

Les débits solides du fleuve Congo ⁽¹⁾

par

R. VAN GANSE,

*Ingénieur civil chimiste A.I.G.
Secrétaire général-adjoint de l'Institut National d'Etudes
pour le développement du Bas-Congo.*

1. — INTRODUCTION.

La connaissance du débit solide du fleuve Congo est nécessaire pour la conception des dispositifs de l'aménagement hydro-électrique d'Inga.

Il importe, en effet, de savoir s'il y a lieu de craindre des dépôts de matières décantées dans les ouvrages en amont des centrales électriques, susceptibles de modifier dans le temps les caractéristiques hydrauliques de ces ouvrages; et s'il y a lieu de prévenir ces dépôts par des dispositions appropriées, ou bien d'en prévoir l'évacuation périodique.

Il est utile de connaître également la nature des substances solides susceptibles d'être présentes dans les eaux passant à travers les turbines, afin de juger s'il n'en résultera pas une usure anormale de ces machines.

Enfin, la connaissance des débits solides intéresse également les industries consommatrices de courant électrique d'Inga qui s'implanteront sur les rives du fleuve Congo et qui utiliseront ces eaux.

Le débit solide, c'est-à-dire la quantité de substances solides transportées par les eaux en l'unité de temps, obéit à d'autres lois que le débit liquide des cours d'eau.

En particulier, l'équation de continuité ne peut être appliquée a priori au débit solide. En effet, si le cours d'eau présente des biefs où la section mouillée s'agrandit et où, par conséquent, la vitesse du courant diminue, une partie du débit solide se déposera sous forme d'alluvions.

C'est le cas, pour le fleuve Congo, de la cuvette centrale, dont le fond a été rehaussé, au cours des ères géologiques, par les solides amenés par les cours supérieurs du Congo et de ses affluents.

(*) Communication présentée au Colloque International « Barrages et bassins de retenue » organisé à Liège du 4 au 5 mai 1959 par l'Université de Liège. — Edit. Vaillant-Carmanne, Liège, 1959.

Reproduit par courtoisie autorisation de l'Université de Liège.

D'autre part, le débit solide ne provient pas uniquement des eaux de ruissellement qui apportent aux affluents des particules et des fragments de terres et de roches arrachés à la surface du sol par l'érosion. Une autre partie du débit solide se crée dans le lit même du cours d'eau, par l'érosion du lit et des berges.

C'est donc avec une très grande prudence que des observations relatives à un endroit donné doivent être interprétées, car on se trouvera généralement, et surtout en Afrique, dans l'ignorance de la stabilité relative du lit et de l'allure, dans le temps, de ses modifications.

2. — INVESTIGATIONS ANTERIEURES.

Les observations des débits solides du Congo n'ont pas été nombreuses dans le passé (1) ⁽¹⁾.

Un résumé fort complet en a été établi en 1941 (2).

Une étude importante a été effectuée en décembre 1938 et janvier 1939, en époque de hautes eaux donc, par M. R. SPRONCK (3). Cet auteur a déterminé les transports de matériaux en suspension, ainsi que les transports de fond, dans trois passes de la région divagante en aval de Boma, à savoir celles du Congo-Yella, de Mayaudon et de Matebamont, qui totalisent à peu de chose près le débit total du fleuve Congo. Voici les chiffres indiqués :

	Matériaux en suspension	Transport de fond
Passe Congo-Yella . . .	35,5 g/m ³ soit 400 kg/s	10 kg/s
Passe Mayaudon . . .	32 g/m ³ soit 370 kg/s	20 kg/s
Passe Mateba-amont . .	100 g/m ³ soit 1950 kg/s	150 kg/s

L'auteur évalue la masse totale des substances solides traversant la région divagante à 3 millions de tonnes par an pour le charriage sur le fond (100 kg/s) et 47 millions de t par an pour les matières en

(1) Les chiffres entre () renvoient à la bibliographie en dernière page.

de la détermination, par analyse, de la quantité,
de la nature et de l'état de division des substances
solides en suspension.

Pour ces opérations, la brigade d'études de l'Institut peut disposer, à partir de mars 1958, d'une turbisonde « Neyrpic », appartenant au Service des Voies navigables. Cet appareil permet, au moyen d'un dispositif à air comprimé, de prélever des échantillons « complets » de l'eau, c'est-à-dire n'ayant subi aucune déperdition d'éléments y contenus à diverses profondeurs.

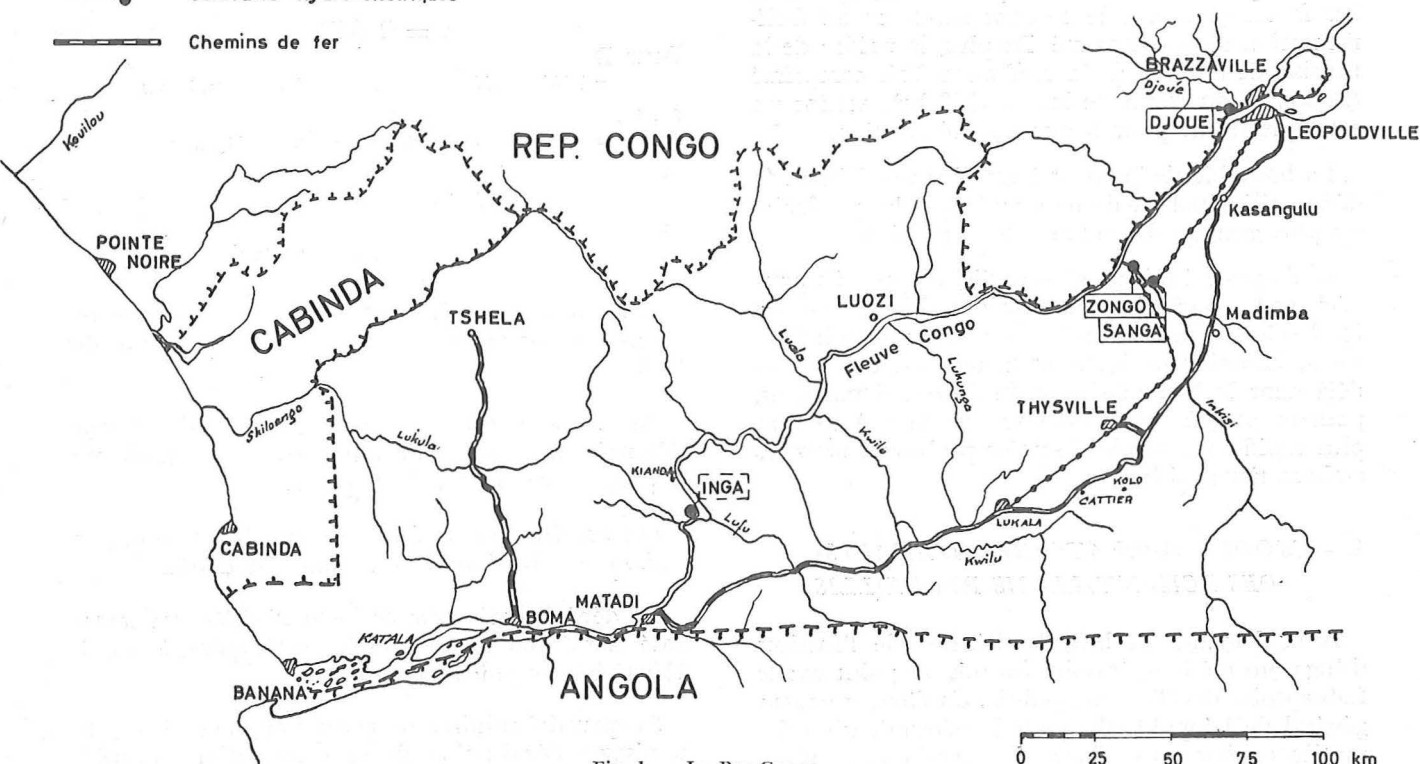
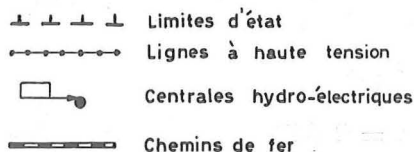


Fig. 1. — Le Bas-Congo.

