

# Quelques aspects du régime des apports fluviaux de matériaux solides en suspension vers le lac Tchad

P. CARRE

Chargé de Recherches au Service hydrologique de l'O.R.S.T.O.M.,  
Centre de Fort-Lamy (Tchad).

## RÉSUMÉ

Les mesures de transport solide en suspension sur les principaux tributaires du lac Tchad font l'objet de mesures systématiques depuis plusieurs années. Une analyse statistique de la précision de ces mesures liée à la densité des prélèvements prouve la possibilité d'un résultat significatif obtenu par de simples prélèvements en surface pour des cours d'eau peu rapides et chargés d'éléments fins.

Puis l'auteur présente les résultats obtenus en six stations hydrométriques. Les concentrations et les quantités transportées sont examinées à l'échelle du jour, du mois et de l'année; leurs variations dépendent étroitement des conditions physico-climatiques très originales du bassin du lac Tchad (climat tropical, relief peu accentué, vastes zones inondables, sous-bassins dissemblables). Entre les hauts bassins et le cours inférieur la dégradation spécifique tombe d'environ 50 à 5 t/km<sup>2</sup>/an; les quantités transportées au lac Tchad atteignent environ 2,6 millions de tonnes par an; des quantités d'environ 1,3 millions de tonnes se sont déposées dans les plaines inondées.

## ABSTRACT

The measurement of suspended load in the main tributaries of Lake Chad have been systematically developed during these last years. A statistical analysis of the accuracy of these measurements, related to frequency of samplings, shows the available results obtained from only superficial samplings, when operating in quiet rivers with fine sediments.

Then the author gives the data collected in six hydrometric stations. The turbidities and sediment discharges are examined daily, monthly and yearly; their variations are closely related to the very original physical

and climatological conditions in lake Chad basin (tropical climate, moderate slopes, big flooded areas, heterogeneous parts of basin). Between the upper basin and the lower part the specific annual sediment discharge falls from 50 to 5 metric tons by sq. km by year; the total solid transportation to Chad lake is about 2,6 millions of metric tons by year; about 1,3 millions of m. tons by year have been deposited in the flooded plains.

Cette étude s'inscrit dans le cadre des recherches menées depuis quatre ans par une équipe multidisciplinaire de l'O.R.S.T.O.M. comprenant géologues, pédologues et hydrologues sur le thème général : altération, érosion, transport et sédimentation dans un bassin continental endoréique : la cuvette tchadienne.

L'objectif de l'équipe [1] est plus précisément circonscrit à l'étude de la migration des particules solides et des substances dissoutes le long d'un axe partant d'une zone choisie sur la bordure amont du bassin (les massifs précambriens de la République Centrafricaine) et se dirigeant vers l'aval (le lac Tchad et ses bordures).

En conséquence, les activités hydrométriques classiques de la section hydrologie de Fort-Lamy ont été progressivement complétées par un programme de déterminations systématiques des substances dissoutes et des turbidités à l'exutoire de quelques grands ensembles, dont le choix était facilité a priori par les connaissances acquises durant les deux dernières décennies sur le régime des apports liquides [2] [3] [4] au lac. Le transport solide par charriage, qui peut être égal au plus à 5 ou 10 % du transport solide en suspension dans les conditions hydrauliques des sites choisis (vitesses d'écoulement inférieures à 2m/s en surface), n'a pas été étudié.

Cet article rend compte des premiers résultats

relatifs au *transport en suspension* obtenus de 1968 à 1970 ; ces données permettent déjà de caractériser certains aspects *actuels* du phénomène.

Commencé en 1967 par B. BILLON, le programme a bénéficié de la collaboration technique de MM. A. BERNARD, R. GATHÉLIER, R. GOUYET, A. MATHIEU, hydrologues ; du concours des laboratoires O.R.S.-T.O.M. de Fort-Lamy (MM. BLANCH et DURAS) et de BONDY (M. PINTA) respectivement pour les déterminations granulométriques et minéralogiques.

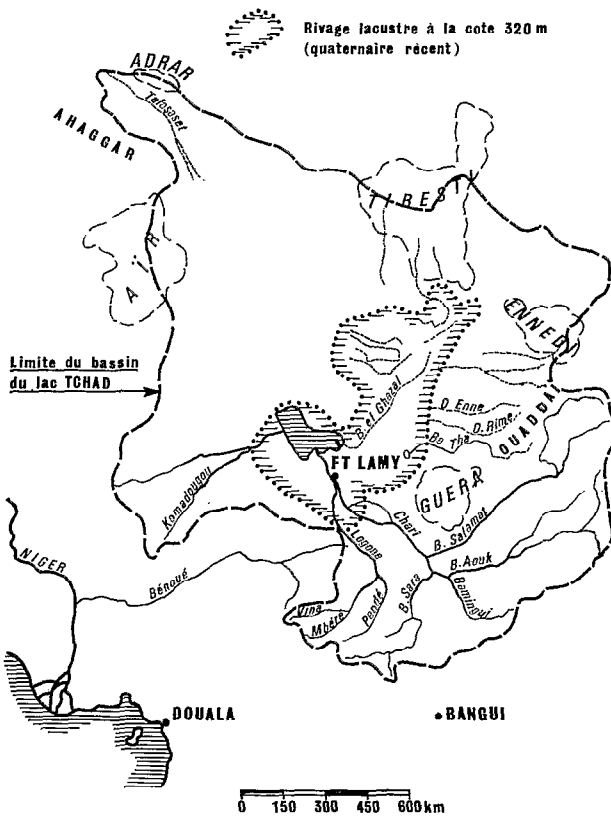


Fig. 1. — Carte de situation du bassin du lac Tchad.

## I. CADRE GEOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE

Les limites topographiques de la cuvette tchadienne (fig. 1), s'inscrivent en latitude entre le massif du Tibesti et les formations précambriennes de la République Centrafricaine, en longitude entre le massif de l'Air et la frontière soudanaise.

En fait, par suite de la dégradation hydrographique et des conditions climatiques, le lac actuel, petite mer intérieure sans émissaire, d'une superficie variant de 12 à 25 000 km<sup>2</sup> soumise à une évaporation intense (2,20 m/an), n'est alimenté en eaux de ruissellement que par la partie méridionale de son bassin. Le Chari, grossi du Logone juste avant de se jeter dans le lac, assure 92 % de ces apports ; les affluents issus du Nord-Cameroun et du Nigeria (el Beïd, Yedseram, Komadougou) fournissent péniblement le modeste complément dans des conditions hydrographiques propres à éliminer tout transport en suspension notable [2].

Au regard du lac Tchad, l'aire de dégradation fluviale actuelle ne dépassera donc pas en fait quelques 600 000 km<sup>2</sup>, superficie approximative du bassin du Chari à Fort-Lamy (fig. 2) ; le sixième environ de cette surface concerne le Logone qui rejoint le Chari avec le tiers des apports liquides totaux de ces deux fleuves. Pour ceux-ci, l'étude détaillée des régimes hydrologiques et de leurs facteurs conditionnels a été largement développée dans les monographies hydrologiques qui leur furent consacrées [3] [4].

D'après ces ouvrages nous allons présenter un résumé des données géographiques en distinguant, pour faciliter la clarté de l'exposé, les bassins du Chari et du Logone déjà extrêmement complexes en eux-mêmes. La description du réseau hydrographique, support du transport des particules en suspension jusqu'au lac, sera particulièrement développée

### I.1. LE BASSIN DU CHARI

#### I.1.1. Le relief.

La bordure méridionale du bassin est représentée par une bande de montagnes et de collines en arc de cercle. Elle est centrée sur la cuvette tchadienne et présente une longueur de 1 100 km et une largeur variable de 100 à 200 km. Elle débute à l'ouest par les monts Kare (1 100 m), contrefort du massif du Yade, d'où descendent la Nana Barya et l'Ouham, se poursuit vers l'est par la chaîne des Kagas (500 à 600 m), la chaîne des Bongos (700 m) où prennent naissance le Gribingui, le Bamingui, le Bangoran puis les affluents de rive gauche de l'Aouk. Aucun de ces massifs ne présente un relief particulièrement vigoureux ; mis à part quelques pointements rocheux le paysage est assez mamelonné.

La bordure orientale du bassin débute par le Coz Dango, vaste plateau, puis se continue vers le nord qui est avec le Darfour, volcan éteint culminant à 3 300 m, relié au Ouaddai par une série de plateaux

qui se poursuit jusqu'au massif du Guera (1 613 m), formant la bordure septentrionale du bassin.

Entre ces bordures s'inscrit une cuvette centrale d'altitude variant de 500 à 400 m qui descend vers le lac Tchad avec quelques dépressions dont la plus marquante est celle du lac Iro.

L'altitude moyenne des sous-bassins est de :

- 580 m pour l'Ouham à Batangafo (44 700 km<sup>2</sup>) ;
- 490 m pour l'Ouham à Manda (80 000 km<sup>2</sup>) ;
- 475 m pour le Chari à Fort-Archambault (≠ 193 000 km<sup>2</sup>) ;
- 490 m pour le Chari à Miltou (≠ 450 000 km<sup>2</sup>).

Les altitudes moyennes sont peu élevées et la fraction des divers bassins au-delà de 700 m est insignifiante. Si l'on tient compte du fait que les apports soudanais se perdent presque en totalité avant de rejoindre le Bahr Salamat, on conclura que l'influence des montagnes sur le régime hydrologique sera minime. Les pentes très modérées ou faibles ne sont pas favorables à de forts débits de crues spécifiques et ceci s'aggrave vers l'aval.

Pour l'ensemble du Chari à Miltou environ 55 % de la surface soit 240 000 km<sup>2</sup> sont à une altitude inférieure à 500 m ; une bonne partie de ce bassin est l'objet d'écoulements qui n'atteignent pas le Chari ; il y a en outre des zones d'inondation étendues ; tout cela entraîne une augmentation du déficit d'écoulement.

### 1.1.2. Le réseau hydrographique.

Ce réseau est encore marqué par un passé récent caractérisé par l'activité des affluents de rive droite ; or actuellement l'Aouk est somnolent et le Salamat moribond. Les branches du Chari qui présentent les plus forts modules spécifiques sont celles de la partie méridionale : l'Ouham et ses affluents et l'ensemble Gribingui-Bamingui-Bangoran qu'on désigne encore sous le nom de Chari supérieur. Ces trois cours d'eau prennent naissance dans les collines des Kagas entre 500 et 600 m d'altitude ; la pente est faible, et très vite ces rivières décrivent des méandres très serrés au milieu de la savane souvent boisée. Les lits sont souvent assez profonds et bordés de galeries forestières très minces ; l'écoulement y est pratiquement permanent.

L'Ouham prend sa source vers 1 100 m dans le massif des monts Kare, haut plateau mamelonné plus que véritable massif montagneux. De Bozoum (630 m) à Batangafo c'est un cours d'eau relativement large, peu profond, coupé de seuils rocheux fréquents, sans galeries forestières ni plaine d'inondation no-

table, alimenté surtout en rive droite où il reçoit successivement la Bolee, la Ba puis la Fafa pourvue, elle, d'une galerie forestière. Après Batangafo, l'Ouham reçoit en rive gauche la Nana Bassaka puis la Nana Barya, rivière dont le lit sableux décrit de très nombreux méandres. Entré dans la cuvette tchadienne et avant son confluent avec le Chari, l'Ouham-Bahr Sara reçoit en rive gauche le Mandoul puis le Bahr ko en rive droite, deux rivières de plaines aux allures de marécages. Depuis Batangafo les plaines d'inondation le long du fleuve ont pris une certaine extension mais leur largeur reste normale pour un cours d'eau tropical de ces régions.

Du massif des Bongos et du Goz Dango, descendent une série de petits cours d'eau (Goro, Ouandjia, Yata), dont les plus septentrionaux sont à la limite de la zone sahélienne. Dès la sortie des massifs, ces rivières se jettent dans des marécages en relation par ailleurs avec les plaines d'inondation du Bahr Keita et peut-être du Bahr Azoum. Les eaux des affluents de type tropical pur de l'Aouk parviennent au cours d'eau principal après être entrées dans la grande plaine d'inondation et fournissent au prix de pertes énormes le principal du volume annuel. Les apports de l'Aouk ne constituent que le quart des apports à Fort-Archambault malgré un bassin versant égal à 65 % de celui de Fort-Archambault (125 000 km<sup>2</sup> environ).

Le Bahr Keita, probablement un ancien bras d'un fleuve important qui descendait du Darfour, n'est plus guère qu'un drain de la zone marécageuse entre l'Aouk et le Bahr Salamat.

Celui-ci prend naissance dans le Darfour où, malgré une saison des pluies très courte, les cours d'eau sont relativement actifs par suite de l'altitude qui augmente la hauteur de pluie et réduit l'évaporation, et des fortes pentes. Après l'entrée dans la cuvette tchadienne la dégradation hydrographique devient prépondérante et à faible distance d'Am Timan il ne reste guère qu'une dépression peu marquée. Régénéré par les apports de ses affluents sahéliens du massif du Guera, la Salamat alimente la dépression du lac Iro puis poursuit un cours sinueux au milieu d'une plaine d'inondation de quelques kilomètres de large avant de parvenir au Chari juste après le confluent Chari-Ouham.

Au niveau de Fort-Archambault le lit est large de 200 m environ et le champ d'inondation peut atteindre 2 à 5 km.

A l'aval des confluent avec l'Ouham et le Bahr Salamat, le Chari, large de 0,5 à 1 km, possède des plaines d'inondation assez considérables en rive droite et quelques effluents dont le principal est le Bahr Erguig qui rejoint le Chari, plus en aval. Citons aussi pour mémoire les débordements possibles en rive

gauche vers la Loumia qui les collecte vers les plaines d'inondation du Logone. Notons que ces effluents, ainsi que le Bahr Ligna en rive droite peu avant Fort-Lamy, ne présentent quelque activité que si la crue est au moins moyenne.

