

**O  
N  
A  
R  
E  
S  
T**

INSTITUT DE RECHERCHES SUR LES TECHNIQUES,  
L'INDUSTRIE ET LE SOUS-SOL

**TRANSPORTS SOLIDES EN SUSPENSION  
AU CAMEROUN**

J. C. OLIVRY  
Hydrologue de l'ORSTOM



Juillet 1976

O N A R E S T  
-----

INSTITUT DE RECHERCHES SUR LES TECHNIQUES  
L'INDUSTRIE ET LE SOUS-SOL  
-----

TRANSPORTS SOLIDES EN SUSPENSION  
AU CAMEROUN.

J.C. OLIVRY

Hydrologue de l'O R S T O M.

Juillet 1976.

## TRANSPORTS SOLIDES EN SUSPENSION AU CAMEROUN

### R E S U M E

La charge solide des cours d'eau intertropicaux est principalement constituée d'éléments fins en suspension. En 1966, la mise au point d'une méthodologie relativement simple a permis d'entreprendre des recherches approfondies sur le régime des transports solides en suspension au Cameroun. Ces recherches ont été effectuées de façon systématique sur trois grands bassins : La Sanaga à Nachtigal (77 000 km<sup>2</sup>), et le Mbam à Goura (42 300 km<sup>2</sup>), tous deux soumis au climat tropical de transition (Centre et Ouest) et la Tsanaga à Bogo (1 535 km<sup>2</sup>) soumis au climat tropical pur (Nord). Pour le bassin de la Sanaga, la dégradation spécifique moyenne annuelle, qui traduit l'importance de l'érosion continentale, est de 28 T/km<sup>2</sup>/an ; elle passe à 85T/km<sup>2</sup>/an pour celui du Mbam. Les turbidités moyennes sont respectivement de 58 et 160 g/m<sup>3</sup>. Cette différence pour deux bassins situés au sein d'un milieu physique pratiquement identique est essentiellement due à la mise en culture intensive du pays Bamiléké (Ouest) couvrant moins de 10 % de la superficie du bassin du Mbam.

Après son confluent avec le Mbam, la Sanaga entraîne jusqu'à l'océan 6 millions de tonnes de limons et argiles en année moyenne (dégradation spécifique : 44 T/km<sup>2</sup>/an), dont 2,5 millions en provenance des terres agricoles de l'Ouest.

Dans le Nord Cameroun, la Tsanaga à Bogo montre une dégradation spécifique interannuelle beaucoup plus importante, de l'ordre de 210 T/km<sup>2</sup>/an. Les variations importantes observées dans la turbidité moyenne d'une année à l'autre (de 1000 à 1600 g/m<sup>3</sup>) dépendent en grande partie de l'arrivée plus ou moins tardive de la saison des pluies qui conditionne le développement de la végétation sur un sol initialement nu. Des turbidités de 15 000 g/m<sup>3</sup> sont parfois dépassées en Juin ou Juillet. L'endoréisme de la Tsanaga explique l'alluvionnement d'environ 300 000 tonnes de sédiments par an en un vaste cône de déjection étalé dans le Yaéré (cuvette Tchadienne).

Il est certain que ces recherches sur grands bassins ne donnent qu'une approximation par défaut de l'érosion ; les transports par charriage, mais aussi les dépôts intermédiaires, échappent aux mesures. D'autres recherches effectuées dans le cadre d'études sur bassins représentatifs ou sur parcelles apportent un complément d'information dans ce domaine. L'érosion continentale au Cameroun dépend principalement de l'évolution du sol et de sa couverture végétale au cours de la saison des pluies en milieu naturel ou modelé par l'homme.

## "SUSPENDED LOAD IN CAMEROON"

The load of intertropical rivers is mainly formed by small suspended sediments. Since 1966, the hydrologists have set a rather simple methodology of measurement which has allowed to undertake precise studies about the regimen of suspended load in Cameroon. These studies have been systematically carried out into three basins : Sanaga at Nachtigal (77000 sq. km.), Mbam at Goura (42300 sq. km.), both submitted to a half tropical and equatorial climate, (Center and West Cameroon), and Tsanaga at Bogu (1535 sq. km.) submitted to a genuine tropical climate. For the Sanaga drainage area, the annual sediments rates are 28 T/sq. km. ; they are 85 T/sq. km. for Mbam drainage area. The yearly averages of turbidity are respectively 58 and 160 g/cub.m. This difference between two basins situated into similar countries is explained by the importance of agriculture in bamileke land (which only covers 10 p. cent of Mbam catchment). 6 000 000 tons of sediments are yearly carried into ocean by Sanaga and Mbam rivers (2 500 000 tons coming from bamileke land), (annual sediment rates : 44 T/sq.km.).

In North Cameroon, the interannual sediment rates are far more important : for Tsanaga at Bogu, they are 210 T/sq.km.. The big variations of the yearly averages of turbidity, (from 1000 to 1600 g/cub.m.), depends on the sooner or later beginning of the rainy season (which brings on the growth of vegetation on a initially bare soil). Sometimes in June or July, bigger turbidities than 15 000 g/cub.m. may be observed. the yearly sedimentation of Tsanaga load is about 300 000 tons into Yaere (Chad basin).

It is obvious that these studies give lower valuations than the effective erosion ; the bed load, but also local sedimentations, are not measured. Other researches carried out in studies on representative catchments or experiments plots bring an additional information. The continental erosion in Cameroon mainly depends on the soil evolution and of its cover during the rainy season.

Summary.

## 1 - INTRODUCTION ET GENERALITES

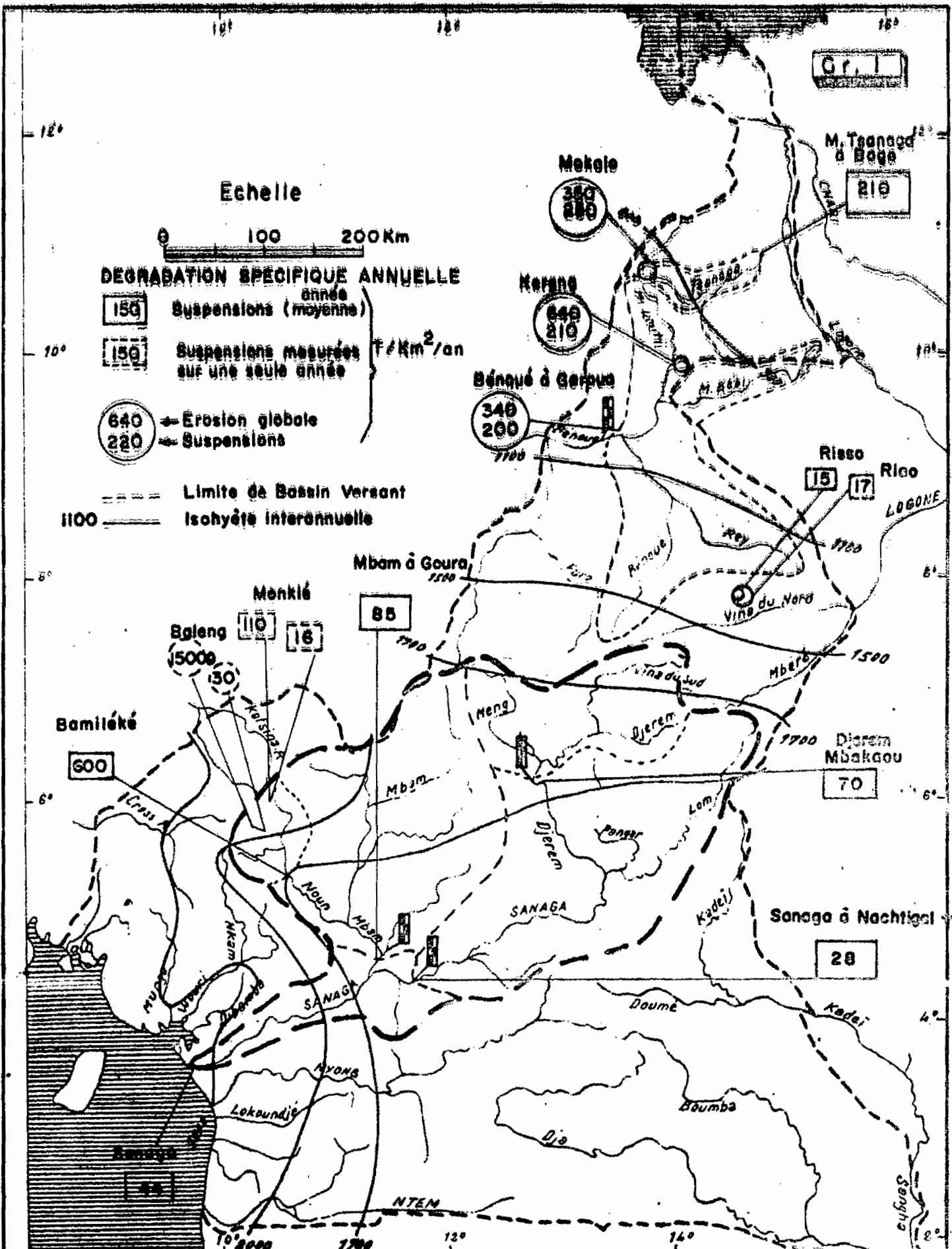
Les premières mesures de transports solides réalisées au Cameroun par les Hydrologues de l'ORSTOM remontent à 1956. Sommaires pour les grands bassins (Bénoué), déjà plus fines pour le Mayo Keréng, ces mesures tentaient une approche globale de l'érosion au Nord-Cameroun dans une évaluation des transports par charriage et en suspension.