D'importantes difficultés matérielles entourent ces opérations. Elles proviennent, en premier lieu, des énormes dimensions du fleuve, et de son caractère tumultueux entre Léopoldville et Matadi (fig. 1). Ce bief accidenté comporte une dénivellation d'environ 270 m, soit 0,77 m/km; dans la région d'Inga les biefs les plus calmes, accessibles — avec beaucoup de précautions — à des embarcations légères, accusent des vitesses de l'ordre de 2 à 4 m/s à la surface. Les profondeurs du fleuve sont importantes : elles dépassent 25 m dans la section de jaugeage de Léopoldville-Kalina (fig. 2) et 90 m à Kianda, dans le dernier bief relativement calme en amont des rapides de la boucle d'Inga.

Il importe de connaître la vitesse du courant et le débit liquide au moment des prélèvements; ceux-ci sont donc pratiqués, pour autant que possible, lors des opérations de jaugeage visant à établir le débit liquide du fleuve (4).

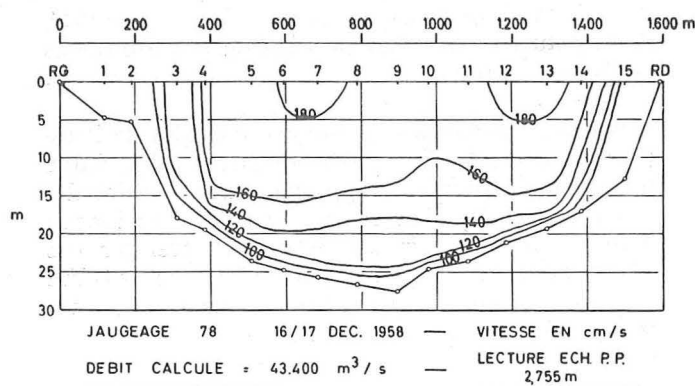


Fig. 2. — Profil de jaugeage à Léopoldville-Kalina.

L'emploi de la turbisonde Neyrpic devient difficile lorsque la profondeur dépasse 20 m, en raison des forces qu'exerce le courant sur le tuyau d'alimentation d'air comprimé. De plus, le poids : de la turbisonde (90 kg), de la bonbonne d'air comprimé (80 kg) et du treuil de levage (150 kg), atteint un total prohibitif pour les petites embarcations.

La bouteille de Delft n° 1 est plus maniable; son défaut principal est de ne retenir que les particules les plus grandes des solides en suspension.

Il n'a pas été fait usage jusqu'ici d'appareils pour l'échantillonnage du charriage de sable le long du fond. Ces appareils : piège Luders, appareil Van Veen, bouteille de Delft n° 2, qui ont été utilisés déjà dans le bief maritime du fleuve, demandent, pour ne pas être entraînés dans des biefs à courant plus rapide, un lestage de poids prohibitif pour les embarcations utilisables.

4. — MODES OPERATOIRES D'ANALYSE DES ECHANTILLONS RECUEILLIS.

A la demande la brigade d'études de l'Institut d'Inga, un mode opératoire fut mis au point par le Laboratoire des Travaux publics du Gouvernement général de Léopoldville, pour la détermination des matières contenues dans de nombreuses séries d'échantillons.

Un prélèvement d'orientation avait indiqué une teneur en solides de l'ordre de 25 mg/l et une teneur en matières dissoutes de l'ordre de 50 mg/l.

Un grain de sable de 300 microns de diamètre pèse environ 40 microgrammes; de ce fait, la perte d'un seul grain influencerait fâcheusement des dosages effectués sur des quantités de l'ordre de milligrammes.

Il fut donc décidé de travailler sur des quantités de l'ordre du décigramme, nécessitant des échantillons de 4 litres d'eau.

Les récipients contenant les échantillons d'eaux furent laissés au repos pendant 6 jours.

D'après la formule de Stokes :

$$v = \frac{9}{2} g a^2 \frac{d_1 - d_2}{\eta}$$

où :

v = la vitesse d'une particule sphérique en cm/s,
 g = la constante gravitationnelle = 978 cm/s² au Congo,
 a = le rayon de la particule sphérique en cm,
 η = la viscosité du liquide en poises (g/cm/s) soit 0,894 . 10⁻² pour l'eau à 25° C,
 d_1 = la densité de la particule, soit 2,65 g/cm³ pour le quartz,
 d_2 = la densité de l'eau, soit 1 à moins de 10⁻³ près,
 $D = 2a$ = le diamètre de la particule en cm,
on trouve : $v = 10.028 D^2$ cm/s,
soit, à environ 0,3 % près :

$$v = (100 D)^2$$

Pour D					
= 1.000	100	10	1	0,1	microns
on a :					
$v =$	100	1	0,01	0,0001	0,000001 cm/s
ou					
	3.600	36	0,36	0,0036	cm/heure
ou					
			8,764	0,08764	cm/jour

Toutefois, à partir de 1 micron, le mouvement brownien commence à interférer avec la loi de Stokes.

Après 6 jours donc, les particules de 1 micron sont décantées avec certitude d'une colonne liquide ne dépassant par 50 cm de hauteur.

On procède alors à une prudente évacuation, par siphonnage du liquide surmontant le dépôt.

Le dépôt, repris avec de l'eau distillée, est transvasé dans une capsule tarée et évaporé à sec à 110° C jusque poids constant.

Sa quantité minime ne permet en général pas de tamisage; l'évaluation de sa composition granulométrique se fait donc sous le microscope.

Le dépôt, éventuellement retaré, est alors porté à 990° C au four électrique et maintenu à cette température pendant 1 heure; après quoi on détermine sa perte de poids, dite « perte au feu ».

La perte au feu est la suivante pour quelques substances qu'on peut rencontrer dans les eaux :

SiO ₂ (quartz)	néant
2SiO ₂ .Al ₂ O ₃ .2H ₂ O (kaolinite)	. . .	13,95 %
Fe(OH) ₃ (hydrate ferrique)	. . .	25,2 %
Al(OH) ₃ (gibbsite)	34,6 %
CaCO ₃ (carbonate de chaux)	. . .	44,0 %
Matières organiques	100 %

La perte au feu donne donc une indication rapide et utile sur la pureté d'un sable de quartz. Elle permet de déceler des différences entre des matières d'aspect similaire.

L'eau de décantation de l'échantillon est concentrée par évaporation, puis évaporée à sec dans une capsule tarée à 110° C; on trouve ainsi le poids des substances dissoutes. Parmi celles-ci sont donc comptées les matières colloïdales dont les grains ont un diamètre inférieur à 1 micron.

La détermination de la perte au feu de matières dissoutes peut contribuer à caractériser celles-ci à défaut d'analyse.

La détermination du pH se fait au pH-mètre à électrode de verre.

Il est apparu que les eaux du fleuve Congo sont légèrement acides par la présence d'anhydride carbonique libre dissous en quantité supérieure à la teneur en équilibre avec la pression partielle de ce gaz dans l'atmosphère. En l'absence de substances-tampons, la présence de l'anhydride carbonique abaisse le pH de l'eau jusque 6,2 environ.