Après Fort-Lamy, où il reçoit le Logone en un confluent bien net, le fleuve prend un aspect deltaïque. Les bras du Serbeouel se détachent du lit principal qui devient nettement moins large, décrit des méandres au milieu d'une région assez boisée, puis se jette dans le lac Tchad au milieu des marécages par un delta de 15 km de long et de large.

### 1.1.3. Les sols.

Les reliefs du pourtour de la cuvette sont tous déjà anciens (socle précambrien, plateaux gréseux du primaire et secondaire). Le Darfour (3 300 m) volcanique est d'allure très jeune mais ses alluvions ne parviennent pas au Chari. Les formations (sables et grès) du Continental Terminal, placées plus bas dans la cuvette, composent les bassins du Mandoul et du Bahr Ko dont on connaît le faible poids hydrologique, et intéressent aussi les cours inférieurs de la trilogie Gribingui, Bamingui, Bangoran. Les alluvions quaternaires envahissent littéralement les bassins de l'Aouk et du Salamat.

Soulignons en tête de l'Ouham et du «Chari supérieur» l'extension des sols ferrallitiques.

## 1.2. LE BASSIN DU LOGONE.

La tête de son bassin correspond à l'extrémité ouest du plateau de l'Adamaoua et le Logone bénéficie d'apports aussi importants que l'Ouham pour une superficie drainée bien moindre.

### 1.2.1. Le relief.

La partie haute du bassin correspond au versant Nord du plateau de l'Adamaoua ; y prennent naissance la Vina, la Mbere, la Lim et la Pende qui sont des branches mères du Logone. L'altitude moyenne du plateau est de 1 200 m alors que le point culminant est un sommet volcanique à 1 923 m d'altitude. Entre le plateau et son prolongement en République Centrafricaine, on note le fossé d'effondrement de la Mbere orienté S.W.-N.E. Les hauts bassins du Ngou, de la Lim et de la Pende sont constitués par un plateau moins élevé (altitude maximale 1 228 m) que celui formant le bassin de la Vina.

Une succession de monts et massifs plus ou moins isolés orientés S.W.-N.E., atteignant parfois des

altitudes notables, obligent les rivières, soit à les franchir par des chutes ou des rapides, soit à faire un détour pour emprunter des zones plus facilement érodables ou encore des systèmes de failles : il s'agit des massifs Bakore (1 242 m), Koum N'Zoro (1 201 m), Kogan (1 042 m), Erbo (804 m), Mbere (789 m), etc.

Le Logone et la Pende pénètrent enfin dans une pénéplaine (400 à 500 m) en pente douce vers le Nord, l'un après son confluent avec la Lim, l'autre après sa rencontre avec l'Ereke à la frontière Rea-Tchad. La limite ouest du bassin versant se rapproche ensuite du Logone au niveau de la zone d'Ere pour s'écarter à partir de Bongor et englober avant Fort-Lamy le dernier relief notable, les monts Mandaras, dont les produits d'érosion se perdront dans les Yaercs (plaines d'inondation) du Nord Cameroun.

L'altitude moyenne des bassins est de :

- 955 m pour la Lim à Oulibangala (4 360 km<sup>2</sup>) ;
  - 1 078 m pour la Mbere à Mbere (7 430 km<sup>2</sup>) ;
  - 876 m pour la Vina à Touboro (12 280 km<sup>2</sup>) ;
  - 807 m pour le Logone à Moundou (33 970 km<sup>2</sup>)
- dont le tiers au-dessus de 1 000 m ;
- 801 m pour la Pende à Begouladje (5 640 km<sup>2</sup>) ;
  - 632 m pour la Pende à Doba (14 300 km<sup>2</sup>).

Les altitudes moyennes sont donc élevées pour la cuvette et l'on peut s'attendre à des valeurs assez fortes de la pluviométrie et à une réduction notable de l'évaporation.

### 1.2.2. Le réseau hydrographique.

Il est beaucoup plus simple que celui du Chari.

Si le cours de la Vina ne présente pratiquement aucune trace de dégradation puisqu'on note continuellement la présence du rocher en place et l'absence de champ d'inondation, il faut signaler l'existence d'une dégradation déjà accentuée des réseaux secondaires, ce qui n'a rien d'étonnant compte tenu de l'âge de la vallée. Lorsqu'on suit le cours de la Vina pour aller de Baibokoum à Ndok on note la difficulté des eaux et surtout des suspensions des petits tributaires de rive gauche pour parvenir au fleuve à travers une végétation graminéenne très serrée, poussée dès les premières pluies sur les alluvions des cônes de déjection.

La topographie de la Mbere est extrêmement différente de celle de la Vina. Alors que le bassin de cette dernière s'épanouit très largement le bassin de la Mbere s'allonge dans le couloir étroit formé par un fossé d'effondrement post-crétacé. Le fond de la vallée se présente comme un V offrant une pente beaucoup plus forte sur la rive droite que sur la rive gauche. Nous nous trouvons là devant un paysage

incontestablement original dans la région ; fruit d'un accident géologique, il est indéniablement favorable autant à l'érosion qu'à l'évacuation des produits érodés par la gouttière de la Mbere placée en bas de pente et balayée par des crues puissantes éliminant les matériaux grossiers des petits thalwegs latéraux.

La Lim rejoint les deux rivières précédentes après leur réunion. Sa source est sur un plateau mamelonné, le massif du Yade (1 420 m) d'où descendent également la Pende et l'Ouham. La Lim a elle aussi un bassin versant très étroit et très allongé. En aval le relief est accidenté : la Lim longe des massifs importants (mont Toula, mont Combel), ou les traverse dans de véritables gorges.

Le bassin supérieur de la Pende est très accidenté, surtout à l'ouest et au sud. A la frontière des bassins versants de la Pende et de la Lim, des massifs constituent une ligne de crête étroite comprise entre 900 et 1 100 m. Ces massifs se prolongent vers l'est par des plateaux ondulés plus ou moins démantelés par l'érosion. Dans tout le bassin supérieur, la Pende présente une pente générale forte avec une succession de biefs et de rapides assez analogues à ceux que l'on trouve sur la Lim.

A partir du confluent avec l'Ereke, affluent de rive gauche à régime torrentiel, la pente devient faible et la plaine d'inondation s'élargit régulièrement autour d'un lit apparent large et encombré de sable. Sur la rive droite il n'y a pas de limite nette entre le bassin de la Pende et de l'Ouham au niveau de Doba.

Le confluent de la Pende et du Logone (formé de la confluence de la Mbere et de la Vina) présente l'aspect d'un petit delta, des bras secondaires joignant les deux rivières. Bientôt le cours du Logone, marqué par d'importants bourrelets de berge, ne peut plus contenir toutes les eaux de crues qui inondent les plaines avoisinantes. Au niveau d'Ere le Logone reçoit son dernier affluent issu des formations du Continental Terminal. De nombreuses zones dépressionnaires concentrent les eaux de déversement. Ainsi, en rive droite, la dépression du Ba Illi qui se dirige vers le nord, entre Logone et Chari, avant de rejoindre le Logone ; ainsi en rive gauche la dépression Loka-Kabia qui franchit le seuil de Dana entraînant les eaux déversées vers le bassin de la Benoué. Ces dépressions à peine marquées dans un paysage très plat, jouent leur rôle de drain de façon plus ou moins efficace.

Le déversement est général sur les deux rives du Logone inférieur. Dans les grands Yaeres de rive gauche, au pied des Monts Mandara, ces eaux suivent la pente générale vers le lac Tchad pour se reconcentrer au niveau de Fort-Lamy et former principale-

ment l'El Beid qui peut transiter en année exceptionnelle et au début de son cours avant l'amortissement des barrages de pêche, des débits de l'ordre de 700 à 800 m<sup>3</sup>/s soit 75 % environ du débit du Logone à son confluent avec le Chari.

### 1.2.3. Les sols.

Les formations précambriennes relativement imperméables occupent environ 80 % de la superficie du bassin du Logone supérieur alors que l'on trouve en couverture des basaltes aux sources de la Vina, des lambeaux de couvertures sédimentaires crétacé surtout dans le fossé de la Mbere (grès, marnes, conglomérats), et enfin les dépôts fluvio-lacustres du Continental Terminal. Dans les zones hautes d'érosion du bassin les sols ferallitiques sont la formation largement dominante.

### 1.3. LES CLIMATS

Le bassin du Chari est soumis aux climats de type Sahélien et Soudanien III des climatologues ce qui correspond aux Sahélien, Tropical pur et Tropical de transition des hydrologues.

Une saison sèche et une saison des pluies sont très nettement différenciées. La saison sèche dure trois mois à Bouar mais neuf mois dans les latitudes les plus septentrionales du bassin et la végétation va de la savane boisée à la pseudo-steppe.

La carte de la figure 2 présente les isohyètes interannuelles. Les valeurs de pluviométrie moyenne interannuelle probable sur les bassins sont de :

- 1 080 mm pour le Chari à Fort-Archambault ;
- 1 280 mm environ pour le seul ensemble Chari supérieur ;
- 1 350 mm pour l'Ouham à Manda ;
- 1 450 mm pour la Pende à Doba ;
- 1 395 mm pour le Logone à Moundou ;
- 1 475 mm pour la Mbere à Mbere.

### 1.4. CONCLUSIONS ET CHOIX DES STATIONS DE CONTRÔLE DU TRANSPORT SOLIDE.

Au regard du lac, les vastes bassins de l'Aouk et du Salamat sont des zones quantitativement presque endoréiques du point de vue des apports liquides et a fortiori des apports détritiques.

La zone amont de dégradation actuelle ira donc de la Vina jusqu'au Bangoran.

En partant de l'amont et en allant vers le lac nous

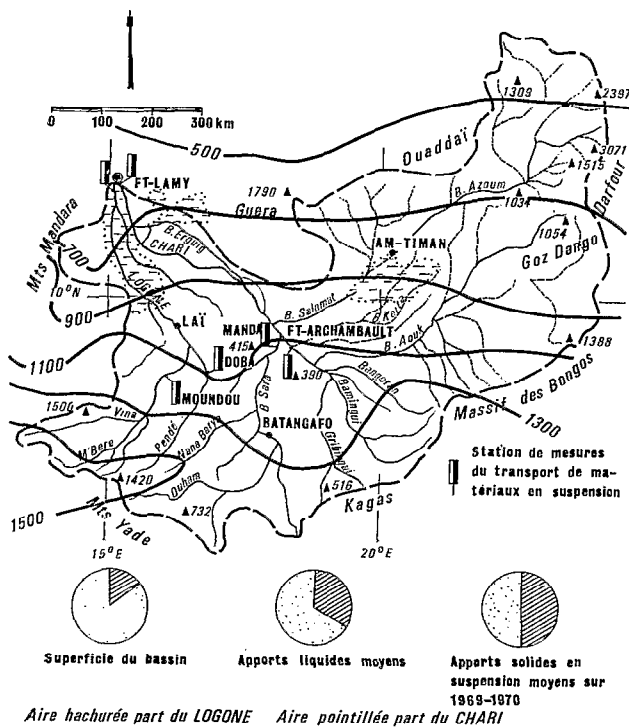


Fig. 2. — Le bassin versant du Chari à Fort-Lamy (Isohyètes interannuelles en mm).

constatons que les principaux facteurs de l'érosion à l'échelle de l'étude varient tous dans le même sens, en étant de plus en plus défavorables :

- La pluviométrie annuelle est divisée par 2 à 3 ;
- Le relief perd dès l'entrée dans les formations alluviales de piémont des Koros, au bord de la cuvette, le peu de caractère qu'il avait sur les lignes de crête mamelonnée du bassin ;
- Les sols relativement imperméables des massifs précambriens deviennent dans le Continental Terminal de piémont, beaucoup plus perméables (sables, grès).

Si l'on considère la variation des mêmes facteurs en allant d'ouest en est, de la Vina au Bangoran, on constate une convergence identique dans le sens d'une diminution de l'érosion spécifique :

- La pluviométrie annuelle diminue très sensiblement en liaison évidemment avec le facteur suivant ;
- L'altitude moyenne des bassins décroît et le relief devient plus mou ;

— La proportion des sols du bassin appartenant au continental terminal à tendance à augmenter.

Enfin, compte tenu de l'âge de l'ensemble, les ordres de grandeur de l'érosion spécifique, même en tête du bassin devraient s'affirmer très faibles.

Nous avons choisi de contrôler les suspensions au niveau du parallèle 8° 30' N, qui délimite à peu près les zones d'érosion possible en des stations dont on connaît bien l'importance hydrologique vis-à-vis du lac :

- Moundou sur le Logone, module interannuel : 398 m<sup>3</sup>/s
- Doba sur la Pende, module interannuel : 140 m<sup>3</sup>/s
- Manda sur l'Ouham, module interannuel : 596 m<sup>3</sup>/s
- Fort-Archambault sur le Chari, module interannuel : 359 m<sup>3</sup>/s

Les contrôles à Chagoua (Chari) et Fort-Foureau (Logone) permettront de faire le bilan séparé, pour chacun des fleuves, du transit jusqu'au 12° de latitude nord, au confluent de Fort-Lamy :

- Chagoua sur la Chari, module interannuel : 988 m<sup>3</sup>/s
- Fort-Foureau sur le Logone, module interannuel : 402 m<sup>3</sup>/s

## 2. TURBIDITÉ PONCTUELLE ET TURBIDITÉ MOYENNE : LA MESURE ET LE TARAGE DES SECTIONS

### 2.1. LA MESURE DES TURBIDITÉS.

Rappelons d'abord les notations.

$$Q_s = \int_0^A C_{(M)} \cdot V_{(M)} da = C Q_v$$

$C_{(M)}$ ,  $V_{(M)}$  sont respectivement la concentration en matière solide et la vitesse au point M, da : élément de la section A entourant M,  $Q_s$  : débit en poids des matières solides en suspension,  $Q_v$  : débit en volume de la rivière, C est défini par l'égalité  $Q_s = C Q_v$  et sera appelé concentration ou turbidité moyenne.