Les cours d'eau Intertropicaux d'Afrique ont une charge solide constituée principalement d'éléments fins en suspension notamment pour la zone à climat tropical de transition - Par ailleurs, les difficultés rencontrées dans la mise en oeuvre de mesures du charriage ont conduit les Hydrologues à limiter leurs recherches aux transports en suspension. A partir de 1966, des études systématiques de la charge solide en suspension ont été réalisées grâce à la mise au point d'une méthodologie simple et parfaitement appropriée au contexte du Cameroun (NOUVELOT, 1969 et 1972 a).

La détermination d'un débit de transports solides est obtenue en effectuant le produit de la concentration moyenne en matières transportées par le débit liquide mesuré lui-même par les méthodes classiques de l'hydrométrie, (double intégration des vitesses du courant et des turbidités sur l'ensemble de la section mouillée. La concentration moyenne est obtenue à partir de  $n$  concentrations ponctuelles - Celles-ci sont calculées à partir de  $n$  échantillons de 10 litres d'eau prélevés sur différentes verticales et différentes profondeurs à l'aide d'une pompe, la prise d'eau étant descendue à la profondeur voulue grâce à l'équipement classique de jaugeage. Pour certains cours d'eau peu profonds et bien brassés des prélèvements au seau peuvent être effectués .

Au laboratoire (généralement sur le terrain) les échantillons sont décantés par adjonction de sulfate d'alumine puis réduits par siphonnage - Les échantillons réduits (1 litre) sont ensuite filtrés sur papier filtre à l'étuve à 105°C, une nouvelle pesée indique par différence la charge solide pour 10 L d'eau, d'où la concentration. Ces recherches demandent un très grand nombre de mesures dont la fréquence croît généralement, pour un régime hydrologique donné, inversement à la superficie du bassin étudié. Chaque bassin constitue en effet un cas d'espèce pour lequel un protocole de mesures doit être élaboré même si la méthodologie reste la même.

Les études ont porté - d'une part, sur deux grands cours d'eau situés dans les régions soumises au climat tropical de transition (Sanaga et Mbam), - d'autre part, au Nord Cameroun sous climat tropical pur (Mayo Tsanaga) (cf. carte de situation) - Dans le premier cas les variations de débit sont suffisamment lentes pour qu'un prélèvement quotidien soit représentatif du débit solide moyen journalier. Par contre les variations rapides du Mayo Tsanaga nécessitent des mesures fréquentes pendant toute la période de l'écoulement et notamment plusieurs séries de prélèvements exécutées pendant les crues.



MESURES DE TRANSPORTS SOLIDES  
 AU CAMEROUN  
 CARTE DE SITUATION

## 2 - MESURES DES TRANSPORTS SOLIDES DANS LES REGIONS SOUMISES AU CLIMAT TROPICAL DE TRANSITION

Ces mesures ont été effectuées essentiellement sur la SANAGA à Nachtigal et le MBAM à Goura. Les études ont porté successivement sur la Sanaga pour la période 1967 - 1969 et sur le Mbam pour la période 1969-1974. L'excellente connaissance des régimes hydrologiques de ces deux rivières permet toutefois une étude comparative des résultats respectifs. Le programme de mesures a comporté pour ces deux grands bassins une série de jaugeages complets des débits solides, des jaugeages partiels et des prélèvements quotidiens d'échantillons témoins. Des liaisons linéaires très étroites ont permis d'en déduire les concentrations moyennes journalières.

### 2.1 - LA SANAGA A NACHTIGAL

La station de Nachtigal contrôle un bassin versant de 77.000 km<sup>2</sup> dont le sous-sol est formé principalement de roches métamorphiques et éruptives, avec localement des recouvrements volcaniques (Adamaoua). Les sols, ferrallitiques dans leur ensemble sont recouverts d'une végétation composée de 30 % de forêt et de 70 % de savanes avec galeries forestières. Avec une hauteur pluviométrique interannuelle de 1.580 mm, le module spécifique de 15,3 l/s/km<sup>2</sup> traduit un coefficient d'écoulement de 30,5 % (valeurs médianes : étiage absolu : 183 m<sup>3</sup>/s maximum : 3.600 m<sup>3</sup>/s). Le bassin est soumis au régime tropical de transition caractérisé par une pointe de crue en Septembre-Octobre et un étiage en Février-Mars.

L'analyse des mesures de transports solides permet de dégager certaines constantes dans le régime de l'érosion continentale sur le bassin de la Sanaga. Les variations saisonnières de la concentration moyenne montrent que :

- a) En début de saison des pluies (mars à Juillet), la turbidité augmente très fortement en fonction du débit (de 10 g/m<sup>3</sup> à plus de 100 g/m<sup>3</sup> avec des débits passant de 200 m<sup>3</sup>/s à 1500 m<sup>3</sup>/s). Les premières pluies suffisamment importantes pour ruisseler nettoient littéralement la surface du sol pulvérulente et desséchée et dépourvue à la saison sèche de protection végétale en zone de savane. La répartition dans le temps des premières averses de la saison des pluies joue donc un rôle important.
- b) En pleine saison des pluies, de Juillet à Octobre, alors que les débits augmentent fortement, la concentration décroît d'abord très rapidement puis beaucoup plus lentement en Septembre-Octobre où elle reste comprise entre 50 et 30 g/m<sup>3</sup>.

La végétation est alors suffisamment dense pour réduire l'action mécanique des gouttes de pluie sur le sol.

c) En fin de saison des pluies et en saison sèche la turbidité décroît plus rapidement, l'érosion n'affectant plus que les berges du réseau hydrographique principal.

Les plus forts transports solides s'observent en début de saison des pluies malgré des débits relativement faibles. En pleine saison des pluies le débit solide tend à décroître en dépit d'une augmentation des débits liquides - Le phénomène s'accroît en saison sèche avec la décrue du fleuve. (fig. 2).