Mais lorsque le récipient n'est pas hermétiquement fermé, ce gaz s'élimine pendant le transport et on trouve alors des pH voisins de la neutralité (7 à 7,5).

La détermination de l'acide carbonique libre se fait en laissant l'eau à essayer en contact prolongé avec du carbonate de calcium (marbre moulu). On dose le marbre dissous par titration de l'augmentation du titre alcalin de l'eau, en comparaison avec un essai en blanc.

Depuis peu, des échantillons ont été transmis au laboratoire Cebedeau à Liège pour analyse chimique complète.

5. — DESCRIPTION DES PRELEVEMENTS ET ANALYSES.

A. Prélèvements à la turbisonde Neyrpic dans la section de jaugeage de Kalina (fig. 3, 4, 5, 6).

5.1. — Prélèvement d'orientation du 11 mars 1958.

Ce prélèvement fut effectué lors de l'opération de jaugeage n° 51 : à la station n° 10, à 1.000 m de la rive belge.

Lecture de l'échelle de Léopoldville-Port public : 0,80 m, correspondant à un débit calculé de 29.200 m³/s.

L'échantillon d'eau remis à l'analyse avait été constitué par la réunion de 8 prélèvements, de 500 cm³ chacun, pris à 2, 5, 8, 10, 12, 15, 18 et 20 m de profondeur.

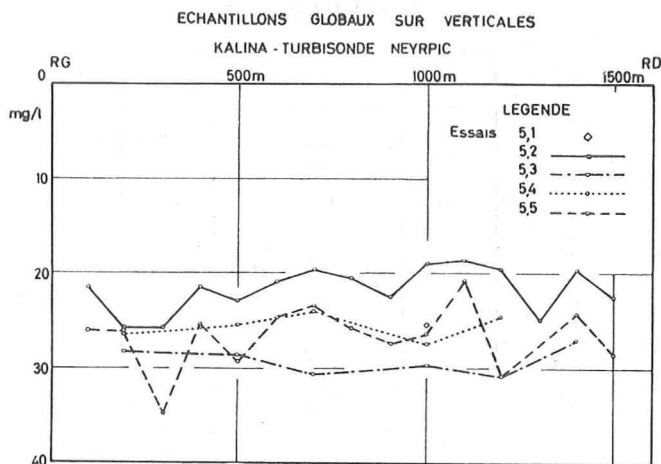


Fig. 3. — Teneur en solides d'échantillons globaux de verticales, prélevés à la turbisonde à Kalina.

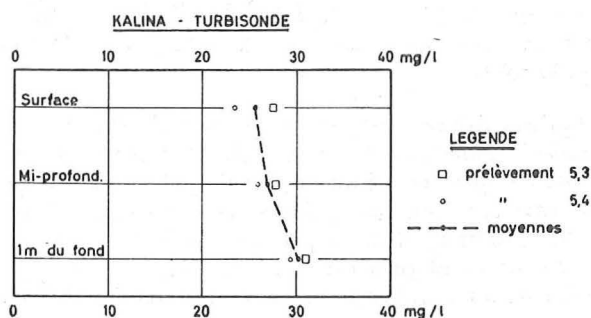


Fig. 4. — Teneur en solides en fonction de la profondeur. (Prélèvements à la turbisonde à Kalina.)

Analyse : Solides en suspension : 25,4 mg/l.
Perte au feu de ces solides : 23,4 %
Couleur avant calcination : ocre gris.
Couleur après calcination : rouge brique.

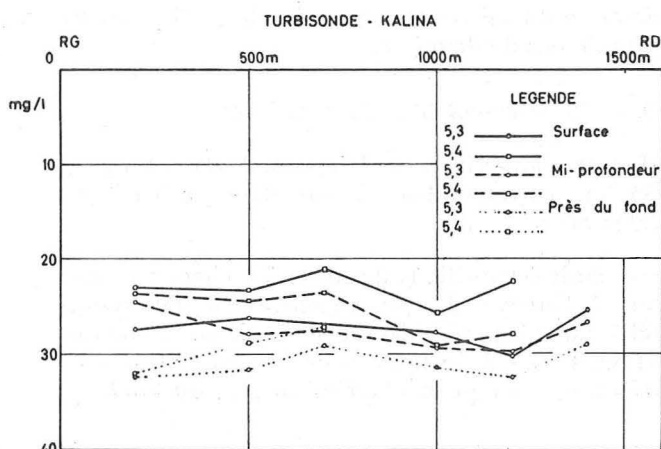


Fig. 5. — Teneur en solides en fonction de la distance de la rive gauche à diverses profondeurs. (Prélèvements à la turbisonde à Kalina.)

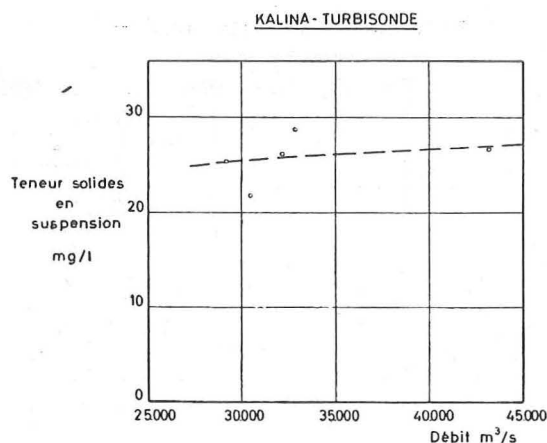


Fig. 6. — Teneur en solides en fonction du débit liquide.
(Prélèvements à la turbisonde à Kalina.)

5.2. — Prélèvement n° 1 des 27 et 28 mars 1958.

Lecture de l'échelle de Léopoldville-Port public : 1,00 m, correspondant à un débit calculé de 30.500 m³/s.

Quinze échantillons d'eau de 5 l chacun furent remis à l'analyse. Chaque échantillon avait été constitué par la réunion de 6 prélèvements de 800 cm³ environ, pris près de la surface, au 2/10, 4/10, 6/10 et 8/10 de la profondeur à la station de prélèvement, et près du fond. Ces stations de prélèvement au nombre de 15 étaient espacées de 100 mètres.

Analyse : Solides en suspension :

minimum 18,6 mg/l (Station n° 11),
maximum 25,8 mg/l (Station n°s 2 et 3),
moyenne : 21,8 mg/l,
écart-type des résultats autour de la moyenne : 2,3 mg/l.

Granulométrie : Le diamètre des grains va de 70 microns à 0,1 micron. La majorité des grains ont 10 à 30 microns de diamètre.

5.3. — Prélèvement n° 2 du 9 mai 1958.

Lecture de l'échelle de Léopoldville-Port public : 1,35 m, correspondant à un débit calculé de 32.900 m³/s.

Dix-huit échantillons d'eau de 5 l chacun furent remis à l'analyse. Ils provenaient de 6 stations de prélèvement espacées de 250 m environ. A chaque station, trois échantillons avaient été pris, un à la surface, un à mi-profondeur et un près du fond.

Analyse : Solides en suspension :

Echantillons de surface : moyenne 27,5 mg/l, écart-type 1,6 mg/l.

Echantillons de mi-profondeur : moyenne 27,7 mg/l, écart-type 1,8 mg/l.

Echantillons de près du fond : moyenne 31,1 mg/l, écart-type 1,4 mg/l.

Les écarts-types de ces moyennes s'obtiennent en divisant par $\sqrt{5}$ les écarts-types des résultats individuels, ce qui donne : 0,7, 0,8 et 0,6 mg/l respectivement.