Le débit solide en suspension s'obtient donc en intégrant sur la totalité de la section d'écoulement la valeur du produit vitesse  $\times$  charge solide en tout point. En pratique une telle «détermination complète» s'appuiera sur une exploration de la section limitée à un nombre de points suffisant pour obtenir le débit liquide avec une précision meilleure que

10 % et assez éloignés du fond (50 cm) pour éliminer le phénomène de saltation.

Divers auteurs se sont très largement penchés sur les problèmes méthodologiques posés par la recherche de chacun des termes vitesse et concentration. Nous avons utilisé la méthode de B. BILLON [5] dont nous rappelons brièvement les caractéristiques :

— Détermination de la vitesse aux points de prélèvements à l'aide d'un ensemble classique, à moulinet.

— Détermination de la concentration par prélèvement dans des récipients jaugés de 10 l (dame-jeanne d'emploi courant en Afrique) à l'aide d'un ajutage et d'une pompe Japy ; le dépôt des particules solides est provoqué par l'addition de quelques 5 cc d'HCl N/10, puis chauffage à 50° C. Après siphonnage on évapore à l'étuve les 3 à 400 cm<sup>3</sup> d'eau restant, puis on procède à la pesée du résidu sec. Une modification a été introduite par nos soins : un deuxième siphonnage permet de diminuer de moitié la quantité d'eau à évaporer et les résidus solubles.

Probablement meilleure que 10 % en moyenne, la précision de telles déterminations complètes, par ailleurs extrêmement lourdes tant en ce qui concerne les calculs que les opérations de terrain, apparaît bien vite illusoire devant les variations dans le temps des concentrations. Ces variations ont été explorées plus commodément à partir de 1969 par des prélèvements de surface dont la mise en œuvre plus aisée permet d'augmenter la fréquence des prélèvements qui sont devenus journaliers en 1971 pendant la période des crues. Le problème est évidemment de rattacher ces prélèvements de surface à la valeur vraie C de la turbidité moyenne définie plus haut et qui seule nous intéresse.

## 2.2. LE TARAGE DES SECTIONS.

Dans le cas d'une station hydrométrique où la valeur du débit en volume  $Q_v$  est connue en fonction du paramètre « hauteur d'eau à l'échelle limnimétrique », il reste à rechercher si l'on peut exprimer C, turbidité moyenne, en fonction des valeurs prises ponctuellement par les charges solides en n points de la section sans passer par l'opération compliquée d'intégration des produits charges. vitesse, c'est-à-dire à faire :

$$Q_s = Q_v \cdot C = Q_v \cdot f(C_1 \dots C_i \dots C_p)$$

avec  $C_i$ , charge solide au point i

Si elle existe, cette relation  $f(C_i)$  sera évidemment d'autant plus intéressante que :

— Le nombre de charges ponctuelles à déterminer

sera plus réduit et leur prélèvement plus simple ;

— La relation fonctionnelle composant les  $C_i$  sera moins complexe.

A cet égard la relation faisant intervenir la moyenne arithmétique des charges ponctuelles est très prometteuse : elle ne nécessite pas la détermination de chacune des charges composantes, la somme étant obtenue par le mélange, au niveau de la première opération de terrain, des quantités prélevées en chaque point.

Le souci de simplification maximale des opérations de terrain va naturellement guider notre recherche vers la moyenne arithmétique d'ensemble de prélèvements faciles à effectuer tels que les prélèvements de surface.

Par station et pour chaque jaugeage, les valeurs de C déterminées par la méthode complète ont été successivement comparées :

- à la moyenne arithmétique  $\bar{c}$  de la totalité des charges ponctuelles mesurées dans la section
- à la moyenne arithmétique des charges prélevées en surface
- à la moyenne arithmétique  $\bar{c}$  de trois prélèvements répartis en surface
- à la moyenne arithmétique  $\bar{c}$  de deux prélèvements de surface choisis sur les deux verticales de mesures les plus proches du milieu de l'écoulement
- à la valeur de la charge en un point de surface

Le rapport  $\frac{\bar{c} - C}{C}$  exprime l'écart relatif algébrique de  $\bar{c}$  à C.

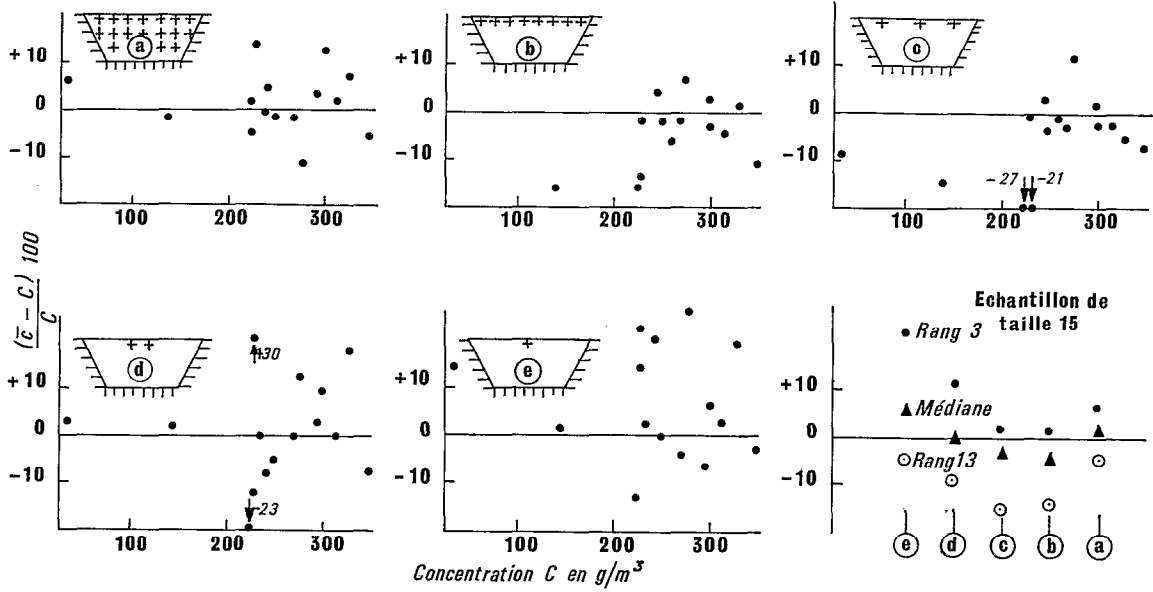
Par station et par cas (a, b, c, d, e) la distribution expérimentale des valeurs  $\frac{\bar{c} - C}{C} \cdot 100$ ,

calculées à partir de chaque détermination complète, définira une médiane et la dispersion autour de celle-ci. On en déduira la relation moyenne de tarage, liée à la valeur de la médiane, et sa qualité statistique.

### 2.2.1. Présentation graphique

Les figures 3 à 8 illustrent pour chacune des six stations la répartition des écarts  $\left[ \frac{\bar{c} - C}{C} \cdot 100 \right]$ . Ces écarts ont été portés en fonction de la concentration, pour rechercher dans quelle mesure ils dépendent de la valeur de C. La dispersion statistique expérimentale, suivant les ensembles de points considérés, est illustrée en bas et à droite des différentes figures.

### STATION DE MOUNDOU



### STATION DE DOBA

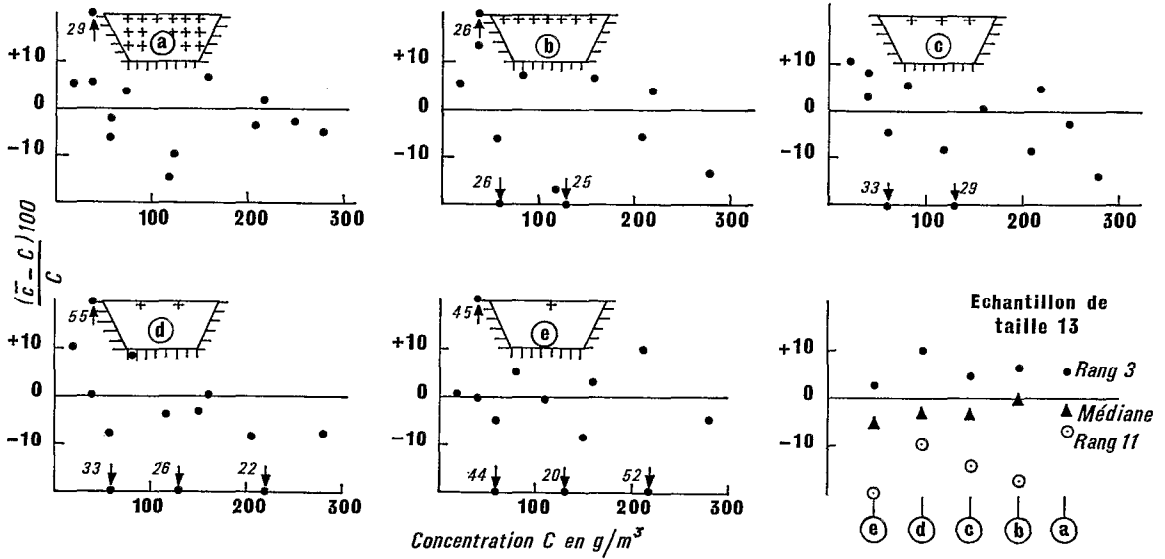


Fig. 3 et 4. — Ecartés algébriques relatifs de la moyenne arithmétique  $\bar{c}$  d'ensembles (a, b, c, d, e) de charges à la turbidité moyenne C. Représentation en fonction de C.



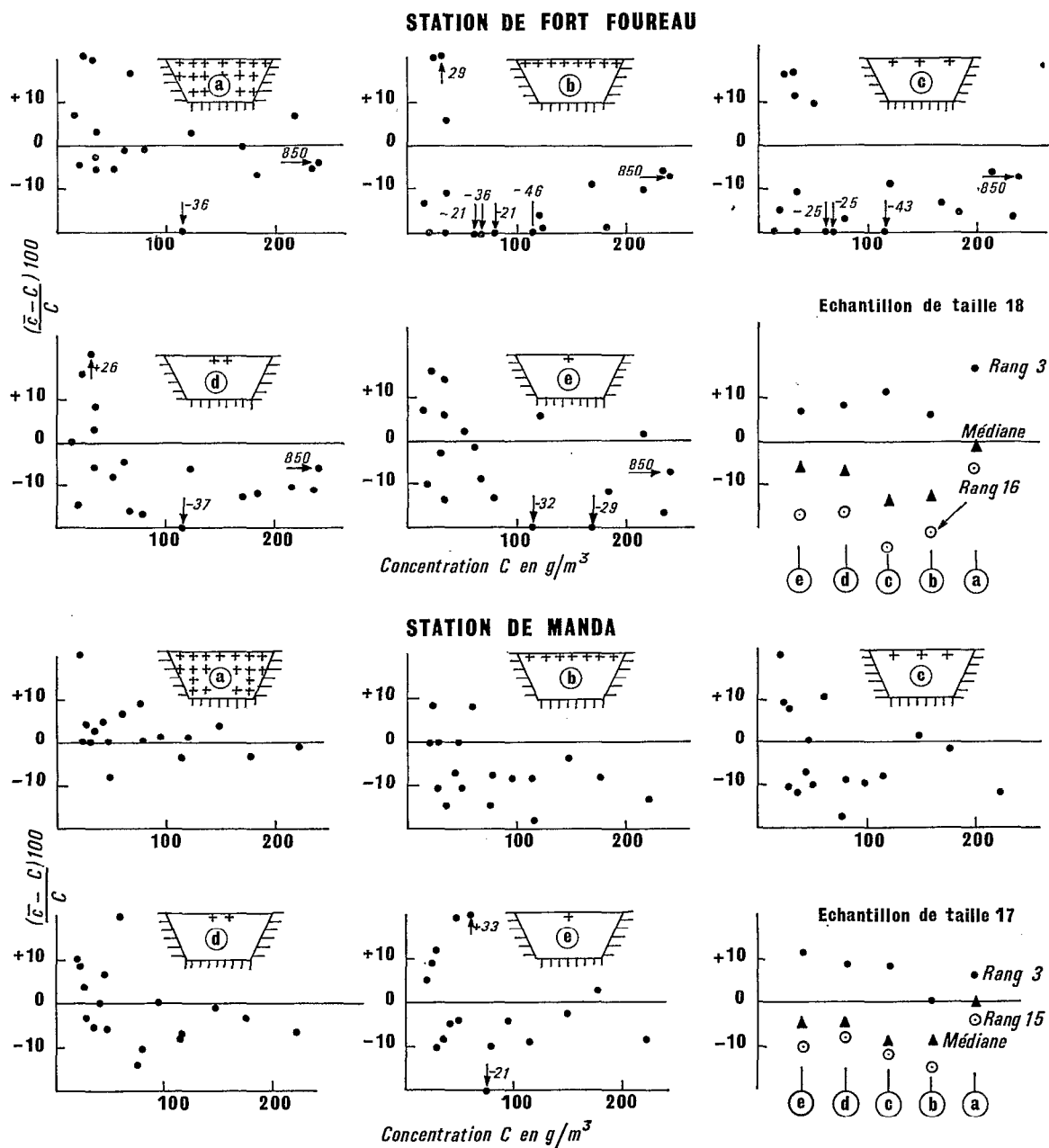


Fig. 5 et 6. — Ecart algébriques relatifs de la moyenne arithmétique  $\bar{x}$  d'ensembles (a, b, c, d, e) de charges, à la turbidité  $C$  moyenne. Représentation en fonction de  $C$ .