Le tonnage de matières transportées a atteint 2.330.000 tonnes en 1968, 1.870.000 tonnes en 1969 (année perturbée en fin de saison par la mise en service du barrage de Mbakaou).

La dégradation spécifique annuelle de la Sanaga a Nachtigal peut être estimée en année moyenne à  $20 \text{ T/km}^2/\text{an}$ , ce qui correspond, pour une hydraulité médiane, à une turbidité moyenne de  $58 \text{ g/m}^3$ . Le poids de matières transportées correspondant est de 2.150.000 tonnes. Avec une densité de 1,3 pour l'horizon sur sol soumis à l'érosion, la lame équivalente de sol érodé serait légèrement supérieure à 2/100e de millimètre.

Des mesures effectuées sur le Djerem à Mbakaou ont permis d'estimer la dégradation spécifique interannuelle à  $70 \text{ T/km}^2/\text{an}$ . Ces fortes valeurs s'expliquent probablement par les fortes pentes du bassin supérieur de la Sanaga et surtout par une couverture végétale assez clairsemée qui rappelle déjà les régions plus septentrionales sous climat tropical pur.

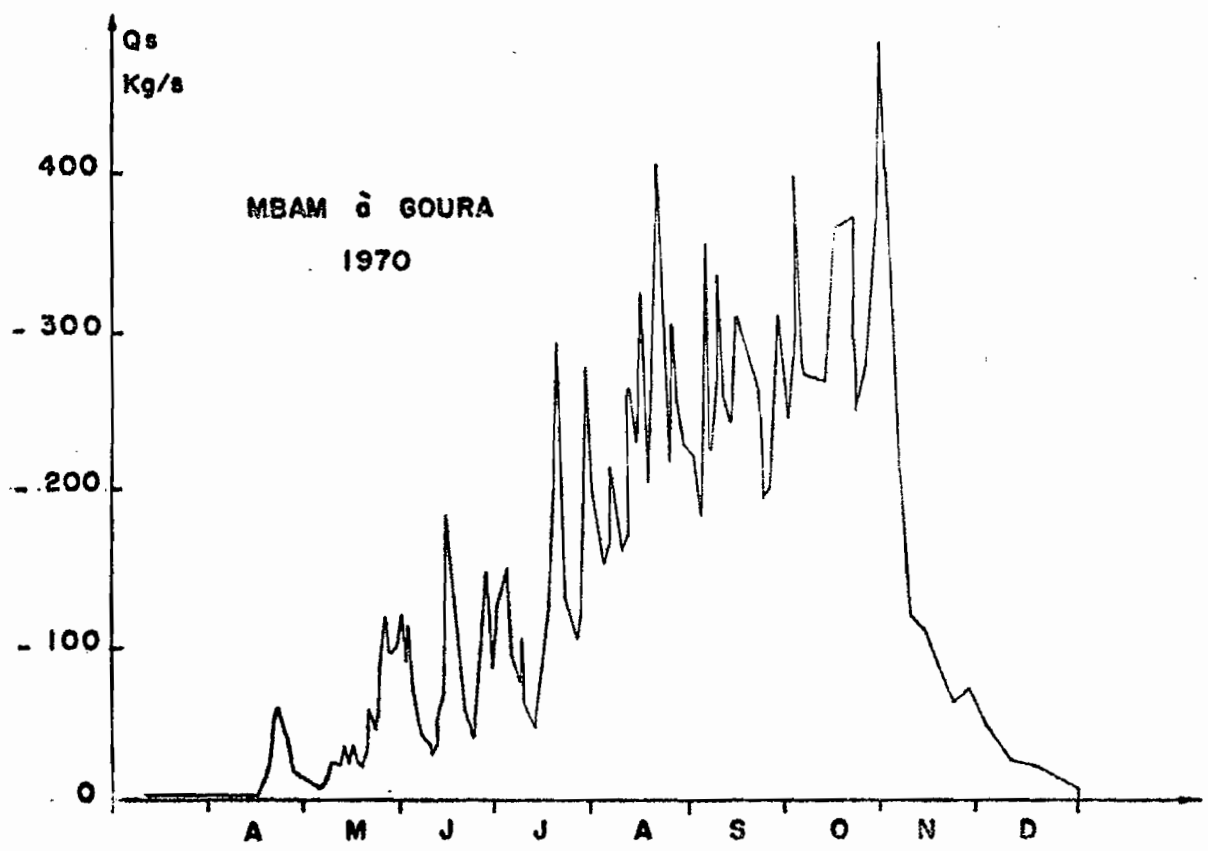
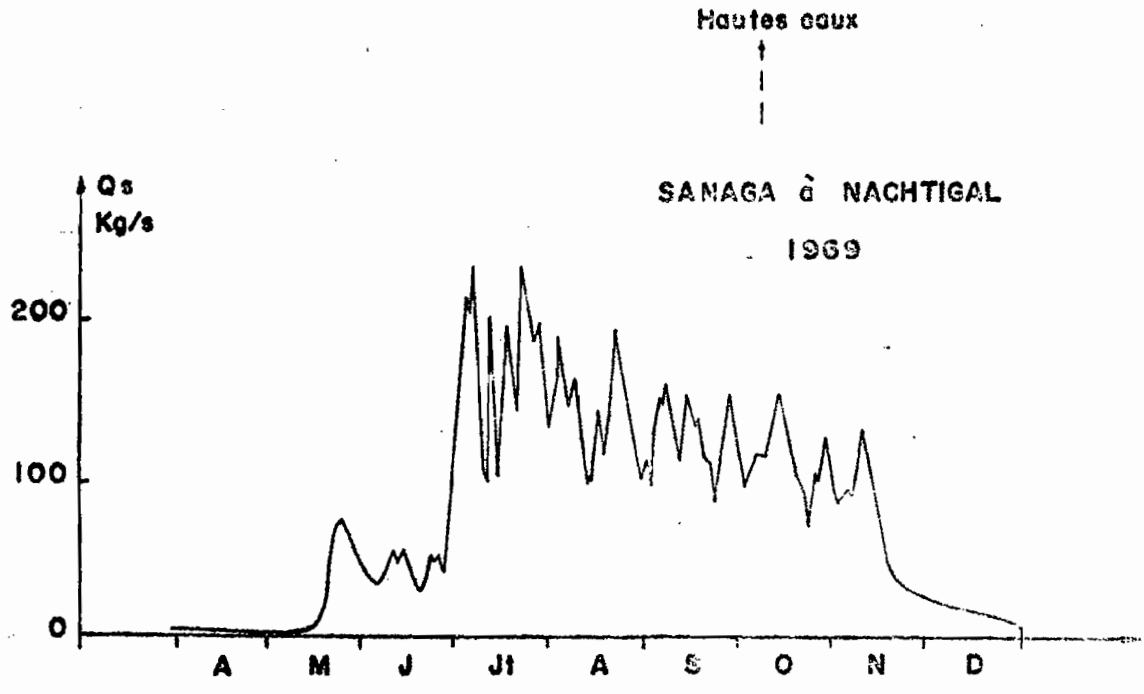
## 2.2 LE MBAM A GOURA

La station de Goura contrôle un bassin versant de  $42.300 \text{ km}^2$  dont le sous-sol, comme pour la Sanaga, est essentiellement constitué de roches métamorphiques et éruptives (socle précambrien) avec toutefois 12 % de recouvrements volcaniques récents (basaltes, trachytes) dans la partie Ouest du bassin. Sur des sols ferrallitiques, la répartition de la végétation est comparable à celle du bassin de la Sanaga. Le bassin du Mbam présente un relief plus accidenté et les pentes sont plus fortes que sur la Sanaga.

