

# Transports solides en suspension dans les rivières suisses

Autor(en): **Bonnard, Daniel / Bruschin, Jacques**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **96 (1970)**

Heft 6

PDF erstellt am: **24.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-70845>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

656.628 (494)

0.5.0

COMMUNICATIONS DU LABORATOIRE D'HYDRAULIQUE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

# Transports solides en suspension dans les rivières suisses<sup>1</sup>

par DANIEL BONNARD, professeur, et JACQUES BRUSCHIN, ingénieur

## I. Introduction

Depuis 1964, le Laboratoire d'hydraulique de l'École polytechnique de Lausanne (EPFL) a été chargé de diverses études concernant les transports de matériaux solides dans le bassin du Rhône, plus particulièrement de l'étude des transports en suspension. Un mandat important, parmi d'autres, nous a été confié par l'Office fédéral de l'économie hydraulique (OFEH) en vue de la mise sur pied pour la Suisse d'un réseau national de stations de mesures des transports solides. Etant donné que la mesure globale, dans un profil, soit du « débit solide » instantané en suspension — ( $Q_s$ ) soit de la concentration moyenne ( $C_m$ ) — est impossible par les moyens techniques disponibles actuellement, nos études ont eu pour but essentiel de répondre aux deux questions suivantes :

— A quel endroit du profil en travers faut-il effectuer les prélèvements d'échantillons pour qu'ils soient représentatifs de l'écoulement dans l'ensemble du profil ?

— A quel moment faut-il effectuer les prélèvements pour que les échantillons soient représentatifs d'un intervalle de temps déterminé (heure, jour, etc.) ?

Nous nous limiterons dans ce qui suit à la quantité de matériaux solides transportés et ne prendrons pas en considération leur granulométrie, nos recherches concernant les dimensions des grains en suspension n'étant pas encore suffisamment avancées. De même nous laisserons délibérément de côté les recherches que nous avons effectuées dans les domaines de l'appareillage et des méthodes de prélèvement qui nous ont permis de vérifier dans les grandes lignes et parfois dans le détail les résultats déjà obtenus aux Etats-Unis.

Nous avons utilisé pour nos mesures la « turbidisonde » Neyrpic<sup>2</sup> et la sonde AW-3 dérivée de la sonde américaine US-DH 48<sup>3</sup>, adaptée et construite par l'OFEH.

## II. Prospection du profil en travers de l'écoulement

### 1. Variation de la concentration le long d'une verticale

De nombreuses mesures effectuées par divers laboratoires étrangers, ainsi que plusieurs centaines de mesures effectuées par nous-mêmes confirment le fait qu'une loi exponentielle de répartition des concentrations le long d'une verticale traduit bien les phénomènes tels qu'ils se produisent dans les cours d'eau naturels, pour autant que la

phase solide ne soit pas trop fine. La valeur de l'exposant varie toutefois avec les caractéristiques (granulométrie, température, etc.) des deux phases : eau-éléments minéraux.

Aucune relation simple ne peut être obtenue entre la concentration moyenne d'une verticale, déterminée soit par intégration graphique à partir de prélèvements par points, soit par prélèvements continus en déplaçant la sonde à vitesse constante (intégration directe), et la concentration en surface ( $C_s$ ) qui est la plus simple à mesurer et que l'on mesure le plus souvent. Dans les trois stations de mesures — Massongex et Porte-du-Scex sur le Rhône et Carouge sur l'Arve — où nous avons suivi plus spécialement la variation simultanée de ces valeurs, nous avons constaté, comme le montrent les graphiques 1, 2 et 3, que :

$$0,9 < \frac{C_m}{C_s} < 1,8$$

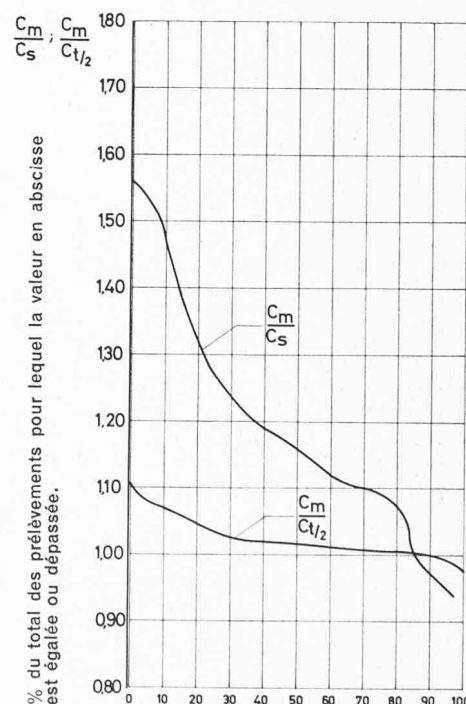


Fig. 1. — Variation des rapports  $\frac{C_m}{C_s}$  et  $\frac{C_m}{C_{t/2}}$  Porte-du-Scex - Rhône. 88 observations.