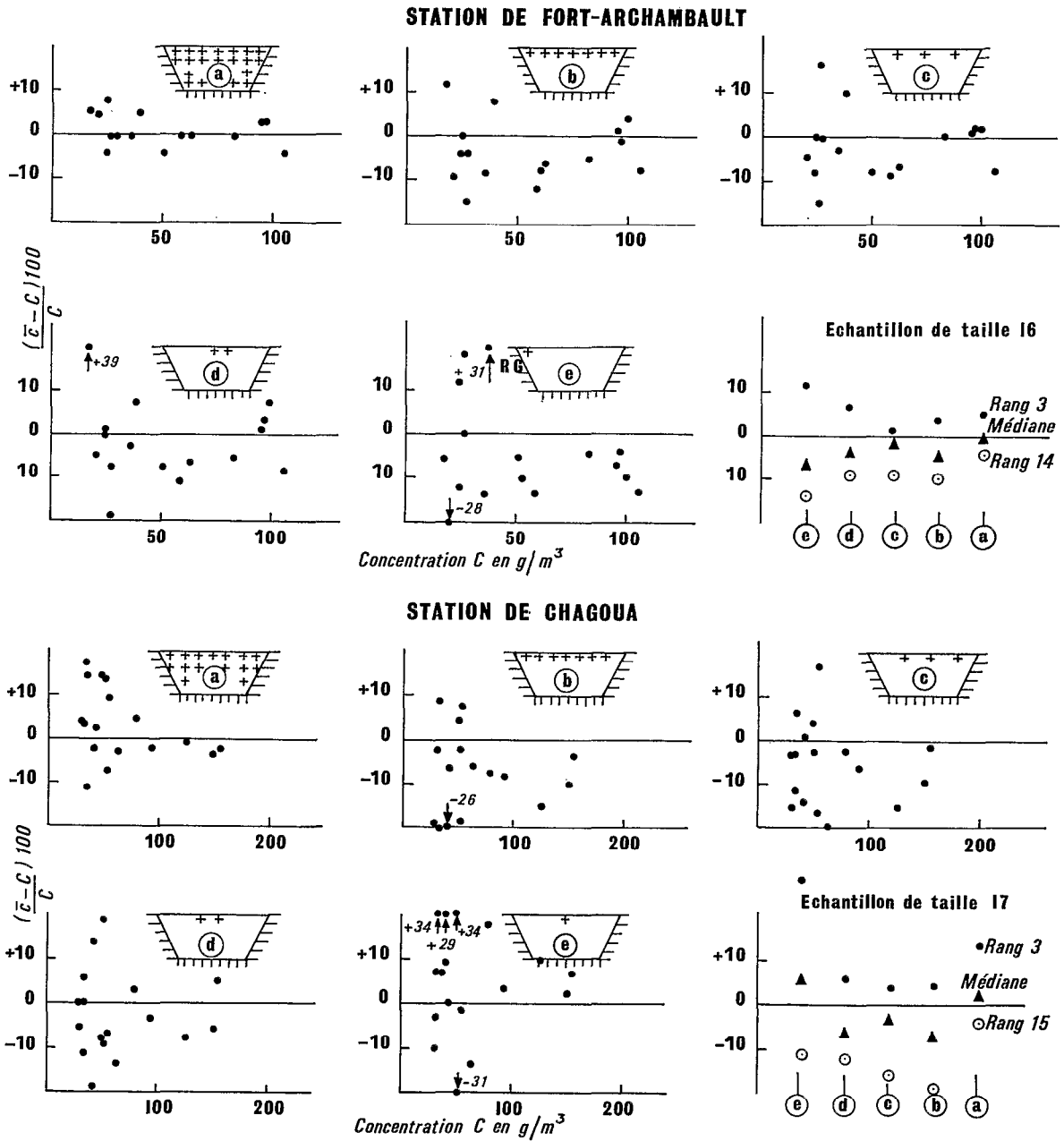


Fig. 7 et 8. — Ecartés algébriques relatifs de la moyenne arithmétique  $\bar{C}$  d'ensembles (a, b, c, d, e) de charges, à la turbidité C moyenne. Représentation en fonction de C.

### 2.2.2. Distribution statistique des écarts à Manda (Ouham).

A Manda (Ouham) le profil en travers présente une assez belle symétrie qu'on retrouve dans la distribution des vitesses et dans celle du transport solide par unité de largeur de section lors de la mesure du 25 août 1968 (fig. 9). En plus du gradient vertical habituel, on remarque cependant un net gradient transversal. Pour cette section relativement favorable, les échantillons composés de 17 valeurs de  $100 \cdot \frac{\bar{c} - C}{C}$  (fig. 6) ont été ajustés à des lois normales dont les caractéristiques sont données dans le tableau I.

TABLEAU I  
AJUSTEMENT DES ÉCHANTILLONS DE  
 $\left(100 \cdot \frac{\bar{c} - C}{C}\right)$  SUR DES LOIS DE GAUSS

Station de Manda					
	$100 \cdot \frac{\bar{c} - C}{C}$				
Cas	a	b	c	d	e
Fréquence					
0,9	- 5,4	- 14,4	- 15,6	- 11,4	- 13,5
0,5	+ 1,5	- 6,2	- 4,5	- 1,2	- 0,4
0,1	+ 8,4	+ 3,8	+ 6,5	+ 9,0	+ 14,2

Le coefficient d'étalonnage k est alors calculé pour chaque cas à partir de la valeur médiane de la variable (tableau II).

TABLEAU II  
ETALONNAGE EN FONCTION  
DE LA MOYENNE ARITHMÉTIQUE  
D'UN ENSEMBLE DE CHARGES  
A LA STATION DE MANDA (OUHAM)

Cas	a	b	c	d	e
Etalonnage					
$f(C_j)$	0,985 $\bar{c}_a$	1,062 $\bar{c}_b$	1,045 $\bar{c}_c$	1,012 $\bar{c}_d$	1,004 $\bar{c}_e$
Précision approx. (au seuil de 80%)	7%	10%	11%	11%	15%

### 2.2.3. Conclusions.

Les sections étudiées se rapprochent rarement du canal idéal ; dissymétrie naturelle des profils en travers, des répartitions de vitesses, méandres, turbulences dues aux ouvrages telles sont les données ordinaires. L'hétérogénéité des charges et des vitesses est souvent accentuée lorsque des endiguements au travers d'une plaine d'inondation ramènent des eaux décantées au lit mineur juste en amont de la section de mesure (ponts de Moundou et Doba).

De l'ensemble de ces cas particuliers de tarage, il semble qu'on puisse cependant tirer quelques enseignements utiles pour l'extension éventuelle du contrôle des transports solides dans des sites analogues ( $v < 2$  m/s ;  $c < 500$  g/m<sup>3</sup>).

1) On ne constate pas d'influence de la valeur de la turbidité C sur les relations de tarage

2) La moyenne arithmétique des charges dans la totalité de la section (cas a) diffère peu de la concentration C (précision généralement de l'ordre de 7 %)

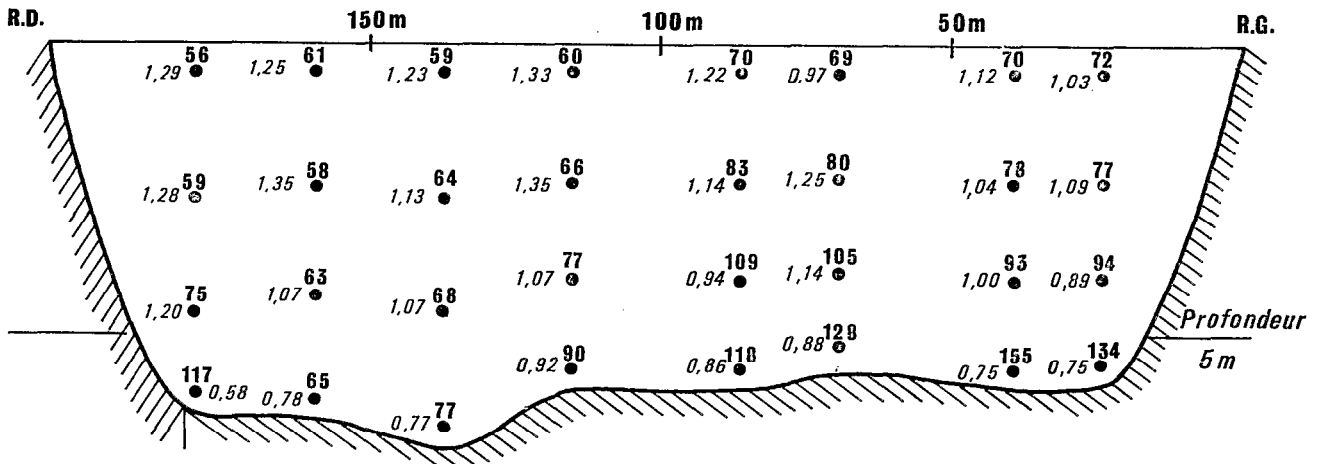
3) La moyenne arithmétique des charges de surface (cas b) est en général inférieure d'environ 5 % à la valeur C (Précision au seuil 0,80 de l'ordre de 10 %)

4) La moyenne arithmétique de trois charges réparties à la surface (cas c) est inférieure en moyenne de 5 % à la valeur C (Précision 0,80 de l'ordre de 11 %)

5) Pour un nombre inférieur de prélèvements de surface (cas d et e) la relation de tarage perd beaucoup de son caractère de généralité et devient un cas particulier lié aux emplacements de prélèvements dans des écoulements dont nous avons souligné la dissymétrie. La dispersion augmente très notablement d'autre part (Précision 0,80 de l'ordre de 15 %).

Ces résultats ont été comparés à ceux qu'ont obtenus J. COLOMBANI [6] et J.F. NOUVELOT [7]. Le premier estime que la moyenne arithmétique des concentrations déterminées lors d'une mesure complète est supérieure en moyenne de 2 à 3 % à la turbidité C ; pour le deuxième, sur la Sanaga à Nachtigal, elle serait supérieure en moyenne de 4 à 5 %. Ces écarts (d'ailleurs faibles) avec notre propre estimation proviennent évidemment des différences d'opérateurs : pour une section et un nombre de prélèvements donnés la moyenne arithmétique sera d'autant plus forte (voir la distribution des concentrations suivant une verticale figure 9) que les prélèvements ont été effectués plus près du fond.

La moyenne arithmétique des concentrations de surface a été trouvée en moyenne supérieure de 3 % à la concentration C sur la Sanaga mais, comme le souligne J.F. NOUVELOT, il s'agit sans doute là d'un



1,35 ● (Vitesse 1,35 m/s - Concentration de 58 g/m<sup>3</sup>)

Fig. 9. — Répartition des vitesses et des concentrations en matériaux en suspension dans la section de l'Ouham à Manda le 25/8/68.

cas particulier, la section de mesure se trouvant à l'aval d'une série de rapides dont l'effet de brassage provoque évidemment une répartition originale des concentrations sur une verticale et très sensiblement différente du cas illustré figure 9.

En conclusion, dans le cas des grands cours d'eau tropicaux à écoulement lent ( $v < 2$  m/s), et à turbidité faible ou modérée ( $c < 500$  g/m<sup>3</sup>), la liaison entre la turbidité  $C$  et la concentration moyenne de surface apparaît forte et relativement indépendante des sections considérées et de la valeur de  $C$ .

Cette liaison subsiste, quoique moins serrée, si la concentration moyenne est calculée par la moyenne arithmétique de trois concentrations réparties à la surface après une exploration hydrométrique de la section.

Elle peut s'exprimer en moyenne par la relation  $C = 1,05 \bar{c}$  si les fonds réguliers (sables) n'engendrent pas de turbulences exceptionnelles et dans les conditions de précision définies au début du paragraphe. Dans ce cas, à l'échelle du transport mensuel, en tenant compte du caractère aléatoire des composantes journalières, la déviation par rapport à la valeur calculée par la méthode complète peut, sans optimisme, être estimée inférieure à 10 % ; la perte de précision est largement compensée par la simplification des opérations de terrain, de laboratoire et enfin de calculs de tarage ; chaque contrôle aboutit

au stockage d'un seul prélèvement moyen dont le volume peut facilement être ramené de 30 l à celui d'une bouteille de 75 cl.

Si, pour des raisons pratiques, le contrôle doit être effectué à partir d'un seul point défini par le protocole de mesures pour des écoulements dont nous rappelons la dissymétrie, il sera indispensable de procéder à l'opération d'étalonnage. Un « pré-tarage » peu coûteux peut consister à comparer la valeur de l'échantillon témoin à la moyenne arithmétique, augmentée de 5 %, des concentrations réparties à la surface de l'écoulement après une exploration hydrométrique de la section. On évitera ainsi des erreurs systématiques qui pourraient atteindre 20 ou 30 % sur le total annuel, même dans des cas pas trop défavorables.

### 3. TURBIDITÉS ET TRANSPORTS OBSERVÉS

#### 3.1. ASPECT QUANTITATIF.

La fréquence relativement faible des mesures du transport solide ne nous permet pas d'envisager faire mieux qu'un état mensuel, dans la majorité des cas.