Avec une hauteur de précipitations de 1780 mm en moyenne et un module de  $17,1 \text{ l/s/km}^2$ , le coefficient d'écoulement moyen est de 32 %. (Valeurs caractéristiques médianes : étiage absolu :  $80,4 \text{ m}^3/\text{s}$  ; module  $726 \text{ m}^3/\text{s}$  ; maximum de crue :  $2.540 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

L'étude des variations saisonnières des concentrations journalières moyennes montre que celles-ci augmentent très rapidement en début de saison des pluies et passent en quelques jours de quelques dizaines de  $\text{g/m}^3$  à plus de  $100 \text{ g/m}^3$ . Cette augmentation de la turbidité est observée en Avril pour 1970 et 1972 en Mai pour 1973 et Juin pour 1971. Elle est liée au démarrage plus ou moins rapide de la saison des pluies. Entre les épisodes de crue, la turbidité peut redescendre en dessous de  $100 \text{ g/m}^3$ .





**Fig 2 - VARIATIONS-TYPE DES DEBITS SOLIDES MOYENS JOURNALIERS ( en Kg/s) SUR LA SANAGA ET LE MBAM**

Le maximum de turbidité a lieu généralement en Juillet mais il peut être décalé en Juin ou en Août. En fait, la répartition des précipitations joue ici un rôle essentiel. Ces maximums dépassent 300 g/m<sup>3</sup> et ont atteint 420 g/m<sup>3</sup> en 1973.

En pleine saison des pluies, dès que le maximum de la turbidité est atteint, la concentration journalière varie beaucoup moins mais reste assez forte, comprise entre 150 et 250 g/m<sup>3</sup>. Une nette décroissance de la turbidité apparaît peu avant le maximum annuel des débits, fin Septembre début Octobre, mais les concentrations restent supérieures à 100 g/m<sup>3</sup> jusqu'en Novembre. Dès le début de la saison sèche, la décroissance des turbidités devient régulière. Dans le cas du Mbam à Goura, l'évolution des concentrations entraîne des variations du débit solide assez voisines de celles de l'hydrogramme. On note cependant une réduction des amplitudes des variations du débit solide entre le début et la fin de la saison des pluies qui s'explique par de plus fortes turbidités liées à de plus faibles débits en début de saison et un net fléchissement de la concentration lié aux plus forts débits en fin de saison (fig. 2).

Les principales caractéristiques de l'érosion annuelle des quatre années d'observation ont été reportées ci-dessous :

	1970	1971	1972	1973
Matières transportées en milliers de tonnes	3.408	2.792	2.513	2.492
Module m <sup>3</sup> /s	682	562	524	528
Volume écoulé 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /s	21.508	17.723	16.525	16.651
Concentration moyenne g/m <sup>3</sup>	158	158	152	150
Dégradation spécifique tonne/km <sup>2</sup> /an	81	66	59	59
Lame équivalente de sol érodé en 10 <sup>-2</sup> mm	6,2	5,1	4,5	4,5

Au cours de ces quatre années, l'hydraulicité du Mbam n'a cessé de baisser. Le déficit hydrologique est de près de 30 % en 1972 et 1973. La période de retour de ces deux années est plus que centennale (OLIVRY, 1974). Avec des années 70 et 71, elles-mêmes déficitaires, l'échantillon n'est pas très représentatif des transports solides en année moyenne. Cependant, il est intéressant de noter que la concentration moyenne a été relativement stable, de 150 à 158 g/m<sup>3</sup>. En 1966, année moyenne, elle avait été évaluée à 160 g/m<sup>3</sup>. Il paraît donc raisonnable d'admettre que la turbidité moyenne annuelle est pratiquement constante et ne dépend pas de l'hydraulicité. Le poids de matières transportées en année moyenne serait de 3.600.000 tonnes, ce qui correspond à une dégradation spécifique interannuelle de 85 T/km<sup>2</sup>/an. Les variations interannuelles de ces transports solides en suspension sont directement liées à celles des modules.

Les variations mensuelles sont tout à fait comparables d'une année à l'autre et les quelques différences apparaissant en début de saison des pluies sont imputables à la répartition dans le temps des précipitations.

Enfin on soulignera que les concentrations journalières les plus élevées ont été observées en Juin 1972 et Juillet 1973, (années sèches), ce qui montre que la turbidité de l'écoulement des premières pluies est plus forte lorsque celles-ci surviennent après une période de sécheresse plus marquée.

### 2.3 - COMPARAISON DU REGIME DES TRANSPORTS SOLIDES SUR LE MBAM ET LA SANAGA

La comparaison des régimes des transports solides du Mbam et de la Sanaga montre que :

- 1°/ La dégradation spécifique annuelle est de 85 T/km<sup>2</sup>/an pour le Mbam, 28T/km<sup>2</sup>/an pour la Sanaga, soit une érosion 3 fois supérieure pour le Mbam.
- 2°/ La concentration moyenne est de 160 g/m<sup>3</sup> pour le Mbam et 58 g/m<sup>3</sup> pour la Sanaga.
- 3°/ Les variations saisonnières de la concentration montrent que celle-ci reste élevée en pleine saison des pluies sur le Mbam, décroît rapidement dès Juillet sur la Sanaga. La turbidité restant importante durant presque toute la saison des pluies sur le Mbam, on observe, au contraire de la Sanaga, les plus forts transports solides au moment des plus hautes eaux. (fig. 3 et 4).

Les différences entre les régimes des transports solides des deux cours d'eau sont donc importantes. Or les régimes hydrologiques de la Sanaga et du Mbam sont très voisins. Les bassins versants sont soumis au même régime tropical de transition et les différences relevées entre les modules spécifiques sont minimes. La végétation est tout à fait comparable sur les deux bassins, de même que la couverture géologique essentiellement constituée par le socle précambrien. Le relief est cependant plus marqué pour le bassin du Mbam que pour celui de la Sanaga. Mais la différence est modeste et ne suffirait pas à expliquer des dégradations spécifiques aussi