On remarquera que pour les courbes  $C_m/C_{t/2}$  portées sur ces mêmes graphiques ( $C_{t/2}$  = concentration à mi-profondeur) les points se groupent beaucoup mieux autour de l'unité. Ceci s'explique par le fait que dans les stations

<sup>1</sup> Communication présentée au XIII<sup>e</sup> Congrès de l'Association internationale de recherches hydrauliques, Kyoto (Japon), septembre 1969.

<sup>2</sup> Sonde destinée aux prélèvements dans les grandes rivières et les fleuves avec commande du prélèvement par air comprimé. Poids : environ 90 kg ; prélèvements par points ou par intégration verticale.

<sup>3</sup> Sonde destinée aux petits cours d'eau sans commande du prélèvement. Poids : environ 3 kg ; prélèvements par intégration verticale ou en surface.

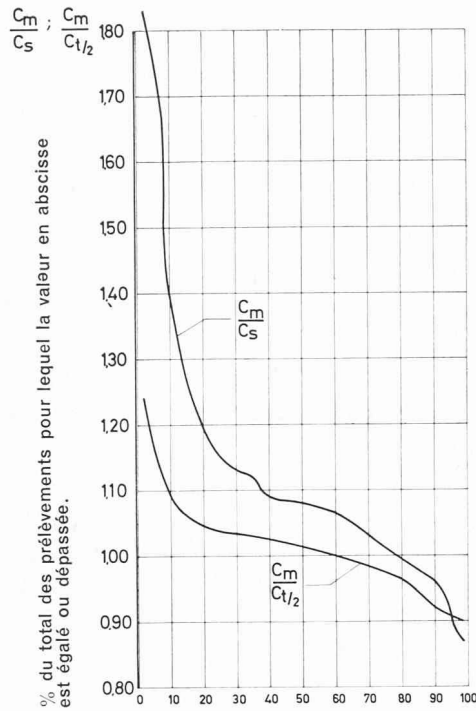


Fig. 2. — Variation des rapports Massongex - Rhône. 50 observations.

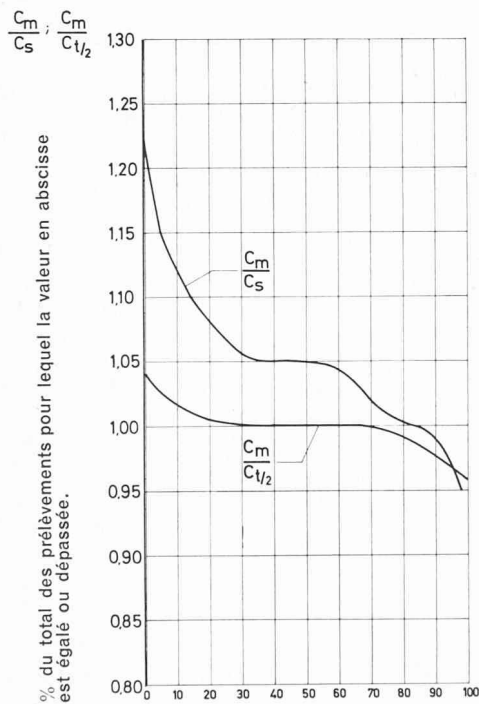


Fig. 3. — Variation des rapports Carouge - Arve. 88 observations.

cités les valeurs de l'exposant ( $z$ ) de la fonction exponentielle donnant la variation des concentrations le long d'une verticale sont le plus souvent comprises entre  $10^{-3}$  et  $10^{-2}$ . En transformant la fonction proposée par Vanoni<sup>1</sup>

$$^1 C_y = C_a \left( \frac{t-y}{y} \frac{a}{t-a} \right)^z \quad y = \text{cote du point où la concentration est } C_y$$

soit

$$C_y = \text{cte} \left( \frac{t-y}{y} \right)^z \quad a = \text{cote d'un point où } C \text{ est connu et égal à } C_a \text{ (les cotes sont mesurées par rapport au fond du lit).}$$

on peut obtenir pour la concentration moyenne, après intégration, l'expression suivante :

$$C_m = C_{t/2} \frac{\pi z}{\sin \pi z} \quad \text{avec} \quad \lim_{z \rightarrow 0} \frac{\pi z}{\sin \pi z} = 1$$

et  $C_m = C_{t/2}$

Il apparaît donc que les échantillons d'eau prélevés à la surface de l'écoulement ou à son voisinage (80 % des mesures considérées) conduiront presque toujours à une approximation par défaut du débit solide  $Q_s$ , approximation d'ailleurs variable et parfois assez grossière.