Les débits liquides journaliers ont été calculés à

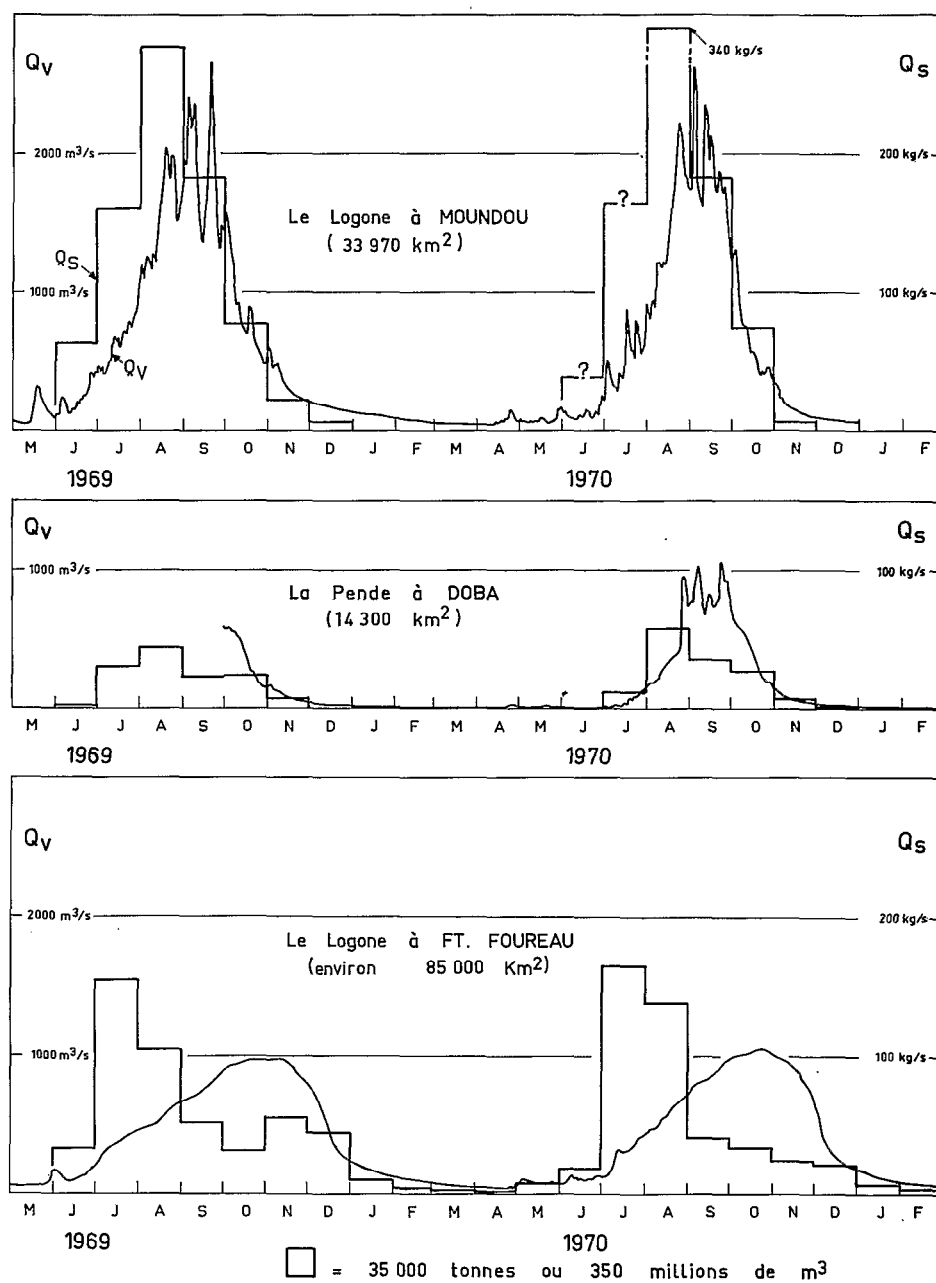


Fig. 10. — Hydrogrammes journaliers ( $m^3/s$ ) et transport solide mensuel ( $kg/s$ ) dans le bassin du Logone.

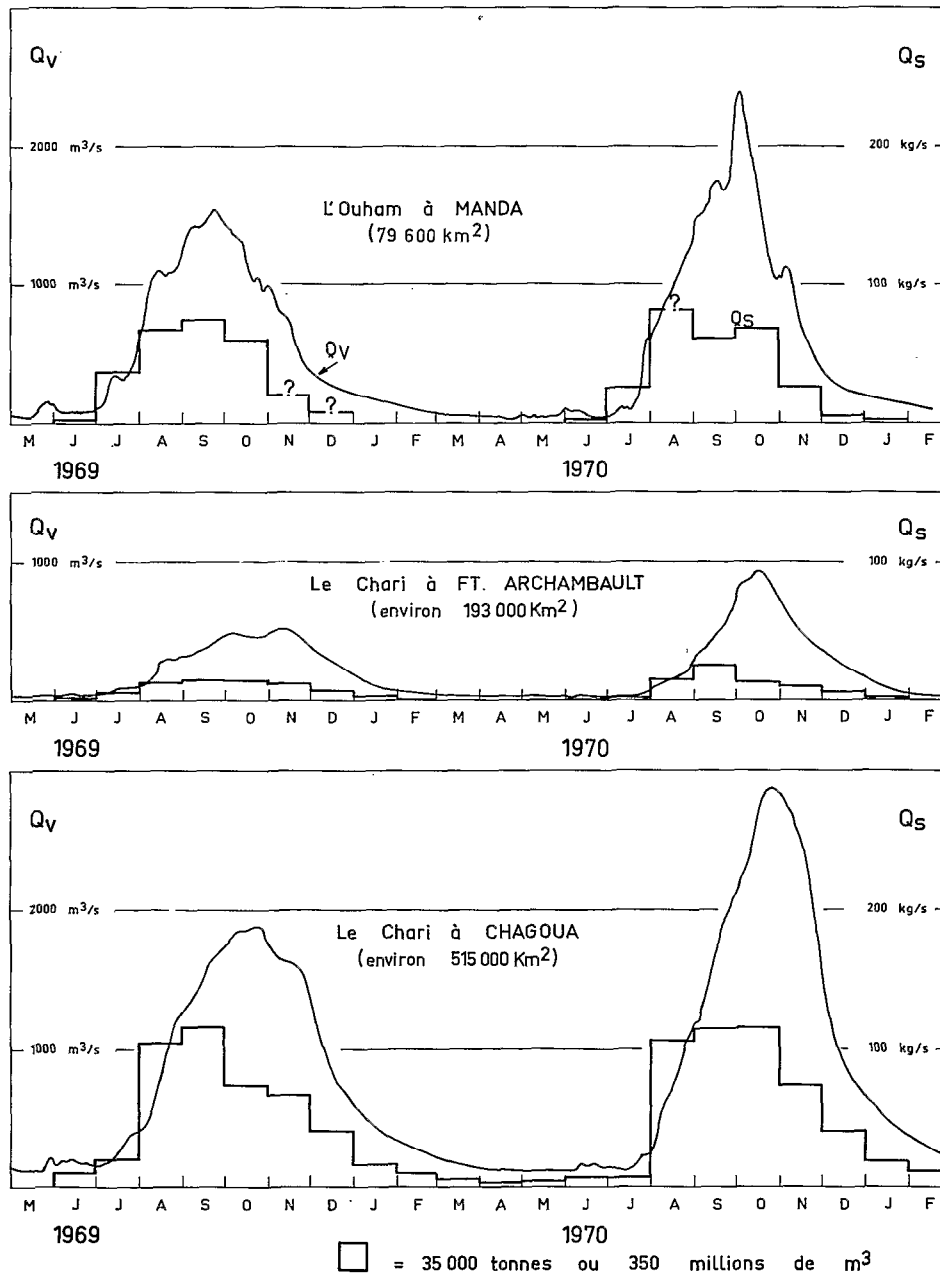


Fig. 11. — Hydrogrammes journaliers ( $m^3/s$ ) et transport solide mensuel ( $kg/s$ ) dans le bassin du Chari.

partir des relevés limnimétriques journaliers et des barèmes existants à la plupart des stations. Dans le cas de Fort-Foureau et Chagoua les correspondances hauteurs-débits ne sont pas univoques et l'on a utilisé les débits journaliers de Logone Birni (Logone) retardés uniformément d'un jour pour Fort-Foureau et la différence entre ce débit à Fort-Foureau et celui de Fort-Lamy pour estimer le débit journalier à Chagoua.

La turbidité moyenne journalière de l'écoulement est calculée à partir du ou des prélèvements du jour et des conditions de tarage propres à chaque station.

Les déterminations étant rarement journalières, nous avons systématiquement procédé par interpolation, en donnant arbitrairement à chaque observation un poids proportionnel aux intervalles les séparant des mesures antérieures et postérieures les plus proches.

L'ordre de grandeur de l'erreur consécutive a été évalué sur le Logone où les variations du phénomène dans le temps sont les plus notables. A Moundou, le transport mensuel (kg/s) en juillet 1969 passe de 161 à 150 suivant qu'il est calculé à partir de 3 ou 4 observations réparties dans le mois ; en août 1969 de 277 à 264 (9 ou 4 observations) ; en septembre 1970 de 183,1 à 183,0, puis 210 (22, ou 10, ou 3 observations). A Fort-Foureau, le transport en août 1970 passe de 143 à 152 puis 138, s'il est calculé respectivement à partir de 12, 5 ou 3 mesures.

Les valeurs du transport solide mensuel calculées avec une précision peut-être pire que 10 % sont soulignées d'un ? sur les figures 10 et 11 représentant la période mai 1969 - février 1970. Notons que les valeurs de mai et juin sur le Logone sont généralement connues avec une très mauvaise précision mais elles interviennent peu dans le transport annuel.

L'incidence de la fréquence des observations sur le total annuel pourra être considérée comme faible et génératrice d'une erreur vraisemblablement inférieure à 5 %. Cependant les données de 1968 à Fort-Lamy, où l'hydraulicité ne présente pas par ailleurs grand intérêt vis-à-vis des suivantes, n'ont pas été utilisées, ni sur le plan mensuel, ni sur le plan annuel, par suite d'une trop longue période sans contrôle du 26 juillet au 14 septembre.

Dans les tableaux récapitulatifs des résultats quantitatifs obtenus de 1968 à 1971, pour chaque station sont rappelées les caractéristiques hydrologiques (en année observée et en année moyenne) dont on peut penser qu'elles sont en rapport avec les valeurs du transport solide : hydrogrammes journaliers (fig. 10 et 11), module, débit maximal annuel (tableaux III à VIII).

Dans ces tableaux, on trouve successivement :

— 1<sup>re</sup> colonne : le module  $M$  en  $m^3/s$  et entre parenthèses le module spécifique  $m$  en  $l/s/km^2$  ;

— 2<sup>e</sup> colonne : le transport solide annuel moyen  $R$  en  $kg/s$  et entre parenthèses la dégradation spécifique  $e$  en  $l/km^2/an$  ;

— 3<sup>e</sup> colonne : la concentration ou turbidité moyenne annuelle  $C$  en  $g/m^3$  ;

— 4<sup>e</sup> colonne : la turbidité minimale mesurée ou estimée  $C_{min.}$  en  $g/m^3$  avec sa date d'occurrence ;

— 5<sup>e</sup> colonne : la turbidité maximale mesurée ou estimée  $C_{max.}$  en  $g/m^3$  avec sa date d'occurrence ;

— 6<sup>e</sup> colonne : le transport solide journalier maximal mesuré ou estimé  $Q_s$  en  $kg/s$  avec sa date d'occurrence ;

— 7<sup>e</sup> colonne : le débit maximal annuel de crue  $Q_v$  et sa valeur spécifique  $q_v$  entre parenthèses, avec sa date d'occurrence.

Ces valeurs sont données pour les années hydrologiques observées, pour l'année médiane et pour la décennale forte ou sèche.

Le tableau IX donne les quantités annuelles transportées en tonnes.

Les extrêmes journaliers ont été donnés à titre indicatif, la densité des observations étant évidemment insuffisante. Les figures 12 et 13 fournissent une illustration partielle de ces résultats en montrant la répartition mensuelle des concentrations moyennes et des quantités transportées.

### 3.2. L'ASPECT QUALIFICATIF.

Cet aspect est étudié de façon très complète dans le haut bassin par un géologue spécialiste de l'altération et une publication [8] a déjà été faite intéressant le bassin de l'Ouham à Batangafo ( $44\ 700\ km^2$ ).

Nous présentons page 37 les compositions granulométriques d'échantillons prélevés en 1971 aux six stations tchadiennes.

Au cours de l'année 1970 a été également effectuée une exploration de la nature minéralogique des apports à quatre stations dont on connaît l'importance en ce qui concerne la quantité de matériaux exportée vers le lac : les laboratoires de l'O.R.S.T.O.M. à Bondy ont analysé 15 échantillons provenant de résidus après dessiccation à  $105^\circ C$  et 13 échantillons où la décantation provoquée par l'acide chlorhydrique a été suivie d'un chauffage plus modéré à  $50^\circ C$ . Les résultats figurent en annexe sur le tableau XI pour chacune des stations de Chagoua, Fort-Foureau, Moundou et Manda.

Notons pour toutes les stations la large dominance de la kaolinite puis du quartz et la présence d'illite (un peu ou traces). A l'exception du haut bassin de

TABLEAU III  
DONNÉES DE BASE DU TRANSPORT SOLIDE EN SUSPENSION A LA STATION DE MOUNDOU  
SUR LE LOGONE (33 970 km<sup>3</sup>)

Année	M en m <sup>3</sup> /s (m en l/s/km <sup>2</sup> )	R kg/s (e t/km <sup>2</sup> /an)	Can g/m <sup>3</sup>	C <sub>min</sub> g/m <sup>3</sup> et date	C <sub>max</sub> g/m <sup>3</sup> et date	Q <sub>s</sub> kg/s et date	Q <sub>v</sub> en m <sup>3</sup> /s (q <sub>v</sub> en l/s/km <sup>2</sup> ) et date
1969-1970	506 (14,8)	70 (65)	138	11 à 20 * début 70	403 * 27-6-69	431 * 30-8-69	2 650 (78) 20-9-68
1970-1971	427 (12,5)	70 (65)	163	10 à 20 * début 71	508 * 4-7-70	490 * 26-8-70	2 610 (77) 4-9-70
Médiane	398 (11,7)						2 100 (62) 56% en septembre
Décennale forte	486 (14,3)						3 000 (88)

\* Valeur indicative.