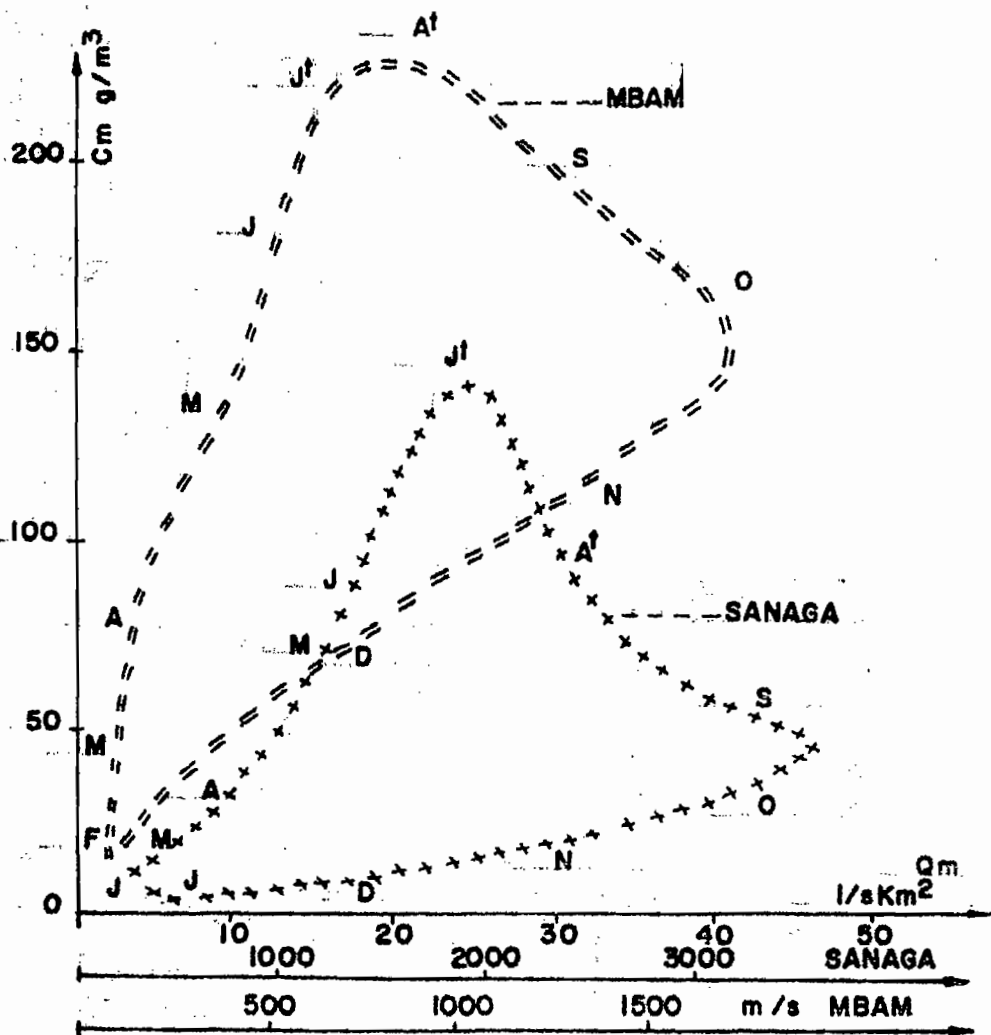


Fig 3 = VARIATIONS MOYENNES DES CONCENTRATIONS JOURNALIERES EN FONCTION DES DEBITS JOURNALIERS SUR LA SANAGA ET LE MBAM

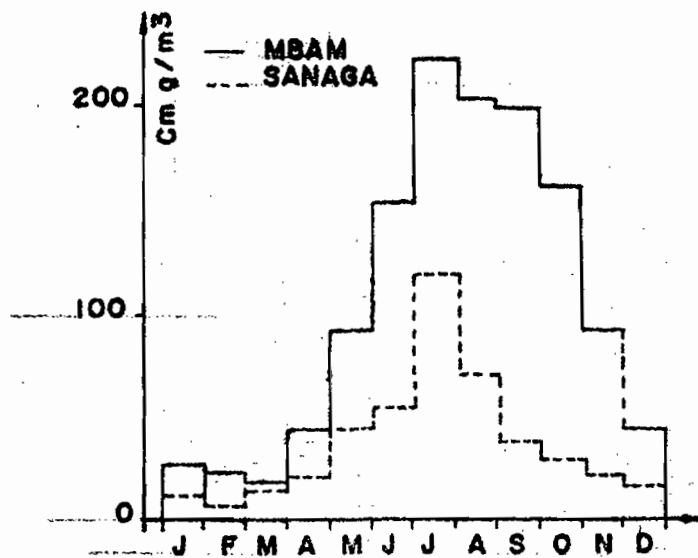


Fig 4- VARIATIONS INTERANNUELLES DE LA CONCENTRATION MOYENNE MENSUELLE SUR LE MBAM ET LA SANAGA

date

des.

76/7-4

contrastées. En fait, les transports solides sur le Mbam paraissent entièrement conditionnés par ceux du Noun, affluent de rive droite. Le Noun draine une région montagneuse volcanique, les pays Bamiléké et Bamoun, caractérisé par des zones de culture importantes et une forte densité des populations - (OLIVRY et al, 1974 b.).

Cette incidence des zones de cultures apparaît nettement dans les mesures effectuées sur petites parcelles d'érosion de pente 25 % sur les terres noires de Baleng en pays Bamiléké (GUISCAFRE, 1959) - sur sol nu avec billons dans l'axe de la pente, on a mesuré une dégradation de 12 000 T/km<sup>2</sup> en trois mois de saison des pluies alors que sur savane naturelle la dégradation n'a atteint que 20 T/km<sup>2</sup> pour la même période de Juillet à Septembre. Ajoutons que les transports par charriage sont comptabilisés dans ces mesures, dont le caractère exceptionnel tient aussi à la faible cohésion des cendres, et que ces recouvrements cendres ne sont généralisés en pays Bamiléké et Bamoun. Bien que n'intervenant que pour 10 % de la superficie totale du bassin du Mbam ces régions de culture suffisent à expliquer les différences fondamentales de la turbidité entre Mbam et Sanaga. Un rapide calcul montre que, si l'on admet, pour la partie du bassin du Mbam comparable au bassin de la Sanaga, une dégradation spécifique comparable soit 30 T/km<sup>2</sup>/an, la dégradation des zones cultivées de l'Ouest (4.000 km<sup>2</sup> environ) serait de 600 T/km<sup>2</sup> an. Avec un module spécifique de 20 l/s/km<sup>2</sup>, la concentration moyenne annuelle serait donc de 950 g/m<sup>3</sup>. Si l'on considère d'une part que les cultures ne couvrent qu'environ le 1/3 de la superficie prise en compte, d'autre part que de nombreuses rivières drainant cette région traversent de vastes marécages, nés de barrages ou de verrous volcaniques, où les vitesses lentes amènent la décantation d'une grande partie des transports en suspension, on doit envisager, localement et pour des bassins de superficie importante, des valeurs de la dégradation spécifique annuelle beaucoup plus élevées - Des valeurs de plus de 2.000 T/km<sup>2</sup>/an sont probables sur le bassin de la Mifi-Sud à Bamoungoum, (307 km<sup>2</sup>) (OLIVRY, 1973, 1975). - Le rôle décanteur des plaines inondables a été mis en évidence sur le Haut Noun (NOUVELOT et al, 1971). Ainsi sur la Monkié, la dégradation passe de 110 T/km<sup>2</sup>/an pour un bassin de 180 km<sup>2</sup> en plaine.

Ces quelques résultats montrent bien que le facteur essentiel de la dégradation des sols est leur mise en cultures et que la nature des sols (volcanique) ou l'orographie ne jouent qu'un rôle secondaire dans le cas d'une végétation naturelle. Ce rôle des zones de cultures est encore mis en évidence dans le régime des transports solides du Mbam par variations saisonnières de la concentration. Nous avons signalé que la turbidité du Mbam restait élevée pendant la saison des pluies alors qu'elle diminuait rapidement sur la Sanaga. Ceci s'explique par le calendrier agricole des cultures effectuées dans l'Ouest et notamment fin Juillet, début Août par la préparation de nouvelles cultures et l'entretien régulier des terres offrant un sol meuble aux précipitations (désherbage et binage).

## 2.4 - CONCLUSION

Les mesures effectuées sur les bassins de la Sanaga et du Mbam ont montré une relative stabilité de la concentration moyenne annuelle, permettant de relier directement le tonnage de matières transportées à l'hydraulicité de l'année.

Cette relation directe entre érosion et hydraulicité - pluviosité semble être une caractéristique du climat tropical de transition, pour lequel la dégradation spécifique doit se situer autour de 30 tonnes/km<sup>2</sup>/an en milieu naturel.

L'incidence du milieu modelé par l'homme se traduit par une forte érosion dans le régime du Mbam (cultures du pays Bamiléké), qui est sensible jusqu'à l'embouchure de la Sanaga - La dégradation spécifique annuelle de l'ensemble du bassin de la Sanaga peut être estimée à 44 T/km<sup>2</sup>/an (compte tenu de la très faible érosion en forêt équatoriale) - Le cours rapide du fleuve en aval du confluent Mbam-Sanaga implique en année moyenne, le transport jusqu'à la mer de 6.000.000 de tonnes de limons et argiles, dont 2.500.000 tonnes en provenance des zones de cultures de l'Ouest.