Moyenne des moyennes : 28,8 mg/l.

Granulométrie : Le diamètre des grains va de 200 microns à moins de 1 micron; les échantillons prélevés près du fond contiennent quelques grains de 200 à 300 microns. La majorité des grains ont un diamètre compris entre 50 et 10 microns.

Tamissage de l'ensemble des solides décantés :

Calibre des grains	% en poids	Teneur correspondante
Plus de 594 microns	néant	0
297 à 594 microns	0,2 %	0,06 mg/l
149 à 297 microns	2,1 %	0,60 mg/l
74 à 149 microns	5,7 %	1,64 mg/l
moins de 74 microns	92,0 %	26,5 mg/l

On peut déduire de ces chiffres que l'eau de surface et de mi-profondeur contient très peu (moins de 2 mg/l) de grains de sable d'un diamètre de 74 microns ou davantage; que le sable recueilli provient des échantillons prélevés près du fond; et que la fraction inférieure à 74 microns a une concentration sensiblement constante, et voisine de 25 mg/l, quelle que soit la profondeur de prélèvement.

CO₂ agressif : 93 mg/l.

SO₄ : 1,26 mg/l.

pH à 25° C : 7,0 à 7,3 (réipients ouverts).

5.4. — Prélèvement n° 3 des 2 et 3 octobre 1958.

Lecture de l'échelle de Léopoldville-Port public : 1,25 m, correspondant à un débit calculé de 32.200 m³/s.

Vingt échantillons d'eau de 5 l chacun furent remis à l'analyse, à savoir deux échantillons représentant la moyenne de verticales à 100 m de la rive belge et de la rive française, deux échantillons prélevés en surface près des rives et quinze échantillons prélevés en cinq stations distantes de 250 m l'une de l'autre, à raison d'un échantillon de surface, un pris à mi-profondeur et un près du fond pour chaque station. Le dernier échantillon est un duplicata d'un des échantillons de surface.

Analyse : Solides en suspension :

Les échantillons représentant la moyenne de verticales contiennent 27,0 et 22,8 mg/l de solides.

Les deux échantillons pris en surface près des rives contiennent 19,8 et 12,5 mg/l de solides. La perte au feu de ces solides est 24 % et 28 % respectivement.

Les six autres échantillons de surface accusent 21,0 à 25,7 mg/l, moyenne 23,3 mg/l, écart-type 1,6 mg/l, écart-type de la moyenne : 0,7 mg/l.

Les cinq échantillons de mi-profondeur contiennent 23,6 à 29,1 mg/l, moyenne 25,7 mg/l, écart-type 2,3 mg/l, écart-type de la moyenne 1,1 mg/l.

Les deux échantillons pris en surface près des rives contiennent 19,8 et 85,2 et 324,2 mg/l. Il est certain que pour les deux derniers, l'orifice de la turbisonde a touché le fond du fleuve et livré accès à des matériaux du fond. En effet, on trouve dans ces deux échantillons une majorité de grains de sable de 200 à 450 microns. Il ne sera donc pas tenu compte de ces deux résultats. Les trois autres résultats donnent une moyenne de 29,3 mg/l avec un écart-type de 2,1 mg/l, écart-type de la moyenne : 1,1 mg/l.

La teneur moyenne, calculée à partir des moyennes des échantillons de surface, de mi-profondeur et de près du fond s'élève à 26,1 mg/l avec un écart-type de 1 mg/l environ sur cette moyenne.

Granulométrie.

A part les deux échantillons du fond dont les solides sont surtout du sable gros, les grains de matières en suspension ont des diamètres allant de 200 microns à moins de 1 micron, avec une prédominance des grains de 1 à 10 microns.

Perte au feu.

La perte au feu des matières solides décantées varie entre 21 % et 33 %, sauf pour les deux échantillons du fond riches en gros sable, pour lesquels elles n'est que 9,6 % et 4,5 %.

Pour les huit échantillons prélevés en surface, la perte au feu moyenne est 22,3 %; pour les sept échantillons prélevés à mi-profondeur, cette moyenne est 24,9 %; pour les cinq échantillons prélevés près du fond, elle est 16,9 %. La perte au feu moyenne des vingt échantillons est 21,9 %.

Substances dissoutes : 73,4 mg/l.

Perte au feu de ces substances : 35,1 %.

pH à 25° C : 6,6 à 7,0 (réipients ouverts).

CO₂ agressif : 13,2 à 18,9 mg/l, moyenne 15,5 mg/l.

5.5. — Prélèvement n° 4 des 18 et 19 novembre 1958.

Ce prélèvement a été effectué lors du jaugeage n° 77, qui a donné comme débit du fleuve 42.400 m³. (Lecture de l'échelle de Léopoldville-Port public : 2,74 m, débit calculé : 43.200 m³/s.)

Dix-sept échantillons ont été remis à l'analyse. Deux d'entre eux ont été obtenus en déposant la turbisonde sur le fond du fleuve, l'orifice se trouvant à 0,15 m au-dessus du fond. Les quinze autres échantillons ont été prélevés dans chacune des quinze stations distantes de 100 m l'une de l'autre. À chaque station, deux prélèvements de la surface, deux à mi-profondeur et deux près du fond ont été remis.

Analyse : Solides en suspension.

Pour les quinze échantillons globaux des verticales on a trouvé 20,3 à 34,8 mg/l, moyenne 26,7 mg/l, écart-type 3,3 mg/l. L'écart-type de cette moyenne est donc 3,3 : $\sqrt{14} = 0,9$ mg/l.

Les deux échantillons prélevés tout près du fond ont donné 164 et 130 mg/l, moyenne 147 mg/l, écart-type des résultats et de la moyenne 17 mg/l.

Granulométrie.

Les grains de matières en suspension ont des diamètres allant de 200 microns à moins de 1 micron, avec prédominance d'éléments de 1 à 10 microns. Dans deux des échantillons globaux cependant, du sable fin, de 500 à 100 microns, est la matière prédominante.

Perte au feu.

La perte au feu des solides des échantillons globaux se situe entre 16 et 29 %, sauf pour les deux échantillons riches en sable fin, où elle n'est que 10 % et 6 %.

La moyenne générale de la perte au feu des échantillons globaux (dont un seul a été perdu accidentellement avant cet essai) est 18,5 %.

Substances dissoutes : 60,6 mg/l.

Perte au feu de ces substances : 28,7 %.

pH à 25° C : 6,3 à 6,7 (flacons bouchés),

7,1 à 7,3 (flacons ouverts).

B. Prélèvements à la bouteille de Delft dans la section de jaugeage de Kalina (fig. 7).

5.6. — Prélèvement n° 4 des 18 et 19 novembre 1958.

Ce prélèvement a eu lieu en même temps que celui effectué à la turbisonde, lors du jaugeage n° 77. (Lecture de l'échelle de Léopoldville-Port public : 2,74 m; débit mesuré 42.400 m³/s; débit calculé 43.200 m³/s.)