TABLEAU IV  
DONNÉES DE BASE DU TRANSPORT SOLIDE EN SUSPENSION A LA STATION DE DOBA  
SUR LA PENDE (14 300 km<sup>2</sup>)

Année	M en m <sup>3</sup> /s (m en l/s/km <sup>2</sup> )	R kg/s (e t/km <sup>2</sup> /an)	Can g/m <sup>3</sup>	C <sub>min</sub> g/m <sup>3</sup> et date	C <sub>max</sub> g/m <sup>3</sup> et date	Q <sub>s</sub> kg/s et date	Q <sub>v</sub> en m <sup>3</sup> /s (q <sub>v</sub> en l/s/km <sup>2</sup> ) et date
1969-1970	144 (10,1)	11,2 (24,6)	78	20 à 23 * début 70	394 * 5-7-69	50 à 55 * 26-7 au 14-8-69	858 * (60) 23-9-69
1970-1971	156 (10,9)	11,9 (26,1)	76	10 à 20 * début 71	398 * 17-7-70	95 * 28-8-70	1 060 (74) 24-9-70
Médiane	140 (9,8)						734 (51) 53% en septembre
Décennale forte	169 (11,8)						915 (64)

\* Valeur indicative.



Aspects du régime des apports fluviaux de matériaux solides vers le lac Tchad

TABLEAU V  
DONNÉES DE BASE DU TRANSPORT SOLIDE EN SUSPENSION A LA STATION DE MANDA  
SUR L'OUHAM (79 600 km<sup>2</sup>)

Année	M en m <sup>3</sup> /s (m en l/s/km <sup>2</sup> )	R kg/s (e t/km <sup>2</sup> /an)	Can g/m <sup>3</sup>	C <sub>min</sub> g/m <sup>3</sup> et date	C <sub>max</sub> g/m <sup>3</sup> et date	Q <sub>s</sub> kg/s et date	Q <sub>v</sub> en m <sup>3</sup> /s et date (q <sub>v</sub> en l/s/km <sup>2</sup> )
1968-1969	435 (5,4)	27 * (10,6)	62 *	23 * 18-4-69	171 * 26-7-68	108 * 16-8-68 25-8-68	1 340 (16,7) 31-8-68
1969-1970	455 (5,7)	23 (9,2)	51	13 * 20-4-70	138 * 29-7-69	117 * 2-9-69	1 540 (19,3) 23-9-69
1970-1971	513 (6,4)	23 (9,2)	45		219 * 25-7-70	108 * 29-7-70 132 13-10-70	2 390 (30,0) 4-10-70
Médiane	596 (7,5)						2 210 (28) 50% du 29-9 au 19-10
Décennale sèche	366 (4,6)						

\* Valeur indicative.

TABLEAU VI  
DONNÉES DE BASE DU TRANSPORT SOLIDE EN SUSPENSION A LA STATION DE FORT-ARCHAMBAULT  
SUR LE CHARI (193 000 km<sup>2</sup>)

Année	M en m <sup>3</sup> /s (m en l/s/km <sup>2</sup> )	R kg/s (e t/km <sup>2</sup> /an)	Can g/m <sup>3</sup>	C <sub>min</sub> g/m <sup>3</sup> et date	C <sub>max</sub> g/m <sup>3</sup> et date	Q <sub>s</sub> kg/s et date	Q <sub>v</sub> en m <sup>3</sup> /s et date (q <sub>v</sub> en l/s/km <sup>2</sup> )
1968-1969	217 (1,12)	8,0 * (1,3)	39 *	19 * 17-4-69	102 * 3-7-68	22,3 * 21-8-68	588 (3,04) 7-10-68
1969-1970	190 (0,98)	6,5 (1,1)	34	11 * 21-4-70	86 * 29-7-69	25,7 * 2-9-69	477 (2,47) 16-10-69
1970-1971	210 (1,09)	6,5 (1,1)	31	13 à 20 * Octobre 70 début 71	101 * Août 70	28,8 * 16-9-70	484 (2,51) 8-10-70
Médiane	359 (1,85)						1 180 (6,1) 50% du 15 au 27-10
Décennale sèche	230						

\* Valeur indicative.

(P.) Carre

TABLEAU VII

DONNÉES DE BASE DU TRANSPORT SOLIDE EN SUSPENSION A LA STATION DE FORT-FOUREAU  
SUR LE LOGONE (85 000 km<sup>2</sup>)

Année	M en m <sup>3</sup> /s (m en l/s/km <sup>2</sup> )	R kg/s (e t/km <sup>2</sup> /an)	Can g/m <sup>3</sup>	C <sub>min</sub> g/m <sup>3</sup> et date	C <sub>max</sub> g/m <sup>3</sup> et date	Q <sub>s</sub> kg/s et date	Q <sub>v</sub> en m <sup>3</sup> /s (q <sub>v</sub> en l/s/km <sup>2</sup> ) et date
1969-1970	384 (4,52)	42,6 (15,8)	111	28 * 24-10-69 30- 1-70	656 * 9-7-69	207 et 202 * 9-7-69 23-7-69	980 (11,5) 5-11-69
1970-1971	373 (4,39)	39,3 (14,6)	105	13 * 14-10-70	813 * 11-7-70	232 * 24-7-70	1 060 (12,5) 24-10-70
Médiane	402 (4,7)						900 (10,6) 50% du 21-10 au 10-11

\* Valeur indicative.

TABLEAU VIII

DONNÉES DE BASE DU TRANSPORT SOLIDE EN SUSPENSION A LA STATION DE CHAGOUÁ  
SUR LE CHARI (515 000 km<sup>2</sup>)

Année	M en m <sup>3</sup> /s (m en l/s/km <sup>2</sup> )	R kg/s (e t/km <sup>2</sup> /an)	Can g/m <sup>3</sup>	C <sub>min</sub> g/m <sup>3</sup> et date	C <sub>max</sub> g/m <sup>3</sup> et date	Q <sub>s</sub> kg/s et date	Q <sub>v</sub> en m <sup>3</sup> /s (q <sub>v</sub> en l/s/km <sup>2</sup> ) et date
1969-1970	692 (1,34)	39,4 (2,4)	57	23 * 4-4-70	155 * 20-8-69	176 * 27-8-69	1 890 (3,67) 23-10-69
1970-1971	819 (1,59)	42,5 (2,6)	52	23 * 4-11-70	212 * 10-8-70	253 * 21-10-70	2 880 (5,59) 25-10-70
Médiane	988 (1,92)						3 100 (6,02)

\* Valeur indicative.

TABLEAU IX  
QUANTITÉS ANNUELLES TRANSPORTÉES  
EN SUSPENSION

Fleuve	Station	Année	Milliers de tonnes
Logone	Moundou	1969-1970	2 210
		1970-1971	2 200
Pendé	Doba	1969-1970	350
		1970-1971	375
Ouham	Manda	1968-1969	852
		1969-1970	733
		1970-1971	730
Chari	Fort-Archambault	1968-1969	267
		1969-1970	204
		1970-1971	206
Logone	Fort-Foureau	1969-1970	1 347
		1970-1971	1 238
Chari	Chagoua	1969-1970	1 246
		1970-1971	1 346

l'Ouham à Manda, on retrouve très souvent ailleurs des feldspaths en faible quantité ou à l'état de traces.

Bien caractérisée sur le Logone, aux deux stations, la gibbsite (un peu ou traces) n'apparaît pas aux autres stations. Enfin la montmorillonite, dont on trouve des traces en amont sur le Logone à Moundou, est généralement présente (un peu ou traces) aux stations aval du Logone et du Chari.

#### 4. LES RÉGIMES DU TRANSPORT SOLIDE EN SUSPENSION

##### 4.1. LES BASSINS AMONT.

La chronologie des caractéristiques respectives des hydrogrammes et des variations du régime du transport solide en suspension à l'exutoire d'une parcelle d'érosion, pour une pluie donnée, est bien connue : d'abord le maximum de concentration puis celui du transport solide enfin celui du débit liquide.

Cette chronologie est respectée à l'exutoire des grands bassins versants observés en amont, aussi bien à l'échelle de chaque onde composante de la grande crue tropicale qu'à l'échelle annuelle. En effet l'ali-

TABLEAU X  
COMPOSITION GRANULOMÉTRIQUE DES MATÉRIAUX EN SUSPENSION  
(résidus secs provenant surtout de déterminations complètes)  
ANALYSE DU LABORATOIRE DU CENTRE O.R.S.T.O.M. DE FORT-LAMY

Station et période de prélèvement (année 1970)	Argile %	Limon %	Limon grossier %	Sable fin %	Sable grossier %	Total
<i>Moundou</i>						
Juin	64,0	15,0	4,5	4,5	4,5	96
Juillet	67,0	17,0	5,0	4,0	1,0	97
Août	40,0	16,0	9,5	24,0	6,0	98,5
Septembre	55,0	21,0	5,0	5,0	5,0	96
<i>Doba</i>						
Juillet, août	68,0	13,0	6,5	6,0	2,0	98,5
Septembre, octobre	59,0	11,0	5,0	12,0	7,0	97,0
<i>Fort-Foureau</i>						
Août	57,0	18,0	10,0	10,0	1,0	99,0
Septembre	43,0	18,0	9,5	22,5	1,5	97,0
Octobre	26,0	22,0	12,0	32,0	1,0	95,5
<i>Manda</i>						
Juillet, août, septembre	61,0	16,0	5,0	8,0	4,0	96,0
<i>Fort-Archambault</i>						
Juill., août, sept., oct.	68,0	8,0	2,0	5,0	6,0	93,5
<i>Chagoua</i>						
Juillet, août	72,0	11,0	6,0	6,0	1,0	97,5
Septembre, octobre	57,0	12,0	7,5	15,0	2,0	96,0

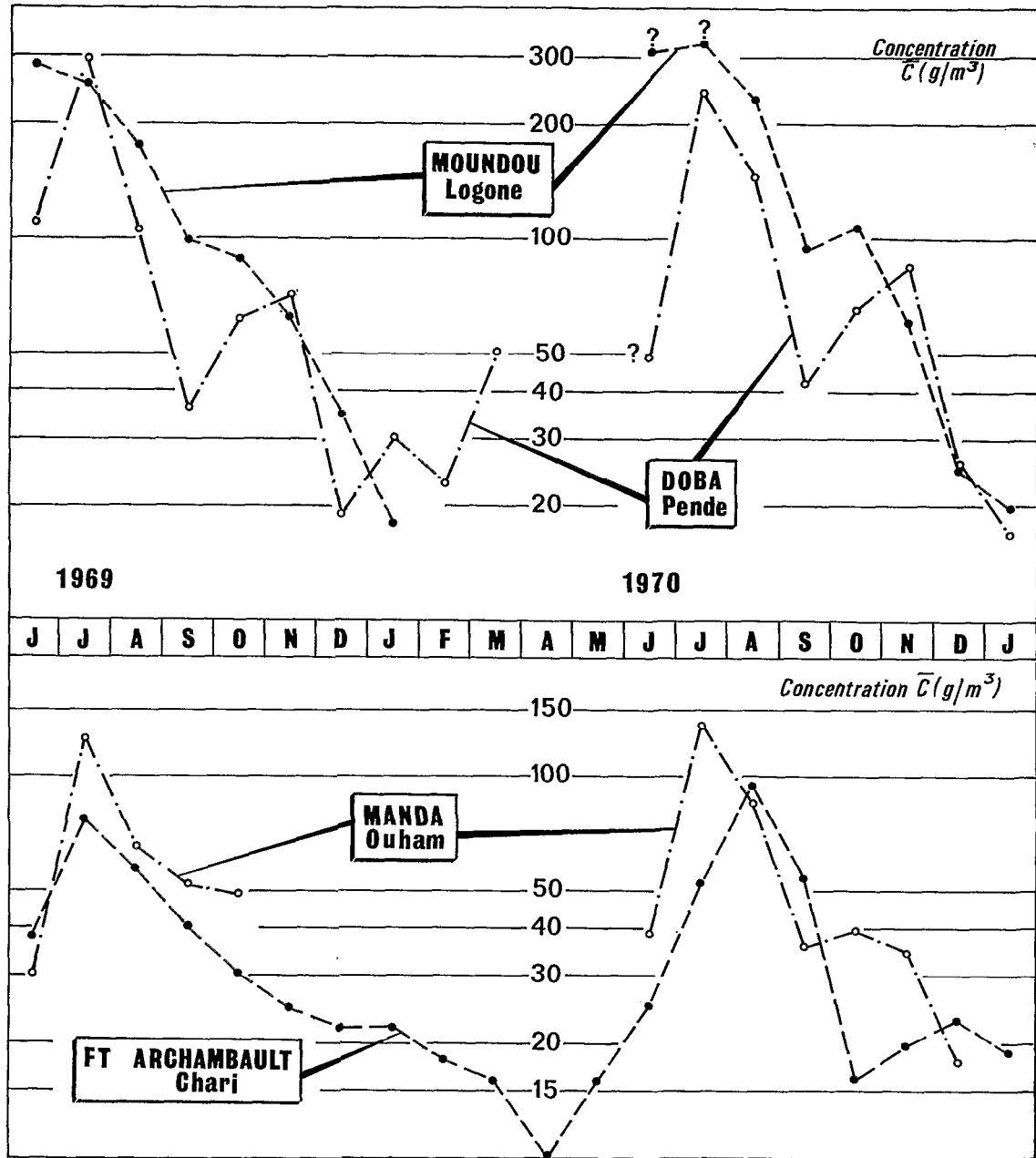


Fig. 12. — Concentrations en matériaux en suspension. Valeurs mensuelles aux stations amont.