## 3 - MESURES DES TRANSPORTS SOLIDES EN REGIME TROPICAL PUR

Le Nord-Cameroun est soumis au climat tropical pur caractérisé par une longue saison sèche et une saison des pluies de Juin à Octobre. Plusieurs campagnes de mesures des transports en suspension ont été effectuées à l'occasion de diverses études hydrologiques sur bassins versants représentatifs mais seul le bassin de la Tsanaga à Bogo a fait l'objet de mesures systématiques portant sur trois années.

### 3.1 - TSANAGA A BOGO

Allongé d'Ouest en Est aux latitudes de Mokolo et de Maroua, le bassin du Mayo Tsanaga à Bogo couvre une superficie de 1535 km<sup>2</sup>. Marqué par de fortes pentes longitudinales en amont de Maroua, le relief du bassin devient pratiquement inexistant en aval jusqu'à la station de Bogo. Après Bogo, le Mayo Tsanaga se perd dans le Yaéré (région inondable de la cuvette Tchadienne). La couverture géologique comprend des reliefs de roches cristallines ou de roches vertes, et des formations de piedmont constituées de roches détritiques. - La savane arborée, peu dense, recouvre des sols très diversifiés, souvent mal protégés contre l'érosion - La hauteur de précipitations interannuelle passe de 800 mm à l'Est (Bogo) à 950 mm à l'Ouest (Mokolo). Les averses sont souvent violentes (jusqu'à 200 mm/h en 5 minutes) - La lame d'eau précipitée en année moyenne est de 830 mm, la lame écoulée est de 174 mm et le coefficient d'écoulement est de 21 % - Le module interannuel est 8,45 m<sup>3</sup>/s (5,5 l/s/km<sup>2</sup>). L'écoulement est temporaire et généralement observé de Juin à la fin Octobre.

Le maximum ponctuel de la turbidité moyenne a dépassé en 1973 15000 g/m<sup>3</sup>. 1973 a été marqué par un démarrage très tardif de la saison des pluies ; le premier écoulement est observé le 11 Juillet et l'écoulement permanent n'apparaît que dans la 2e quinzaine de Juillet - Ce retard de près d'un mois dans la saison des pluies semble donc extrêmement important au point de vue de l'érosion des sols. Le déficit pluviométrique de 1972 a rendu en outre plus aigüe la sécheresse du premier semestre 1973. Le piétinement prolongé des animaux, la quasi-disparition des touffes sèches de graminées amènent la formation d'un stock plus important de sols pulvérulents emporté par les premières pluies.

Vers la mi-Août l'évolution de la turbidité est comparable en 1973 à celle des autres années - Ceci montre qu'un éventuel retard dans la pousse de la strate herbacée tend à s'atténuer du fait d'un développement végétatif plus rapide.

Le tableau ci-après donne les principales caractéristiques des transports solides et des paramètres hydrologiques pour les 3 années étudiées.

	1968	1969	1973
Poids total annuel (tonnes de matières transportées)	325 510	328 760	271 225
Dégradation spécifique annuelle T/km <sup>2</sup>	212	214	177
Concentration moyenne g/m <sup>3</sup>	1 270	1 170	1 590
Pluviométrie annuelle mm	823	984	(800)
Volume écoulé 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	256 310	280 990	168 570
Lame d'eau écoulée mm	167	183	110
Coefficient d'écoulement	20 %	18,6 %	13,7 %

Sur le plan du bilan des transports solides, les années 1968 et 1969 sont extrêmement voisines. Malgré des précipitations plus fortes en 1969, le coefficient d'écoulement annuel n'est que de 18,6 % contre 20 % en 1968 - A un volume d'écoulement bien supérieur en 1969 correspond une turbidité plus faible qu'en 1968. Le poids total de matières transportées et la dégradation spécifique sont comparables pour ces deux années - Par contre en 1973, en dépit de la forte concentration moyenne, la dégradation spécifique est nettement plus faible. Cependant le "déficit d'érosion" est beaucoup moins marqué que celui de l'écoulement - Avec un module de 5,35 m<sup>3</sup>/s en 1973 l'hydraulicité n'est que de 0,63. Ainsi l'érosion n'est que de 15 % inférieure à la normale pour 37 % de déficit dans l'écoulement par rapport à l'année moyenne.

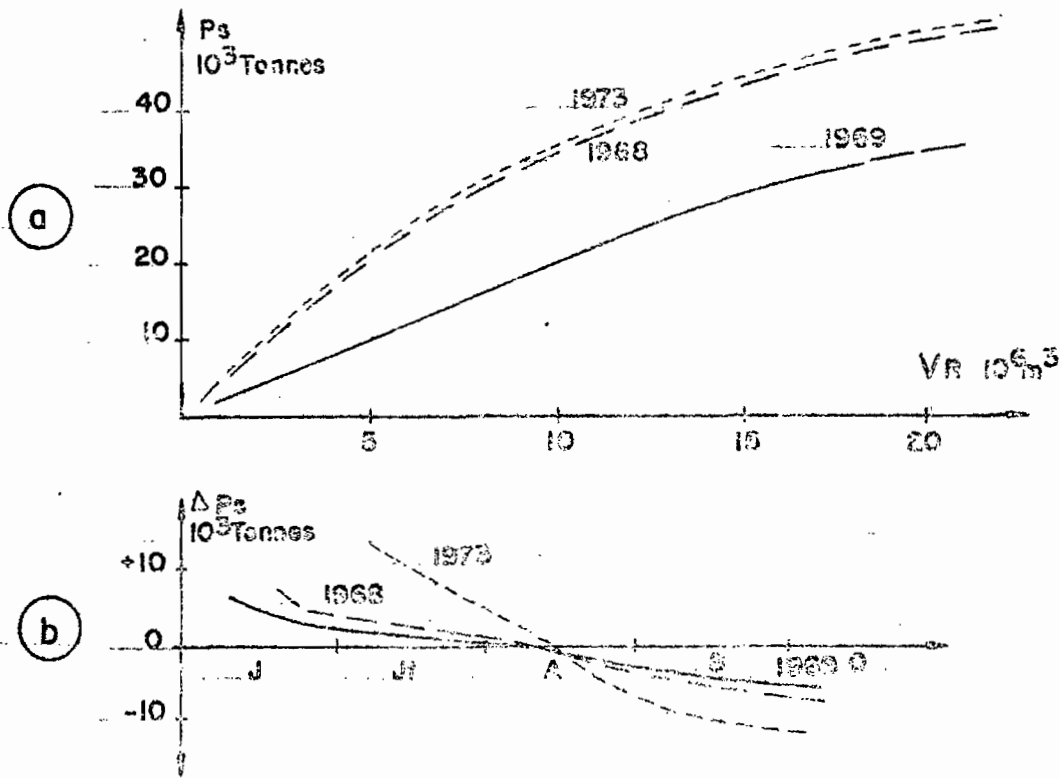


Fig 5- Tsanaga à Suga: Transports solides et volumes ruisselés (a) et correction de date (b) pour  $V_R > 2 \cdot 10^6 m^3$