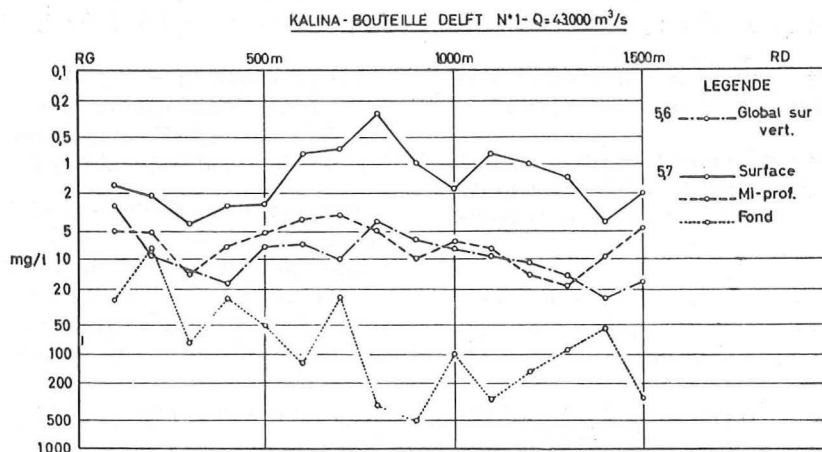


Fig. 7. — Teneur en sable en fonction de la distance de la rive gauche, à diverses profondeurs. (Prélèvements à la bouteille de Delft n° 1 à Kalina.)

Quinze échantillons de sables extraits de la bouteille de Delft ont été remis à l'analyse. Ils ont été prélevés à quinze stations distantes de 100 m l'une de l'autre. Chaque échantillon est censé représenter globalement la verticale.

Les quantités recueillies de sable varient de 0,264 g à 5,691 g avec une seule exception : l'échantillon de la station n° 3 donne 26,360 g. En écartant ce résultat on trouve comme moyenne des quatorze autres échantillons 2,5 g avec un écart-type de 1,5 g.

La bouteille de Delft était munie d'un tuyau d'admission dont l'orifice a 15,5 mm de diamètre soit 188,6 mm² de section. La durée d'immersion a été 15 minutes = 900 secondes. Les vitesses moyennes du courant sur les verticales des stations sont connues également; elles allaient de 0,577 à 1,786 m/s. Le produit de ces trois facteurs représente le volume d'eau qui a traversé la bouteille de Delft pendant l'immersion. Ces volumes vont de 97,9 à 303,1 litres.

En divisant les quantités de sable recueillies par les volumes d'eau par lesquels ils ont été fournis, on trouve les teneurs en sable de l'eau pour les diverses verticales.

Ces teneurs vont de 2,7 à 25,4 mg/l; la moyenne trouvée pour les quatorze échantillons retenus est 10,8 mg/l, avec un écart-type de 5,7 mg/l.

L'écart-type de cette moyenne est donc :

$$5,7 : \sqrt{13} = 1,6 \text{ mg/l.}$$

Perte au feu.

La perte au feu des quinze échantillons de sable varie entre 0,3 % et 8,6 %, avec une moyenne de 2,45 %.

Granulométrie.

Les matières recueillies sont des grains de sable de quartz dont le diamètre va de 300 à 70 microns,

et qu'accompagnent de petites quantités de particules plus fines. Les grains d'un calibre de 100 à 150 microns prédominent.

5.7. — *Prélèvement n° 5 des 16 et 17 décembre 1958.*

Lecture de l'échelle du Port public de Léopoldville : 2,76 m, correspondant à un débit mesuré de 42.300 m³/s et à un débit calculé de 43.300 m³/s. Ce prélèvement a eu lieu lors du jaugeage n° 78.

Quarante-cinq échantillons ont été remis à l'analyse, prélevés à raison de trois, un à la surface, un à la mi-profondeur et un près du fond en chacune des quinze stations espacées de 100 m.

Les quantités de sable recueillies étaient :

Surface : 0,114 à 2,421 g, moyenne 0,911 g, écart-type 0,66 gr;

Mi-profondeur : 1,1 à 11,7 g, moyenne 4,2 g, écart-type 2,8 g;

Près du fond : 11,3 à 250,2 g, moyenne 68,3 g, écart-type 64 g.

Le tuyau d'admission de la bouteille de Delft avait cette fois 22 mm de diamètre soit 380 mm² de section. La durée d'immersion était 15 minutes = 900 secondes. Les vitesses du courant s'échelonnent entre 0,453 et 1,943 m/s. Il en résulte des volumes d'eau ayant traversé la bouteille allant de 154,9 l à 664,4 l.

Les quotients de division des quantités de sable par les volumes d'eau donnent les teneurs comme suit :

Surface : 0,27 à 4,32 mg/l, moyenne 1,85 mg/l, écart-type 1,2 mg/l;

Mi-profondeur : 3,4 à 19,7 mg/l, moyenne 8,1 mg/l, écart-type 4,5 mg/l;

Près du fond : 8 à 505 mg/l, moyenne 149 mg/l, écart-type 146 mg/l.

Les écarts-types de ces moyennes s'obtiennent en divisant par $\sqrt{14}$ les écarts-types des résultats individuels : on trouve 0,4 mg/l, 1,3 mg/l et 43 mg/l respectivement.

En multipliant ces écarts par la valeur 2,15 que la fonction t de Student a 95 % de probabilité d'atteindre avec 14 degrés de liberté, on obtient les limites de confiance à 95 % des teneurs en sable :

En surface : $1,85 \pm 0,85$ mg/l, soit entre 1,0 et 2,7 mg/l;
A mi-profondeur : $8,1 \pm 2,7$ mg/l, soit entre 5,4 et 10,8 mg/l;
Près du fond : 149 ± 92 mg/l, soit entre 57 et 241 mg/l.

Perte au feu.

La perte au feu des matières recueillies varie entre 0,17 % et 6,29 %. La perte au feu moyenne des échantillons prélevés en surface, à mi-profondeur et près du fond atteint 1,72 %, 0,65 % et 0,53 % respectivement; la moyenne générale des 45 échantillons est 0,96 %.

Granulométrie.

Echantillons de surface : 300 à 50 microns. Calibre dominant : 100 microns.

Echantillons de mi-profondeur : 400 à 50 microns. Calibre dominant 150 microns.

Enfin, voici, sous A, les moyennes des résultats du tamisage des cinq échantillons les plus volumineux prélevés près du fond; et d'autre part, sous B, les résultats du tamisage de l'ensemble des quarante-cinq échantillons, dans lequel les échantillons du fond interviennent à concurrence de 94 % en poids :

Calibre :	A	B
Supérieur 4 2,38 mm	06 %	0,4 %
2,38 à 1,19 mm	3,2 %	1,6 %
1,19 à 0,595 mm	11,6 %	4 %
0,595 à 0,297 mm	49,4 %	16 %
0,297 à 0,149 mm	30,6 %	55 %
0,149 à 0,074 mm	2,2 %	20 %
inférieur à 0,074 mm	2,4 %	3 %

La loi suivant laquelle la quantité de sable en suspension croît avec la profondeur nous est inconnue. En comparant les moyennes, nous constatons que, par unité de volume, il a été trouvé 4,4 fois plus de sable à mi-profondeur qu'à la surface; et que, près du fond, il en a été trouvé 18,3 fois plus qu'à mi-profondeur.

Si tous les grains de sable avaient le même calibre, et si la profondeur du lit était constante, on pourrait s'attendre à une loi exponentielle assez simple, du type :

$$y = A \exp (- Bh)$$

où y serait la concentration des grains en mg/l, h la hauteur au-dessus du fond, A et B des constantes.

On peut concevoir, en effet, que l'action simultanée d'un grand nombre de tourbillons d'énergie variable, conduite à une répartition statistique du nombre de grains en fonction de la profondeur, l'énergie potentielle des grains étant proportionnelle à leur élévation au-dessus du fond.

La notion de « distance de mélange » de Prandtl, dérivée également de la théorie cinétique des gaz, conduit à la même conclusion.