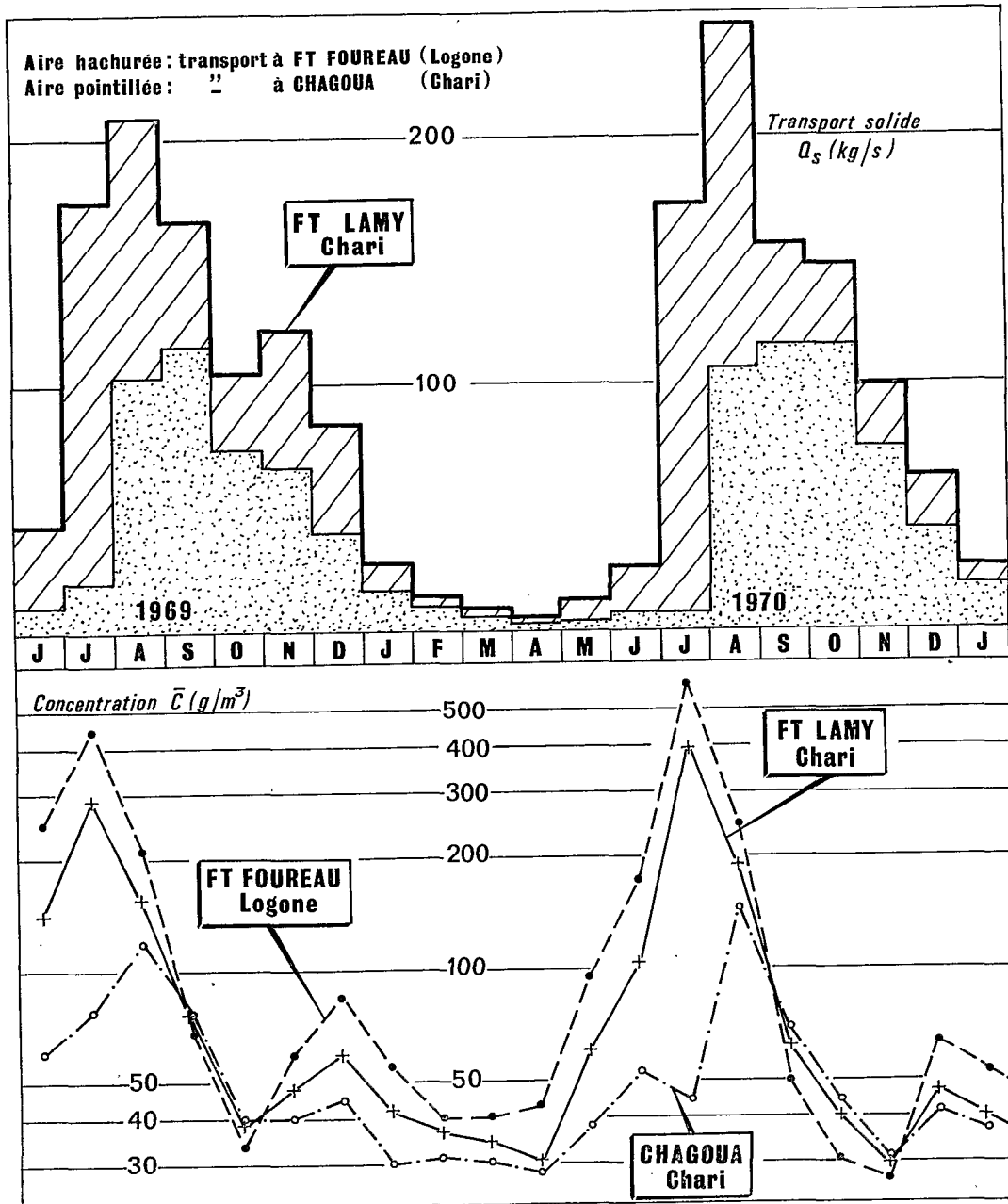


Fig. 13. — Transports (kg/s) et concentrations (g/m<sup>3</sup>) en matériaux en suspension. Valeurs mensuelles aux stations aval

mentation de type tropical de transition assure à la courbe des transports solides mensuels en suspension l'allure classique prise par l'hydrogramme lui-même, les maximums respectifs étant décalés dans le temps.

Pour chaque bassin observé, les valeurs successives observées du transport solide R annuel apparaissent remarquablement convergentes et apparemment indépendantes des modules liquides correspondants. Il semblerait que la variabilité interannuelle du phénomène sous ces climats se manifeste plus modérée que celle des modules liquides. Sans conclure sur les valeurs moyennes interannuelles du transport solide et de la dégradation pour chaque bassin, les différences d'ordre de grandeur observées permettent cependant d'effectuer, à partir des quelques années d'observations, des comparaisons intéressantes.

Les caractéristiques liées à l'intensité du transport solide et à sa répartition dans le temps ressortent, pour chaque bassin, en plein accord avec les conclusions déduites de l'examen du milieu physico-climatique (cf. 1.4) au sujet de la décroissance de l'aptitude à l'érosion en allant d'Ouest en Est. Il est probable que cette tendance ait été quelque peu accentuée par rapport à la moyenne, les années observées ayant des hydraulicités largement plus favorables sur le Logone que sur l'Ouham et surtout le Chari.

Enfin, en accord avec la nature minéralogique des sols en amont, les suspensions sont principalement des argiles à kaolinite (observations à Moundou et Manda).

#### 4.1.1. Les quantités transportées.

Les valeurs journalières les plus fortes observées, de 490 kg/s à Moundou, passent à 95 (Doba), puis 132 (Manda), et enfin 29 kg/s pour Fort-Archambault.

Les minimums journaliers ne dépassent pas un kg/s en fin de saison sèche.

La quasi-totalité du transport se fait à l'ouest en quatre mois de juillet à octobre avec un minimum très caractérisé en août, alors qu'à l'est elle intéresse plutôt cinq mois et le maximum, plus tardif et moins accentué, se situerait plutôt vers septembre : décroissance de l'intensité du relief, forme allongée du bassin de l'Ouham, proportion notable des terrains perméables dans le Chari supérieur, retard des apports de l'Aouk en sont les causes les plus évidentes.

De 70 kg/s à Moundou, les quantités transportées annuelles descendent à 25 kg/s à Manda puis à 7 kg/s environ à Fort-Archambault, pour des bassins respectivement deux et cinq fois plus vastes. Les dégradations spécifiques correspondantes passent de 65 à 10 puis 1,2 t/km<sup>2</sup> alors que, sur la Pende, la moyenne est de 25 t/km<sup>2</sup>/an (transport annuel de 11 kg/s).

Le transport annuel à Manda, rapporté à la superficie du bassin de l'Ouham avant sa confluence avec la Mandoul, endoréique du point de vue des matériaux solides, donne une idée plus exacte de la dégradation moyenne observée sur les 67 000 km<sup>2</sup> du bassin à Moissala, soit 11,5 t/km<sup>2</sup>/an.

De même avons-nous reconnu plus haut l'improbabilité d'apports détritiques de l'énorme bassin de l'Aouk ; seul le tonnage observé à Fort-Archambault, rapportée aux 65 000 km<sup>2</sup> du Chari supérieur donne une dégradation moins théorique de 3,5 t/km<sup>2</sup>/an observée pour cette portion du bassin, et qui pourrait peut-être atteindre 5 t/km<sup>2</sup>/an en année favorable.

#### 4.1.2. Les concentrations.

Les plus fortes concentrations journalières enregistrées à l'ouest sont de 500 g/m<sup>3</sup> sur le Logone et de 400 g/m<sup>3</sup> sur la Pende entre le 15 juin et le 15 juillet : à l'Est, 220 g/m<sup>3</sup> sur l'Ouham et 100 g/m<sup>3</sup> sur le Chari ont été mesurées et la période la plus favorable à ces extrêmes paraît être du 15 juillet au 15 août. Il s'agit là évidemment d'une approche par valeur inférieure des maximums possibles ; ainsi, à Moundou, des concentrations de 800 g/m<sup>3</sup> nous paraissent tout à fait possibles.

Les valeurs enregistrées en fin de saison sèche vont de 15 à 25 g/m<sup>3</sup> à toutes les stations mais des minimums du même ordre ou même plus faibles peuvent être observés à la décrue lors de la vidange des plaines d'inondations, s'il y en a d'importantes.

Le démarrage plus précoce des crues sur le Logone est très net ; les valeurs mensuelles des concentrations dès juin et juillet, s'établissent au maximum de 250 à 300 g/m<sup>3</sup>. Aux autres stations les fortes valeurs mensuelles, plus tardives, s'établissent généralement en juillet et même une fois en août 1970, sur le Chari : de 250 à 300 g/m<sup>3</sup> sur la Pende, 120 à 150 g/m<sup>3</sup> sur l'Ouham, 80 à 100 g/m<sup>3</sup> sur le Chari.

La vidange des plaines d'inondations éventuelles affecte également les concentrations mensuelles : ainsi, alors que sur le Logone le phénomène passe inaperçu, il est très net sur la Pende, sur le Chari (marécages de l'Aouk) et enfin sur l'Ouham où la crue a été supérieure à la moyenne. Après ce minimum souvent assez voisin des valeurs de fin de saison sèche, les concentrations reprendront des valeurs en rapport avec les dernières crues qui, elles, sont contenues dans le lit ; ensuite la décroissance est régulière.

De 150 g/m<sup>3</sup> en moyenne sur le Logone, la concentration moyenne annuelle C/an passe à 75 g/m<sup>3</sup> sur la Pende, 50 g/m<sup>3</sup> sur l'Ouham et 53 g/m<sup>3</sup> sur le Chari.

## 4.1.3. CONCLUSIONS.

Nos résultats gagnent à être comparés à ceux tirés d'autres études intéressant les zones amont de la cuvette.

Citons pour mémoire le chiffre 210 t/km<sup>2</sup>/an (1968 et 1969) pour un bassin de 1 535 km<sup>2</sup> de régime tropical pur (830 mm) des monts Mandara [7], celui de la Tsanaga à Bogo ; également celui de 9 t/km<sup>2</sup>/an (1956) pour les 80 000 km<sup>2</sup> du Bahr Azoum à Am Timan soumis au climat sahélien (572 mm) et au réseau hydrographique déjà très dégradé [9]. Ces apports ne parviennent jamais au lac Tchad.

Pour les 57 000 km<sup>2</sup> du Logone à Laï, de régime tropical de transition (1 370 mm), après le confluent du Logone et de la Pende, la dégradation est de 50 t/km<sup>2</sup>/an (1955) ; ce chiffre [10] recoupe nos propres observations puisque la somme des apports à Moundou et Doba rapportée à Laï est de 45 t/km<sup>2</sup>/an (1969 et 1970). La comparaison s'impose également entre nos résultats sur l'Ouham et ceux obtenus en amont à Batangafo, soit 9,3 t/km<sup>2</sup>/an (1969) pour 45 000 km<sup>2</sup> [8], estimation en l'absence de contrôle entre le 1<sup>er</sup> juillet 1969 et le 11 septembre 1969 conduisant sans doute, d'après nos propres résultats, à une légère sous-évaluation.

Enfin, les résultats acquis sur l'érosion des petits bassins dans le haut bassin du Logone ne permettent pas d'expliquer à eux seuls la valeur extrêmement forte de la dégradation moyenne rencontrée deux ans de suite à Moundou. Sur le Rao à Foumban (1 345 km<sup>2</sup>), le transport a été seulement de 15 t/km<sup>2</sup>/an (1967) pour une très faible hydraulicité, en accord avec les résultats sur le bassin du Risso (haut bassin de la Vina) [7]. Sur des bassins versants de Sarki, à la naissance de la Lim, des dégradations respectives de 30 t/km<sup>2</sup>/an ont été enregistrées (1969) respectivement sur 94 et 3,9 km<sup>2</sup> [11]. Au vu de ces résultats modestes, et compte tenu de ce que l'on sait de la dégradation annuelle sur la Pende, 25 t/km<sup>2</sup>/an (1969 et 1970), de l'âge de la vallée de la Vina, et enfin de la faiblesse des apports du Continental terminal, le tonnage annuel à Moundou apparaît très élevé. L'explication la plus vraisemblable est à rechercher du côté de l'érosion des berges ; c'est en effet en amont de Moundou que les modifications du lit du Logone sont les plus importantes. Une autre explication, plus douteuse à priori, tiendrait dans l'existence d'une aire non encore reconnue, géomorphologiquement originale et favorable à l'érosion puis au transport des matériaux jusqu'aux lits principaux : la vallée de la Mbere, par sa conformation et ses débits spécifiques élevés, est peut-être seule susceptible de fournir un apport quantitatif appréciable pour une superficie pourtant réduite, il y a là l'objet d'une recherche motivée par l'importance (peut-être le quart ?) qu'aurait, dans la sédimentation fine d'origine fluviale actuelle du lac Tchad, les quelque 10 000 km<sup>2</sup> de cette partie du haut Logone. Les résultats de 1970 et 1971 à Sarki, ceux de 1971 à Moundou et sur la Pende permettront bientôt de préciser les termes de la réponse à ce problème.

## 4.2. LE CONFLUENT LOGONE-CHARI.

4.2.1. *Le Chari à Chagoua.**Concentrations.*

Sur le Chari à Chagoua, les concentrations journalières les plus fortes observées (210 et 155 g/m<sup>3</sup> en août), les concentrations maximales mensuelles (150 à 120 g/m<sup>3</sup> en août), la concentration annuelle (57 et 52 g/m<sup>3</sup>) sont en liaison évidente avec les valeurs rencontrées sur l'Ouham y compris le démarrage tardif caractéristique de la crue des bassins de l'Est, souligné plus haut.

Comme on pouvait s'y attendre, le minimum de concentration dû à la vidange des plaines d'inondation est plus accusé en 1970 qu'en 1969, année plus faible en elle-même et par rapport à Manda.

Le minimum de saison sèche, 30 g/m<sup>3</sup>, apparaît plus fort qu'en amont ; il s'agit peut-être là d'un effet des vents de poussière plus fréquents dans la région de Fort-Lamy.

