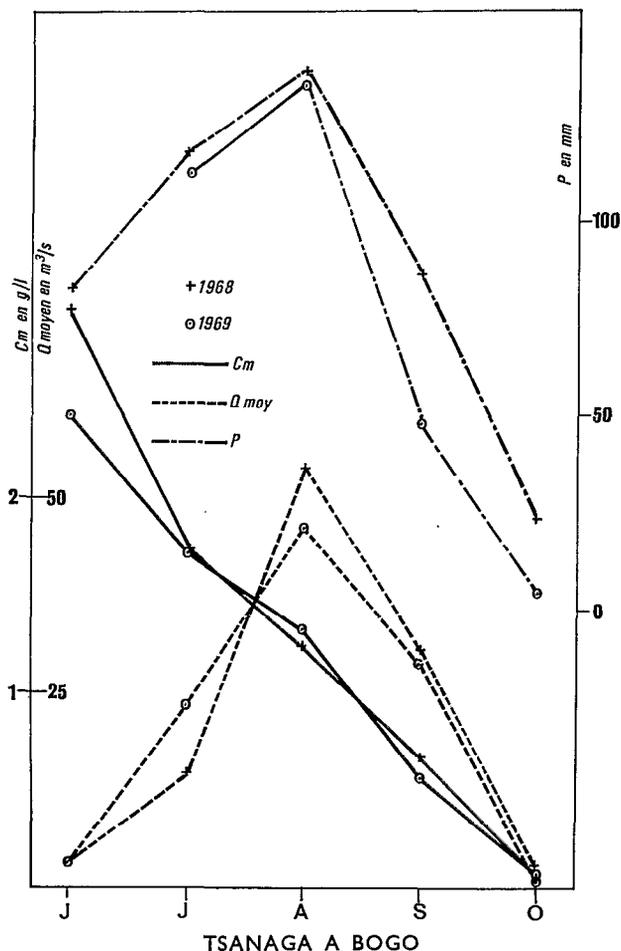


Fig. 22. — Variations mensuelles des moyennes de la hauteur pluviométrique, du débit et de la turbidité.

Le graphique 22 fournit une représentation des éléments de ce tableau.

Les différences relativement importantes entre les hauteurs pluviométriques observées, au cours des deux années, ne se retrouvent pas aussi nettement lorsque l'on compare les débits. L'explication de ce phénomène est à rechercher dans une répartition différente des fréquences et hauteurs d'averses entre les deux années. Nous avons déjà signalé (par. 2.4.) l'importance des petites averses de début de saison des pluies qui favorisent le démarrage de la végétation herbacée, laquelle sera apte à protéger efficacement le sol contre l'érosion lorsque surviendront des averses plus importantes.

Il faut noter comme caractéristique la similitude des deux courbes de la concentration  $C_m$  dans le graphique 22, malgré des débits moyens mensuels parfois différents (juillet).

Le bassin de la Tsanaga est représentatif d'une zone qui englobe les versants orientaux des monts Mandara et qui se prolonge vers l'est par une vaste plaine alluviale.

Les rivières (mayos) de cette région descendent très rapidement des massifs et vont se perdre dans les immenses plaines (Yaeres) de la cuvette tchadienne où ils déposent les matériaux fins arrachés aux parties amont de leur bassin.

On peut considérer qu'en arrivant dans les Yaeres ces mayos ont une charge en suspension qui correspond à une dégradation spécifique moyenne de  $210 \text{ t/km}^2/\text{an}$ , soit une lame de sol équivalente de  $0,15 \text{ mm/an}$  environ.

#### 4. CONCLUSIONS

Au terme des trois campagnes de mesures effectuées sur la Sanaga, le Mbam et la Tsanaga, nous pouvons essayer de dégager quelques conclusions permettant de donner une bonne approximation de la dégradation spécifique moyenne, susceptible d'être observée sur ces trois types de bassins, deux étant soumis au climat tropical de transition (Centre et Ouest du Cameroun), l'autre au climat tropical pur (Nord-Cameroun).

Les valeurs données ci-après, sont inférieures à celles de l'érosion mesurée sur le terrain, particulièrement pour la Sanaga et le Mbam. Elles permettent simplement de chiffrer les quantités de matières solides transportées jusqu'aux exutoires. C'est ainsi qu'on peut calculer qu'en année moyenne la Sanaga et son affluent le Mbam entraînent jusqu'à l'océan à peu près 6 000 000 de tonnes de matériaux solides (essentiellement des argiles et des limons).

Quant à la Tsanaga, son caractère endoréique fait que l'alluvionnement ( $325 \text{ 000 t/an}$  en moyenne) produit un vaste cône de déjection aplati qui vient recouvrir les dépôts lacustres anciens de l'ouest de la cuvette tchadienne.

L'influence des facteurs du milieu physico-climatique sur la dégradation spécifique est très nette. Celle-ci passe de 1 à 3 entre la Sanaga et le Mbam au sein d'un même milieu phytogéographique, simplement sous l'effet du relief et de la mise en cultures intensive localisée. La dégradation de la Tsanaga est huit fois celle de la Sanaga et plus de deux fois celle du Mbam parce que sur des pentes élevées ses sols sont mal protégés, par une savane peu dense, des précipitations violentes.

	Sanaga à Nachtigal	Mbam à Goura	Tsanaga à Bogo
Superficie	77 000 km <sup>2</sup>	42 300 km <sup>2</sup>	1 535 km <sup>2</sup>
Hauteur pluviométrique annuelle	(1 580 mm)	(1 780 mm)	830 mm
Sous-sols	Roches : métamorphiques, éruptives, volcaniques, sédimentaires	Roches : migmatites, intrusives, éruptives, volcaniques	Roches : métamorphiques et éruptives
Sols	Ferrallitiques	Latérisation	Diversifiés, mal protégés, contre érosion
Végétation	Savane : 40% Galeries : 30% Forêt : 30%	Forêt : 25% Savane : 0 Galeries : 75%	Savane arborée peu dense
Pentes	Moyennes	Assez fortes	Fortes sur la moitié du bassin
Régime hydrologique	Tropical transition	Tropical transition	Tropical
Module spécifique	15,3 l/s/km <sup>2</sup>	16,8 l/s/km <sup>2</sup>	5,5 l/s/km <sup>2</sup>
Dégradation moyenne	28 t/km <sup>2</sup> /an	85 t/km <sup>2</sup> /an	210 t/km <sup>2</sup> /an
Lame équivalente érodée	0,02 mm/an	0,065 mm/an	0,15 mm/an
Turbidité moyenne	58 g/m <sup>3</sup>	160 g/m <sup>3</sup>	1 200 g/m <sup>3</sup>