En réalité, plus les grains de sable sont ténus, plus ils ont des chances d'être soulevés jusqu'à près de la surface des eaux. D'autre part, la profondeur du fleuve n'est évidemment pas uniforme; cependant, dans la section de Kalina, à partir d'environ 300 m de chaque rive, elle se maintient, grosso modo, entre 20 et 27 m en moyennes eaux.

En posant $z =$ le rapport de h à la profondeur totale ($0 \leq z \leq 1$), on peut mener à travers les points figuratifs des moyennes ($z = 0$, $y = 148,7$), ($z = 0,5$, $y = 8,14$) ($z = 1$, $y = 1,85$), une exponentielle de la forme :

$$y = A \exp [- Bz(I - Cz)]$$

où les constantes ont les valeurs suivantes :

$$A = 148,7 \text{ mg/l}, \quad B = 7,234, \quad C = 0,393.$$

Ces valeurs numériques ne sont que les plus probables, résultant des moyennes constatées. En raison de la dispersion des données, la valeur de la constante C , qui représente l'influence de l'abondance relative des grains les plus fins, n'est pas significativement différente de zéro. De toute façon, $(1 - Cz)$ est assez loin de l'unité.

Le principal intérêt de cette fonction (fig. 8) est qu'elle permet de calculer l'abscisse moyenne y_m entre les ordonnées $z = 0$ et 1. On trouve

$$y_m = 0,1626 \times 148,7 \text{ mg/l} = 24,2 \text{ mg/l},$$

correspondant à l'ordonnée $z = 0,27$.

Cette série de prélèvements est la seule jusqu'ici qui soit suffisamment complète pour donner un aperçu de la répartition du sable en suspension en fonction de la profondeur.

Il y a lieu de s'attendre à ce que des séries ultérieures de prélèvements analogues, à effectuer dans d'autres biefs du fleuve ou dans d'autres conditions de débit liquide et de vitesse de courant, fournissent, pour les paramètres de la fonction des teneurs en fonction de la profondeur, des valeurs différentes de celles trouvées ici.

Peut-être sera-t-il possible alors d'établir une relation entre ces paramètres et la vitesse du courant; ce qui permettrait une évaluation, à partir de la vitesse du courant, de la teneur en sable en fonction de la profondeur dans des endroits où la nature oppose trop de difficultés au prélèvement d'échantillons.

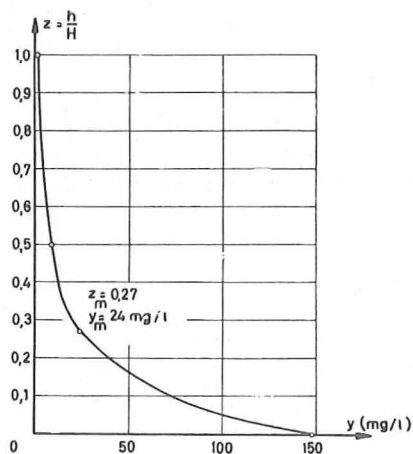


Fig. 8. — Allure de la teneur en sable en fonction de la profondeur à Kalina.

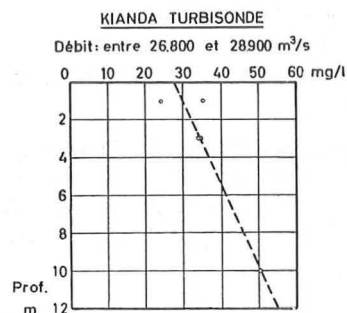


Fig. 9. — Teneur en solides en fonction de la profondeur à Kianda. (Prélèvements à la turbisonde.)

C. Prélèvements à Inga (Kianda).
a) A la turbisonde Neyrpic (fig. 9).

Prélèvement n°	5.81	5.82	5.83	5.84	5.85
Date	21-8-58	23-8-58	9-10-58	9-10-58	10-10-58
Echelle Kianda, m	3,40	3,60	4,28	4,28	4,30
Echelle Léo PP, m	0,41	0,48	0,73	0,73	0,74
Débit à Léo, m ³ /s	26.800	27.200	28.900	28.900	28.800
Vitesse moyenne, m/s	—	—	—	—	—
Distance de la rive, m	—	—	—	—	—
Profondeur, m	1	1	3	3	10
Substances solides, mg/l	24,1	35,3	34,6	34,0	50,2
Perte au feu de celles-ci	21 %	15,5	22,8	22,4	17,7
<i>Granulométrie :</i>					
Diamètre maximum, microns	350	350	200	200	200
Diamètre minimum, microns	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Diamètre de la plupart des grains, microns . . .	10 à 100	10 à 100	1 à 10	1 à 10	1 à 10
Substances dissoutes, mg/l	55,0	55,0	55,4	56,2	55,7
Perte au feu de celles-ci	51,2	51,2	44,8	45,0	44,8
pH à 25° C	7,6 (1)	7,6 (1)	7,5 (1)	7,5 (1)	7,5 (1)
CO ₂ agressif mg/l			11,7	11,7	

(1) Récipient ouvert.

b) *A la bouteille de Delft n° 1.*

5.9. — Prélèvement du 11 décembre 1958.

Lectures d'échelle : Kianda 9,90 m correspondant à 2,94 m à l'échelle de Léopoldville (P. P.) et à un débit, à Léopoldville, de 45.700 m³/s.

Quatre échantillons ont été prélevés, tous à 2 m de profondeur, à des distances croissantes, mais non précisées, de la rive droite.

Substances solides recueillies : 697, 399, 851 et 628 mg; moyenne : 645 mg; écart-type : 160 mg.

Perte au feu de ces substances : 1,2, 1,8, 1,5 et 2,8 %; moyenne, 1,8 %; écart-type : 0,6 %.

Le diamètre du tube de la bouteille de Delft était 15,5 mm; la durée d'immersion était 5 minutes.

La vitesse du courant a été estimée à 3,5 m/s.

Le produit de ces trois facteurs donne 198 l comme volume de l'eau ayant traversé la bouteille de Delft.

Il en résulte comme teneurs en sable : 3,5, 2,0, 4,3 et 3,2 mg/l, moyenne 3,25 mg/l, écart-type 0,8 mg/l.

Cette moyenne est 1,75 fois plus grande que celle qui fut trouvée en surface à Léopoldville-Kalina quelques jours plus tard (voir 5.7).

La granulométrie des sables recueillis va de 350 à 20 microns.

La fraction prédominante est comprise entre 150 et 50 microns.

5.10. — Prélèvement du 20 janvier 1959.

Lecture d'échelle : Kianda 7,33 m, correspondant à 1,90 à l'échelle de Léopoldville-Port public et à un débit, à Léopoldville, de 36.800 m³/s.

Quatre échantillons ont été prélevés, tous à 2 m de profondeur :

Distance de la rive droite :				
	150 m	200 m	300 m	450 m
Vitesse en surface, m/s :				
	2,09	2,00	1,92	0,96
Solides recueillis, mg :				
	303	643	775	611

Moyenne : 583 mg; écart-type : 173 mg.

Les teneurs obtenues en divisant les quantités recueillies par les produits de la section du tube (15,5 mm diamètre), le temps d'immersion (300 s) et les vitesses du courant donnent les teneurs : 2,6, 5,7, 7,1 et 11,2 mg/l; moyenne 6,64 mg/l; écart-type 3,1 mg/l.

Granulométrie.

De 400 à 20 microns. La fraction prédominante se situe entre 250 et 100 microns, sauf pour l'échantil-

lon prélevé à 300 m de la rive, où elle est comprise entre 400 et 100 microns. Pour l'ensemble des quatre échantillons, la fraction comprise entre 250 et 400 microns est estimée à 15 %.

5.11. — Prélèvements effectués à Mao, à la turbisonde Neyrpic.