*Quantités transportées.*

La répartition et le maximum mensuel (115 kg/s en septembre) apparaissent en bon accord avec la réunion des tonnages de l'Ouham et du Chari supérieur. Compte tenu de la faiblesse de la crue de 1969, et même de celle de 1970 où la pointe a été très brève, les suspensions ont pu se transmettre vers l'aval sans grosses pertes par débordement. Le bilan annuel de 1 300 000 t à Chagoua fait même apparaître un tonnage supérieur d'environ 20% à la somme des apports de l'Ouham et du Chari supérieur. Nous n'excluons pas une sous-estimation des tonnages à Manda en 1970 ou peut-être une contribution notable du Bahr Salamat régénéré par des affluents du Guera ; cette hypothèse ne nous séduit guère et encore moins celle d'apports de la Ko, du Bahr Keita ou du Ba Illi, bien que ces quatre rivières soient pour près de 10% dans le module liquide moyen à Chagoua.

#### 4.2.2. Le Logone à Fort-Foureau.

##### Concentrations.

Les concentrations maximales journalières observées (650 et 800 g/m<sup>3</sup> début juillet), les concentrations mensuelles (440 et 600 g/m<sup>3</sup> en juillet), la concentration annuelle (111 et 107 g/m<sup>3</sup>), individualisent fortement la station du Logone par rapport à sa voisine du Chari aval, et rappellent les valeurs enregistrées à Moundou à l'époque du début de la crue.

Le minimum des concentrations se produit à la vidange des plaines d'inondations (15 à 30 g/m<sup>3</sup> en octobre), ces valeurs sont inférieures à celles de fin de saison sèche (30 à 40 g/m<sup>3</sup>).

##### Quantités transportées.

Elles apparaissent modulées depuis l'amont par la morphologie du Logone inférieur. Le lit mineur contient, jusqu'en juillet environ, les premières ondes de crues originaires de la Vina et de la Mbéré, celles-ci propageant rapidement leurs charges très fortes. Mais dès le mois d'août la turbidité décroît en amont alors que le lit résiduel du Logone inférieur, où les turbulences permettent le transit des suspensions, transmet un débit liquide désormais à peu près constant donc un débit solide décroissant en même temps que la concentration dès cette époque.

Et à l'inverse des lois de propagation des hydrogrammes, le maximum mensuel du transport a lieu à l'aval (160 kg/s en juillet) avant qu'ait eu lieu celui de l'amont (août) (fig. 10). Près de la moitié du transport annuel s'effectue alors en deux mois.

Le transport annuel a été d'environ 1 300 000 t, soit la moitié seulement des apports réunis du Logone et de la Pende. C'est donc un tonnage équivalent qui s'est déposé dans les plaines d'inondations du moyen et du bas Logone, l'ordre de grandeur vraisemblable des apports de la Tandjile (dernier affluent de rive gauche du Logone avant ses plaines d'inondations) n'étant guère comparable qu'à l'erreur possible sur les poids de matériaux transités à Moundou.

#### 4.2.3. Conclusions.

A l'aval, le régime des tonnages en suspension apparaît déterminé par les diagrammes observés et décrits au niveau du 8° 30' de latitude Nord d'une part, par la morphologie des réseaux hydrographiques jusqu'au 12° de latitude Nord, d'autre part.

En relation avec l'évolution défavorable, du Sud au Nord, des facteurs conditionnels (cf. 1.4.), les possi-

bilités d'érosion en direction du lac paraissent limitées au voisinage immédiat du réseau hydrographique, au ruissellement de juillet-août sur les berges, et à l'attaque de celles-ci par les courants. Cette faible participation des plaines alluviales aux exportations actuelles se traduit par l'évolution négligeable de la composition minéralogique des suspensions argileuses, qui enregistre un léger (un peu ou traces) enrichissement en montmorillonite, dominantes dans les plaines vertisoliques entre Logone et Chari ; elle se traduit aussi par des régimes du transport restés extrêmement originaux et liés à l'amont, quantitativement et temporellement, sur chacune des rivières.

Le transit de la totalité des matériaux même fins n'est plus assuré, ordinairement sur le Logone et en cas de forte crue sur le Chari, par suite de l'incapacité des lits mineurs à contenir la totalité des eaux de crues.

Les quantités totales annuelles de matériaux en suspension, au cours des deux années observées ont été de 2 600 000 t environ à l'arrivée au lac Tchad, si l'on admet que les pertes ont été négligeables en aval de Fort-Lamy. La moitié de ce tonnage provient du Logone ; celui-ci en a déjà abandonné autant, soit 1 300 000 t, depuis sa sortie du haut bassin. Près de 60% de l'apport au lac transitent à Fort-Lamy entre juillet et septembre (fig. 13).

Il serait prématuré d'évaluer les apports moyens interannuels ; nous dirons seulement que la variabilité de l'apport annuel apparaît réduit comme il a été observé à toutes les stations. Rappelons l'évaluation fournie par B. DUPONT [12] à partir de prélèvements hebdomadaires d'un litre en surface : 2 100 000 t en 1966 pour le Chari à Fort-Lamy. Si l'on tient compte de la faiblesse de l'hydraulicité du Chari cette année-là, comparable à celle de 1969, et d'une sous-estimation probable de 10 à 15% consécutive à l'absence de tarage, les chiffres apparaissent cohérents. La dégradation moyenne sur l'ensemble doit s'établir autour de 4 à 5 t/km<sup>2</sup>/an.

Enfin, la reconnaissance, dans le temps et dans l'espace, de la nature kaolinique des suspensions argileuses héritées de l'amont et exportées vers le lac (Annexe, tabl. XI), et d'autre part l'existence d'une sédimentation argileuse lacustre à montmorillonite dominante [13], pose au géologue le problème de la néoformation de montmorillonite en milieu lacustre. Il ne faut pas oublier sur ce point que l'érosion des berges sur le cours inférieur du Logone et du Chari, si elle n'est pas négligeable, peut fournir de la montmorillonite aux dépens des alluvions du bourrelet de rive.



## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Altération, érosion, transport, sédimentation dans un bassin continental endoréique : la cuvette tchadienne. Rapport préliminaire 1970. ORSTOM-Fort-Lamy. Congrès de géologie africaine, Université d'Ibadan (Nigeria).
- [2] TOUCHEBEUF (P.) *et coll.* - 1969 - Monographie hydrologique du lac Tchad. ORSTOM, Service Hydrologique, Paris. 3 tomes, 300 p. multigr.
- [3] BOUCHARDEAU (A.) *et coll.* - 1967-68 - Monographie hydrologique du Logone. ORSTOM, Service Hydrologique, Paris. Pour Secr. d'Etat aux Affaires étrangères chargé de la Coopération. 6 parties en 8 vol. multigr., 770 p. et annexes.
- [4] BILLON (B.) *coll.* - 1968-69 - Monographie hydrologique du Chari. ORSTOM, Service Hydrologique, Paris. 5 parties en 6 vol. multigr., 610 p. et annexes.
- [5] BILLON (B.) - 1968 - Mise au point des mesures de débits solides en suspension (République du Tchad). *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, vol. V, n° 2.
- [6] COLOMBANI (J.) - 1967 - Contribution à la méthodologie des mesures systématiques des débits solides en suspension. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, vol. IV, n° 2.
- [7] NOUVELOT (J. F.) - 1969 - Mesure et étude des transports solides en suspension au Cameroun. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, vol. IV, n° 4.
- [8] GAC (J. Y.) *et al.* - 1970 - Les transports solides de l'Ouham à Batangafo. Centre ORSTOM de Bangui.
- [9] BERTHELOT (R.) - 1958 - Etude hydrologique du Bahr Azoum. ORSTOM, Service Hydrologique, Paris.
- [10] BERTHELOT (R.) - 1956 - Mesure de débits solides sur le Logone. Rapport multigr. Centre ORSTOM de Fort-Lamy.
- [11] CALLEDE (J.), GRÉARD (M.) - 1969 - Bassin versant représentatif de Sarki. Campagne 1969. Rapport multigr., Centre ORSTOM de Bangui.
- [12] DUPONT (B.) - 1967 - Premières observations sur la physico-chimie du Chari et du Logone (juillet 1965-mars 1967). Centre ORSTOM de Fort-Lamy.
- [13] DUPONT (B.) - 1970 - Distribution et nature des fonds du lac Tchad (nouvelles données). *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, vol. II, n° 2.

## TABLEAU XI

## RÉSULTATS D'ANALYSES MINÉRALOGIQUES

(Laboratoires de l'O.R.S.T.O.M. à Bondy)

(\* Dessiccation des échantillons à température inférieure à 50 °C)

## CHAGOUA (Chari).

23 juin 1970.

C 1 Kaolinite,  
un peu d'illite,  
un peu de montmorillonite,  
un peu de calcite,  
quartz,  
traces de feldspaths,  
(probablement produits amorphes).

17 juillet 1970.

C 2 Kaolinite,  
un peu d'illite,  
un peu de montmorillonite,  
quartz,  
un peu de feldspaths,  
(probablement produits amorphes).

31 juillet 1970.

C 3 \* Kaolinite (un peu plus importante que dans les précédents),  
un peu de montmorillonite,  
un peu d'illite,  
quartz,  
traces de feldspaths,  
(probablement produits amorphes).

7 août 1970.

C 4 \* Kaolinite (identique à C 3),  
un peu de montmorillonite,  
traces d'illite,  
un peu de quartz,  
traces de feldspaths,  
(probablement produits amorphes).

9 septembre 1970.

C 7 \* Kaolinite (légèrement supérieure à C 3 et C 4),  
traces de montmorillonite,  
traces d'illite,  
quartz,  
traces de feldspaths,  
(probablement produits amorphes).

2 octobre 1970.

C 9 Kaolinite (moins qu'aux précédents),  
traces de montmorillonite,  
traces d'illite,  
quartz important,  
feldspaths,  
(probablement produits amorphes).

21 novembre 1970.

C 12 \* Kaolinite (comme C 3 et C 4),  
un peu d'illite,  
traces de montmorillonite,  
quartz,  
un peu de feldspaths,  
(probablement produits amorphes).

FORT-FOUREAU (Logone).

22 juin 1970.

F 1 Kaolinite,  
traces d'illite,  
traces possibles de montmorillonite,  
un peu de gibbsite,  
quartz,  
un peu de feldspaths,  
(probablement produits amorphes).

31 juillet 1970.

F 2 Kaolinite,  
un peu de montmorillonite,  
un peu d'illite,  
un peu de gibbsite,  
quartz,  
un peu de feldspaths,  
(probablement produits amorphes).

7 août 1970.

F 3 \* Kaolinite,  
traces d'illite,  
traces de montmorillonite,  
traces de gibbsite,  
un peu de calcite,  
quartz,  
un peu de feldspaths.

9 septembre 1970.

F 7 \* Kaolinite,  
traces de montmorillonite,  
traces d'illite,  
traces possibles de gibbsite,  
quartz,  
un peu de feldspaths,  
(probablement produits amorphes).

25 septembre 1970.

F 9 \* Kaolinite,  
traces de montmorillonite,  
traces d'illite,  
un peu de quartz,  
un peu de feldspaths,  
(probablement produits amorphes).

16 octobre 1970.

F 11 Kaolinite,  
illite,  
traces possibles de montmorillonite,  
quartz important,  
feldspaths,  
(probablement produits amorphes).

13 novembre 1970.

F 13 Kaolinite,  
illite,  
quartz important,  
un peu de feldspaths,  
(probablement produits amorphes).

21 novembre 1970.

F 14 \* Kaolinite,  
un peu de montmorillonite,  
traces d'illite,  
traces possibles de gibbsite,

quartz,  
un peu de feldspaths,  
(probablement produits amorphes).

22, 24, 29, 31 décembre 1970.

F 15 Kaolinite,  
un peu d'illite,  
un peu de montmorillonite,  
un peu de gibbsite,  
quartz,  
traces de feldspaths,  
(probablement produits amorphes).

MOUNDOU (Logone).

16 juin 1970.

M 1 Kaolinite,  
traces d'illite,  
traces de montmorillonite,  
un peu de gibbsite,  
un peu de goethite,  
quartz,  
feldspaths,  
(probablement produits amorphes).

1<sup>er</sup> juillet 1970.

M 2 Kaolinite,  
un peu d'illite,  
un peu de gibbsite,  
un peu de goethite,  
quartz,  
traces de feldspaths,  
(produits amorphes peut-être avec traces de montmorillonite très mal cristallisée).

16 juillet 1970.

M 3 Kaolinite,  
un peu d'illite,  
un peu de gibbsite,  
un peu de goethite,  
quartz,  
un peu de feldspaths,  
(produits amorphes peut-être avec des traces de montmorillonite très mal cristallisée).

30 juillet 1970.

M 4 Kaolinite,  
un peu d'illite,  
un peu de gibbsite,  
traces de goethite,  
quartz,  
un peu de feldspaths,  
(produits amorphes peut-être avec un peu de montmorillonite très mal cristallisée).

14 août 1970.

M 6 \* Kaolinite,  
traces de montmorillonite,  
traces d'illite,  
traces de gibbsite,  
quartz,  
un peu de feldspaths,  
(produits amorphes probablement).

Aspects du régime des apports fluviaux de matériaux solides vers le lac Tchad

26 août 1970.

M 8 \* Kaolinite,  
traces de montmorillonite,  
traces d'illite,  
un peu de gibbsite,  
quartz,  
feldspaths,  
(probablement produits amorphes).

13 septembre 1970.

M 10 \* Kaolinite,  
traces d'illite,  
traces de feldspaths,  
(probablement produits amorphes).

MANDA (Ouham).

13 juin 1970.

MA 1 Kaolinite,  
un peu d'illite,  
quartz,  
(probablement produits amorphes).

27 juin 1970.

MA 2 Kaolinite,  
un peu d'illite,  
quartz,  
(probablement produits amorphes).

25 juillet 1970.

MA 5 Kaolinite,  
un peu d'illite,  
quartz,  
(probablement produits amorphes).

23 août 1970.

MA 6 \* Kaolinite,  
traces d'illite,  
quartz,  
(probablement produits amorphes).

13 octobre 1970.

MA 10 \* Kaolinite,  
traces d'illite,  
quartz,  
(probablement produits amorphes).