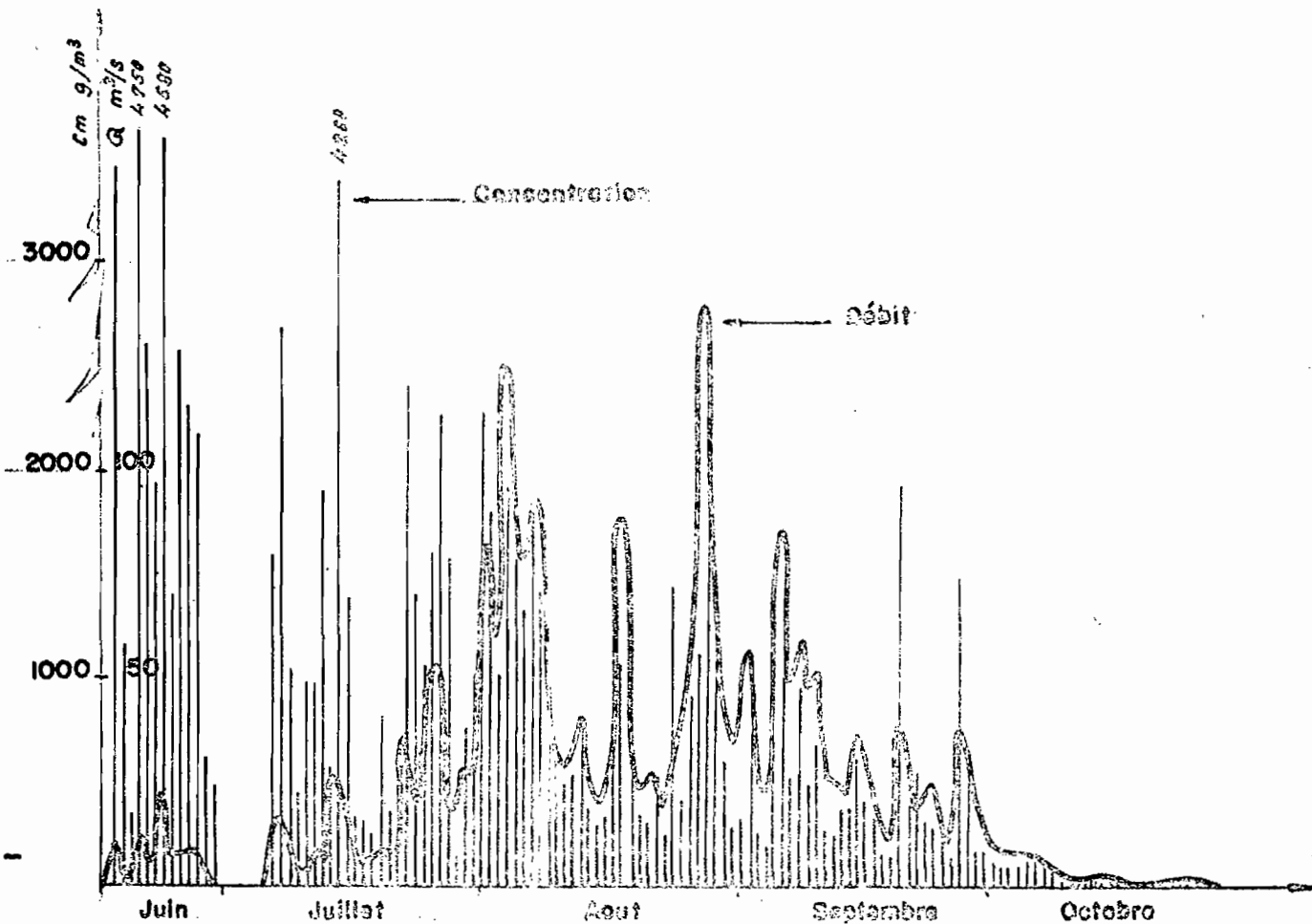


Fig 6-TSANAGA à BOBO : VARIATIONS DE LA CONCENTRATION MOYENNE et DU DÉBIT MOYEN JOURNALIER EN 1969



Au cours des 3 campagnes d'études, chaque épisode de crue a fait l'objet de plusieurs mesures du débit solide permettant de déterminer chaque fois le poids de matières transportées et la concentration moyenne de ruissellement. Des prélèvements effectués entre les crues précisent la turbidité des débits de base. - Le poids de matières transportées (Ps) au cours de chaque crue est fonction du volume ruisselé (Vr) - Les écarts à la courbe moyenne de l'année  $Ps = f(Vr)$  sont liés à la date d'apparition de la crue, l'érosion étant relativement plus importante en début de saison des pluies - Cette correction de date est nulle le 4 Août en 1968, le 3 Août en 1969 et le 10 Août en 1973. Les courbes  $Ps = f(Vr)$  sont confondues en 1968 et 1973. En 1969, pour des volumes ruisselés identiques, l'érosion est plus faible, ce qui s'explique par les nombreuses pluies "agricoles" survenues au cours de cette année très arrosée. (fig. 5). Les relations sont d'abord linéaires, puis le poids de matières transportées croît de moins en moins vite pour des volumes de ruissellement élevés. Ainsi pour des crues résultant d'averses abondantes, la concentration moyenne de ruissellement diminuerait. On peut en effet supposer que au-delà d'un certain seuil de précipitation, la capacité d'érosion diminue, la lame supérieure du sol ayant été transportée par le ruissellement de la première partie de l'averse et le sol sous-jacent résistant mieux aux contraintes de la poursuite du ruissellement. La correction de date, évoquée plus haut, traduit les variations de la concentration moyenne de ruissellement au cours de la saison des pluies (fig. 6). Ces variations permettent de dégager trois périodes :

- a) de la mi-Juin à la mi-Juillet, le couvert végétal est trop réduit pour protéger efficacement le sol et les concentrations moyennes sont supérieures à 3000 g/m<sup>3</sup>. Il y a "nettoyage" du sol nu.
- b) de la mi-Juillet à la mi-Août, quand la végétation essentiellement herbacée commence à prendre de l'importance (période de forte croissance des graminées), la concentration moyenne décroît rapidement jusqu'à moins de 2000 g/m<sup>3</sup>.
- c) dès la deuxième quinzaine d'Août, les variations sont beaucoup moins sensibles, la protection végétale étant maximale. La concentration moyenne se situe entre 1.500 et 1.000 g/m<sup>3</sup>.

Ce schéma très général, traduit bien l'importance primordiale de la végétation.

La comparaison des trois années montre que l'année 1973 s'individualise très nettement par rapport aux années 68 et 69. - En 1973, la turbidité moyenne journalière est beaucoup plus élevée en début de saison que pour les autres années. Sur les 10 plus fortes concentrations journalières observées, les 6 premières l'ont été en 1973 :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1968							5310			
1969								4750	4580	
1973	10500	8720	8000	7200	7200	5340				4500

Il semble donc que la forte irrégularité interannuelle des régimes hydrologiques en zone tropicale ne se retrouve pas au niveau du bilan de l'érosion annuelle. Pour une année de faible hydraulicité, les fortes turbidités conduiront à une dégradation spécifique comparable à celle d'années à forte hydraulicité pour lesquelles la turbidité est en moyenne plus faible. La hauteur annuelle des précipitations ne paraît pas jouer un rôle déterminant dans les variations de la dégradation des sols.

L'échantillon de 3 années d'observation reste trop réduit pour que l'on puisse dégager avec précision le mécanisme de l'érosion des sols dans le Nord-Cameroun.

A l'échelle du bilan annuel, la dégradation spécifique moyenne interannuelle du Mayo Tsanaga à son arrivée dans le Yaéré peut être estimée à 210 T/km<sup>2</sup>/an. Le Yaéré est la zone de débordement du Logone inondée en saison des pluies située au Sud de la cuvette Tchadienne. L'endoréisme des rivières qui y aboutissent amène la formation de vastes cônes de déjection largement étalés. L'apport moyen annuel du Mayo Tsanaga dépasse 300.000 tonnes.