Trois prélèvements ont été effectués à Mao, à 12 km en amont de Boma, le 25 juillet 1958. A cette date la lecture d'échelle à Léopoldville (P. P.) était 0,24 m, et le débit correspondant 25.800 m³/s.

La profondeur des prélèvements était 10 m.

Distance de la rive belge	Substances solides	Perte au feu	Substances dissoutes	Perte au feu
	mg/l		mg/l	
250 m . . .	15,9	24 %	44,4	49 %
500 m . . .	17,6	23 %	44,4	49 %
750 m . . .	19,0	22 %	44,4	49 %
Moyennes .	17,5	23 %	44,4	49 %

Granulométrie.

150 à 1 micron; majorité des grains compris entre 50 et 10 microns.

6. — RESUME DES RESULTATS.

6.1. — Résultats de Kalina.

La figure 6 représente les teneurs moyennes en solides des prélèvements à la turbisonde 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 de Kalina en fonction du débit du fleuve.

La figure 4 résume les résultats des prélèvements 5.3 et 5.4 en fonction de la profondeur. On trouve comme moyennes, à Kalina, à la turbisonde, pour des débits de l'ordre de 30.000 m³/s :

En surface	: 25,4 mg/l,
A mi-profondeur	: 26,7 mg/l,
A 1 m du fond	: 30,2 mg/l.

La figure 5 représente les résultats des prélèvements 5.3 et 5.4 en fonction de la distance de la rive gauche. On voit que la teneur en solides ne présente pas de variation systématique d'une station à l'autre.

La moyenne pondérée de la perte au feu de trente-cinq échantillons de matières prélevées à la turbisonde à Kalina s'élève à 20,6 %.

Voyons maintenant les prélèvements à la bouteille de Delft, toujours à Kalina.

La figure 7 représente les résultats des prélèvements 5.6 et 5.7 correspondant à un débit de 43.000 m³/s environ, en fonction de la distance de la rive gauche.

L'effet de la profondeur sur la teneur en sable est très net. Par contre, on ne constate pas de variation systématique d'une station à l'autre.

La moyenne pondérée de la perte au feu de soixante échantillons de matières prélevées à la bouteille de Delft à Kalina atteint 1,32 %.

Alors que les échantillons prélevés à la turbisonde représentent toutes les matières en suspension dans un volume d'eau connu, la bouteille de Delft n° 1 ne retient que très peu de particules de diamètre inférieur à un certain minimum, que les examens microscopiques effectués situent à 20 microns environ pour les échantillons recueillis.

Cette limite ne dépend pas de l'appareil, mais bien de la vitesse du courant dans lequel il est immergé; elle n'est donc pas constante.

La différence entre la teneur en solides déterminée au moyen de la turbisonde et la teneur en solides obtenue au moyen de la bouteille de Delft représente donc la teneur en solides d'un calibre inférieur au minimum retenu par la bouteille de Delft dans les conditions du prélèvement.

Pour les prélèvements effectués à Kalina, cette différence, représentant la teneur en éléments plus fins que 20 microns environ, se chiffre, pour les deux prélèvements simultanés décrits sous 5.5 et 5.6, à $26,7 - 10,8 = 14,9$ mg/l avec un écart-type de 1,8 mg/l. Il s'agit des prélèvements représentant globalement les verticales.

Les résultats obtenus à des profondeurs différentes à Kalina peuvent se résumer par le tableau suivant (en mg/l) :

	Surface	Mi-profondeur	A 1 m du fond	Tout près (0,2 m) du fond
Turbisonde : 5.3	$27,5 \pm 0,7$	$27,7 \pm 0,8$	$31,1 \pm 0,6$	
5.4	$23,3 \pm 1,1$	$25,7 \pm 1,1$	$29,3 \pm 1,1$	
5.5				147 ± 17
Moyenne	$25,4 \pm 1,3$	$26,7 \pm 1,4$	$30,2 \pm 1,3$	147 ± 17
Bouteille Delft : 5.7	$1,85 \pm 0,4$	$8,1 \pm 1,3$		149 ± 43

Sous réserve de l'imprécision résultant de la non-simultanéité des prélèvements, les différences entre les résultats obtenus à la turbisonde et ceux donnés par la bouteille de Delft sont :

En surface : $23,6 \pm 1,4$ mg/l,
A mi-profondeur : $16,6 \pm 1,9$ mg/l.

Près du fond, les données obtenues ne permettent pas d'exprimer une différence significative.

Les quantités précédées du signe \pm sont les écarts-types.

Les différences de quantité et de granulométrie constatées entre les matières recueillies par la turbisonde d'une part et la bouteille de Delft d'autre part résultent du fonctionnement différent des deux appareils.

Mais les données acquises par les déterminations de la perte au feu nous font constater, en outre, des différences qui ne résultent pas de raisons mécaniques, mais de la composition chimique des matières étudiées.

La perte au feu des échantillons recueillis par la bouteille de Delft se chiffre, en moyenne pondérée sur soixante échantillons de Kalina, à 1,3 %.

Ce chiffre minime indique qu'il s'agit de sable de quartz presque pur, comme le montrent d'ailleurs les examens microscopiques.

Par contre, la moyenne pondérée de la perte au feu de trente-cinq échantillons prélevés à la turbisonde atteint 20,6 %.

La différence entre ces deux chiffres, 1,3 % et 20,6 %, est hautement significative. Elle correspond à une réelle différence de composition chimique. De fait, les examens microscopiques montrent, parmi les substances prélevées à la turbisonde, à côté de grains très fins de quartz, des particules de silice amorphe $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, des minéraux argileux kaoliniques, des flocons d'hydrate ferrique $\text{Fe}(\text{OH})_3$, des squelettes de diatomées (CaCO_3) et des matières organiques. Le diamètre moyen de cette fraction fine est de l'ordre de 10 microns.

Cette fraction fine, en majorité non-quartzeuse, et difficilement décantable, constitue une partie importante du débit solide.

6.2. — Résultats de Kianda.

La figure 9 représente les résultats des prélèvements à la turbisonde (5.8) en fonction de la profondeur, pour des débits de l'ordre de 28.000 m³/s.

La teneur moyenne en solide trouvée à 1 et 3 m de profondeur, soit 32 mg/, est un peu supérieure à celle trouvée à Kalina; mais, vu le petit nombre de résultats, cette différence n'est pas significative.

La teneur de 50 mg/l trouvée à 10 m de profondeur est notablement supérieure à celle trouvée à la même profondeur à Kalina.

La perte au feu moyenne de cinq échantillons prélevés, soit 19,9 %, est pratiquement la même que celle constatée à Kalina.

Les prélèvements 5.9 et 5.10, à la bouteille de Delft, ont tous été faits à une même profondeur de 2 m. Ils ne permettent pas de déceler un effet de la distance de la rive. La grandeur moyenne des teneurs en sable est de 5 mg/l pour l'ensemble des deux prélèvements. C'est plus qu'on n'en aurait trouvé à Kalina à cette profondeur de 2 m.

De plus, on trouve en suspension à Kianda, près de la surface, des grains de sable d'un calibre supérieur à celui constaté près de la surface à Kalina.

Ces faits sont évidemment en relation avec la vitesse du courant, qui atteint, dans la section resserrée de Kianda (largeur du fleuve : 600 m environ) à peu près le double de ce qu'elle est à Kalina.

Lorsque des résultats de prélèvements à Kianda seront disponibles en plus grand nombre, une description de la distribution des solides en fonction de la profondeur pourra être abordée pour cette section. Il est probable que cette distribution sera assez différente de celle constatée à Kalina.