### 3.2 - AUTRES MESURES

Des mesures complémentaires ont été effectuées sur le haut bassin du Mayo Tsanaga à Mokolo en 1975, année de forte hydraulicité. Le poids total de matières transportées en suspension a été de 14.250 tonnes pour un bassin de 49 km<sup>2</sup>, soit une dégradation spécifique de 291 T/km<sup>2</sup>/an. Cette valeur est relativement faible pour un bassin au relief aussi marqué (Mts Mandara). En fait les fortes pentes en tête du réseau hydrographique ne jouent qu'un rôle très secondaire. La roche étant généralement nue, le ruissellement n'entraîne que peu de matériaux et l'érosion est surtout active sur le piedmont. Des mesures effectuées sur parcelle représentative de 2,5 ha ont montré une concordance quasi parfaite avec celles réalisées sur le bassin de 49 km<sup>2</sup> tant à l'échelle de la crue qu'à celle de l'année (280 T/km<sup>2</sup>/an). Sur cette même parcelle, le charriage spécifique mesuré sur fosse à sédiments est de 130 T/km<sup>2</sup>/an.

En année moyenne, l'érosion spécifique peut être estimée à 250 T/km<sup>2</sup>/an pour les transports en suspension, et 100 T/km<sup>2</sup>/an pour le charriage.

Les résultats de cette étude montrent une érosion relativement modérée dans les zones montagneuses du grand bassin du Mayo Tsanaga, ce qui implique une érosion plus importante dans les zones de piedmont.

Plus au Sud dans la région de Figuil, on a mesuré sur le Mayo KERENG (PELLERAY, 1957) une érosion globale de 640 T/km<sup>2</sup>/an dont les 2/3 en matériaux charriés.

Signalons aussi les mesures effectuées dans la région de Touboro (Risso et Rao) qui indiquent une dégradation spécifique (suspension) de 15 à 17 T/km<sup>2</sup>/an pour l'année 1967 dont l'hydraulicité a été très faible. Ces valeurs qui doivent être au moins doublées pour l'année moyenne traduisent localement une très faible érosion sur des petits bassins bien protégés par la savane arborée.

Des mesures réalisées en 1955 sur la Bénoué à Garoua (64.000 km<sup>2</sup>) permettent d'estimer la dégradation spécifique à 200 T/km<sup>2</sup>/an pour les transports en suspension. Les transports par charriage ont été évalués à 140 T/km<sup>2</sup>/an en année moyenne.

### 3.3 - CONCLUSIONS

Les mesures effectuées à l'échelle de petits bassins versants montrent une grande diversité des valeurs de l'érosion; diversité liée aux conditions locales telles que nature des sols, relief et végétation. Pour les grands bassins, une certaine homogénéité apparaît. Il semble que la dégradation spécifique globale des régions du Nord Cameroun se situe pour les transports en suspension aux environs de 200 T/km<sup>2</sup>/an. Les quelques mesures effectuées sur les transports par charriage montrent qu'ils tiennent une place importante dans le bilan global de l'érosion - Les variations interannuelles des transports paraissent davantage liées à la répartition temporelle des précipitations au cours de la saison des pluies qui conditionne le développement de la végétation, qu'à la hauteur annuelle des précipitations.

### 4. CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Au terme des études effectuées à ce jour sur le régime des transports solides au Cameroun, il faut préciser que les valeurs proposées ne donnent qu'une estimation par défaut de l'érosion. Outre les transports par charriage, les dépôts intermédiaires, plus ou moins localisés dans le bas de pente ou les plaines d'inondation, échappent aux mesures.

L'importance de l'échelle de mesure est capitale pour les petits bassins, la morphologie joue un rôle très important, les concentrations variant considérablement selon que l'on a affaire à un bassin présentant des pentes notables ou des zones de décantation constituées par des plaines marécageuses. Mais à l'échelle de grands bassins il y a intégration de paramètres géomorphologiques hétérogènes en caractéristiques moyennes. Celles-ci permettent de rattacher le régime des transports solides aux seuls critères végétation et zone climatique.

Ainsi l'érosion continentale au Cameroun dépend principalement de l'évolution du sol et de sa couverture végétale au cours de la saison des pluies. En milieu naturel, la dégradation passe de 1 à 7 suivant que les bassins sont situés en zone tropicale de transition (30 T/km<sup>2</sup>/an) ou en zone tropicale pure (200 T/km<sup>2</sup>/an).

Au-delà d'un certain seuil de précipitation annuelle qui correspond au régime tropical de transition (1300 - 1400 mm), la turbidité moyenne ne varie pas avec l'hydraulicité, tandis qu'en régime tropical pur, la turbidité moyenne est d'autant plus forte que l'hydraulicité est faible.

Ces études permettent de dégager les variations zonales de l'érosion du Nord au Sud du Cameroun caractérisées par :

- Diminution de l'érosion liée au passage graduel d'une végétation herbacée saisonnière à la forêt équatoriale perenne.
- Diminution en % du diamètre des particules transportées, avec décroissance du rapport charriage/suspension. En climat équatorial cette tendance aboutit à une proportion de matières dissoutes ou colloïdales (érosion chimique) non négligeable par rapport aux matières en suspension (érosion mécanique).

## BIBLIOGRAPHIE

LIVRES

- DUBREUIL, P. ; GUISCAFRE, J. ; NOUVELOT, J.F. ; OLIVRY, J.C. 1973  
Le bassin de la rivière Sanaga - Monographies Hydrologiques  
 ORSTOM - Paris 350 P.
- GUISCAFRE, J. 1959 - Résultats sommaires sur l'érosion des terres noires  
au pays Bamiléké - ORSTOM - Yaoundé.
- NOUVELOT, J.F. ; CADIER, E. ; OLIVRY, J.C. 1971 - Hydrologie du bassin su-  
périeur du Noun ORSTOM - Yaoundé 314 P.
- OLIVRY, J.C. 1973, 1975 - Régimes hydrologiques en pays Bamiléké Etude  
du bassin versant de la Mifi-Sud. Tome 1 275 P. - Tome 2 P. 300  
 ORSTOM-Yaoundé
- OLIVRY, J.C. 1974 a - Les déficits hydropluviométriques au Cameroun pendant  
les années sèches 1972 et 1973. ORSTOM-Yaoundé.
- OLIVRY, J.C. ; HOORELBECKE, R. ; ANDIGA, J. ; 1974 b - Quelques mesures com-  
plémentaires de transports solides en suspension au Cameroun.  
 ORSTOM-Yaoundé 63 P.
- OLIVRY, J.C. ; HOORELBECKE, R. 1976 - Etude Hydrologique du Haut bassin du  
Mayo Tsanaga à Mokolo 1974-1975 - Rapport définitif  
 ONAREST-Yaoundé. 93 P.
- PELLERAY, H. 1957 - Etude des bassins versants expérimentaux du Mayo Kereng  
 ORSTOM-Yaoundé.
- TOUCHEBREUF de LUSSIGNY, P. 1960 - Etude des transports solides en Afrique  
Noire et à Madagascar ORSTOM-Paris
- ARTICLES DE PÉRIODIQUES
- NOUVELOT, J.F. 1969 - Mesure et étude des transports solides en suspension  
au Cameroun Cahiers d'Hydrologie ORSTOM-Vol VI n° 4 P. 43-85.
- NOUVELOT, J.F. 1972 a - Méthodologie pour la mesure en réseau des transports  
solides en suspension dans les cours d'eau intertropicaux peu  
chargés; Cahiers d'Hydrologie ORSTOM-Vol n° 1 P. 3-18.
- NOUVELOT, J.F. 1972 b - Le régime des transports solides en suspension dans  
divers cours d'eau du Cameroun de 1969 à 1971 - Cahiers d'Hydro-  
logie ORSTOM Vol IX n° 1 P.47-74.
- NOUVELOT, J.F. 1973 - Hydrologie des Mayos du Nors Cameroun - Monographie  
de la Tsanaga - Cahiers d'Hydrologie ORSTOM-Vol X n° 3 P.211-303.