La perte au feu des sables retenus par la bouteille de Delft à Kianda atteint, pour la moyenne des huit échantillons prélevés, 1,25 %. C'est légèrement plus qu'à Kalina, mais la différence n'est pas significative.

Ces résultats et les examens microscopiques indiquent que les matériaux en suspension à Kianda sont essentiellement les mêmes qu'à Kalina, à savoir du sable de quartz et des substances non-quartzeuses de faible calibre.

POSTFACE.

En mission officielle auprès de l'Institut d'Inga, l'auteur a été chargé par le Conseil d'Administration de cet Institut de participer au Colloque d'Hydrogéologie tenu à l'Université de Liège en 1959.

Il lui est un agréable devoir de remercier M. le Président et MM. les Administrateurs de l'Institut, et spécialement M. J. LAMOEN, Président du Groupe technique, d'avoir autorisé la présente communication. Il tient, enfin, à remercier particulièrement M. E.-J. DEVROEY, Secrétaire général de l'Institut d'Inga et Administrateur du Comité hydrographique du Bassin congolais, non seulement pour ses encouragements à entreprendre le présent travail, mais aussi pour avoir mis fort aimablement à sa disposition de nombreux documents du Comité hydrographique.

DISCUSSION

M. R. SPRONCK : J'ai été très heureux d'entendre l'exposé de M. Van Ganse sur des questions qui n'ont pas cessé de m'intéresser depuis les mesures que j'ai poursuivies en 1938 et 1939, particulièrement dans la région divagante du bief maraîchier du fleuve Congo.

Les méthodes d'observations mises en œuvre visaient à étudier le débit solide dans les divers bras du bas-neuve, en vue des problèmes posés par la navigation dans les passes et non en vue d'aménagements hydro-électriques, mais l'interprétation faite à l'époque des résultats des mesures intéresse évidemment le régime général des débits solides du fleuve.

Je voudrais faire les quelques remarques suivantes au sujet des nouvelles mesures entreprises à Léopoldville, à Inga et en aval de Matadi :

a) Il conviendra de ne pas négliger la part du débit solide charrié sur le fond. Dans les passes, il semble qu'une intervenait en moyenne pour 6 % environ du total, mais cette proportion est susceptible de varier beaucoup selon l'époque et le lieu;

b) J'ai été surpris d'entendre que les mesures actuelles ne paraissent guère déceler d'augmentation importante de la turbidité des eaux en crue, alors qu'en général les eaux des fleuves sont beaucoup plus troubles lors des fortes crues;

c) L'adoption du terme « limon » pour désigner la traction la plus fine du débit solide n'est pas recommandable car ce terme prête à confusion. Les limons proprement dits ne contiennent le plus souvent que des grains de quartz très fins, alors qu'il s'agit ici, semble-t-il, de limons argileux. (Ce n'était d'ailleurs pas le cas dans les passes.)

d) Je crois utile de signaler que le matériel utilisé en 1938 et 1939 (benne-grappin, cadre, moulinets, appareils Van Veen, appareil Lüders, etc.) est resté entreposé aux Ateliers de la Marine à Boma et qu'il pourrait vraisemblablement être mis à la disposition

de la brigade d'études de l'Institut national pour le développement du Bas-Congo.

M. CALEMBERT : Il est exact que les limons que nous connaissons en Belgique ne contiennent pas une fraction argileuse importante : c'est essentiellement du quartz. L'aspect granulométrique les fait qualifier de limons. Mais je crois que la confusion naît de ce que nous n'avons pas, en français, de terme équivalent au terme *silt* des Américains, et je pense qu'il conviendrait extrêmement bien pour indiquer cette fraction granulométrique intermédiaire entre les matériaux argileux et les sables.

BIBLIOGRAPHIE

1. VAN MIERLO, C. J. — « Le mécanisme des alluvions », *Annales des Ingénieurs Ec. Spéc. Univ. Gand*, 1926, p. 119-126, Gand.
2. DEVROEY, E.-J. — « Le bassin hydrographique congolais », *Inst. Roy. Col. B., Sect. Sc. Techn.*, Mém., Coll. in-8°, t. III, fasc. 3, p. 151-160, Bruxelles, 1941.
3. SPRONCK, R. — « Mesures hydrographiques dans la région divagante du bief maritime du fleuve Congo. » *Inst. Roy. Col. B., Sect. Sc. Techn.*, Mém., Coll. in-8°, t. III, fasc. I, Bruxelles, 1941.
4. VAN GANSE, R. — « Les débits du fleuve Congo à Léopoldville et à Inga. » *Ac. Roy. Sc. Col., Bull.*, 1959, fasc. 3, p. 711-737.

Sur l'appareillage pour la mesure des débits solides, voir :

- R. SPRONCK et F. CAMPUS, bulletin trimestriel du CEBEDEAU n° 26, 1954/IV;
- A. VOLKER et J. W. TOPS, bulletin trimestriel du CEBEDEAU n° 46, 1959/IV.

NOUVELLES DE PARTOUT ...

Industrialisation, équipement sanitaire et financement

A. G. H. T. M.

Lors du Congrès de l'Association Générale des Hygiénistes et Techniciens Municipaux, qui s'est tenu aux Pays-Bas en juin dernier, M. W. F. J. M. KRUL, Professeur de Génie sanitaire à l'Université Polytechnique de Delft a donné à propos d'« Equipement sanitaire et industrialisation » quelques sévères avertissements.

« L'équipement sanitaire dans la plupart des pays, peut-être dans tous les pays, a-t-il dit, ne s'adapte plus aux conditions actuelles, pour ne rien dire des conditions dans un avenir imminent où les exigences seront de beaucoup plus aiguës.

» Les solutions techniques doivent se baser et trouver leur réalisation dans une connaissance profonde des conséquences psychologiques, sociales et politiques de l'industrialisation moderne. En tout cas il me paraît que le changement total du milieu, dû à l'activité des techniciens, leur impose une grave responsabilité. C'est à eux d'approfondir leur science et de convaincre les pouvoirs politiques du fait que des investissements considérables sont nécessaires afin d'éviter que le bien-être de l'homme ne soit sacrifié aux progrès technique et économique de nos jours.

» Le succès de la lutte contre la pollution des eaux ne saurait se réaliser sans un système judicieux de financement. Le slogan « c'est le pollueur » qui doit payer » n'offre guère une solution acceptable. Ni les moyens financiers des agglomérations, dites municipalités, ni ceux de l'industrie ne permettent dans tous les cas les investissements souvent

considérables des installations nécessaires de traitement.

» C'est le gouvernement central qui, sur la base d'une politique nationale de l'eau, doit fournir non seulement son appui moral, mais aussi les moyens financiers complémentaires, en forme de subventions, en facilitant les emprunts ou en admettant des réductions de taxe. »

(Bull. T.S.M. d'octobre 1960 — Doc. CEBEDEAU R 2411.)

FRANCE.

LA COMMISSION DE L'EAU

Pendant longtemps le problème de l'eau ne s'est guère posé en France car les ressources étaient telles que les Pouvoirs publics n'avaient pas à envisager les risques de pénurie de cet élément essentiel à la vie d'un pays. Mais le développement de l'hygiène, l'évolution des techniques industrielles et agricoles, l'aggravation des phénomènes de pollution ont placé certaines régions comme le Nord, la région parisienne, par exemple, en face d'une insuffisance très importante en eau de qualité convenable.

Un arrêté du 2 juillet 1959 a donc créé une Commission de l'Eau siégeant au Commissariat du Plan d'Equipement et de la Productivité.