## 2. Variation de la concentration dans le sens de la largeur du lit

Les mesures effectuées [1] [2]<sup>1</sup> confirment l'hypothèse théorique que pour un lit régulier assimilable à un lit rectangulaire de très grande largeur, la distribution des matériaux en suspension dans l'écoulement est pratiquement uniforme, mais font apparaître aussi des écarts très marqués pour des profils accusant de fortes variations de profondeur avec des formes des fonds variables dans le sens de la largeur (lisse, dunes, rides). A part ces cas extrêmes, il faut considérer le cas beaucoup plus fréquent des cours d'eau petits et moyens, où la proximité des rives peut avoir une influence déterminante sur la répartition des vitesses dans le profil en travers et par là même sur la répartition des concentrations, comme le montre le graphique 4 donnant les résultats obtenus à la Porte-du-Scex - Rhône et à Carouge - Arve. Dans ce cas, les trois verticales de prélèvement sont placées au voisinage immédiat des centres d'égal débit  $(Q/3)^2$  et la concentration

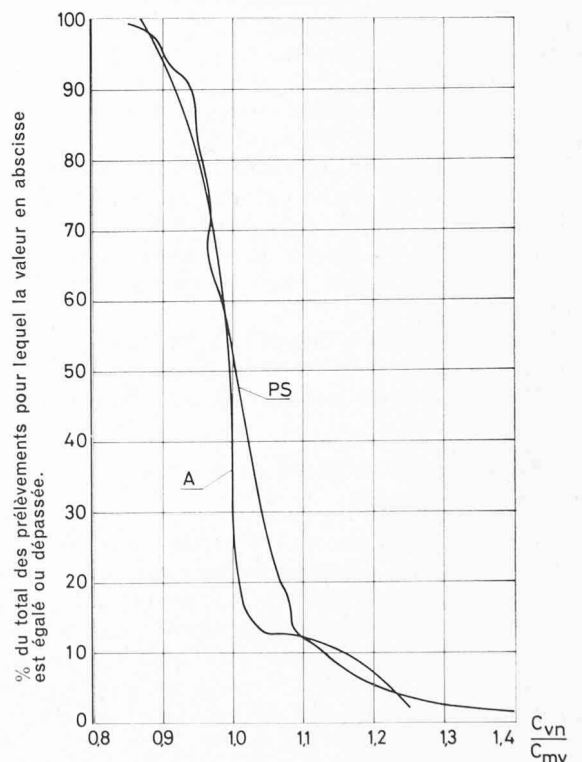


Fig. 4. — Variation des rapports  $\frac{C_{vn}}{C_{mv}}$  Porte-du-Scex et Carouge.

<sup>1</sup> Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

<sup>2</sup> Le centre d'égal débit est défini ici comme le centre de gravité de l'écoulement correspondant à un tiers du débit, le lit étant divisé dans le sens de la largeur.

moyenne de chaque verticale ( $C_{vn}$ ) est rapportée à la moyenne des concentrations moyennes des trois verticales ( $C_{mv}$ ). Nous avons toutefois constaté que le gain théorique de précision résultant de l'emploi de méthodes plus élaborées qui permettent de tenir compte des variations de la concentration dans une direction transversale à l'écoulement, comme les méthodes de Colby (ETR) et de Lane [3], est pratiquement perdu si les débits ( $Q$  et  $Q_s = C_m Q$ )

varient pendant les mesures, ce qui arrive inévitablement dès que la durée des prélèvements augmente. Il est donc raisonnable de réduire le nombre de verticales, mais la répartition transversale des concentrations étant fonction de la répartition des vitesses dans l'écoulement, il paraît logique de faire les prélèvements là où la vitesse moyenne de la verticale est égale à la vitesse moyenne de l'écoulement. Les mesures effectuées par l'OFEH, peu nombreuses il est vrai, semblent confirmer cette supposition. Les deux exemples donnés aux figures 5 et 6 montrent la façon de procéder de l'OFEH. On remarquera que les verticales de vitesse moyenne correspondant à différents débits sont comprises dans des bandes assez étroites.

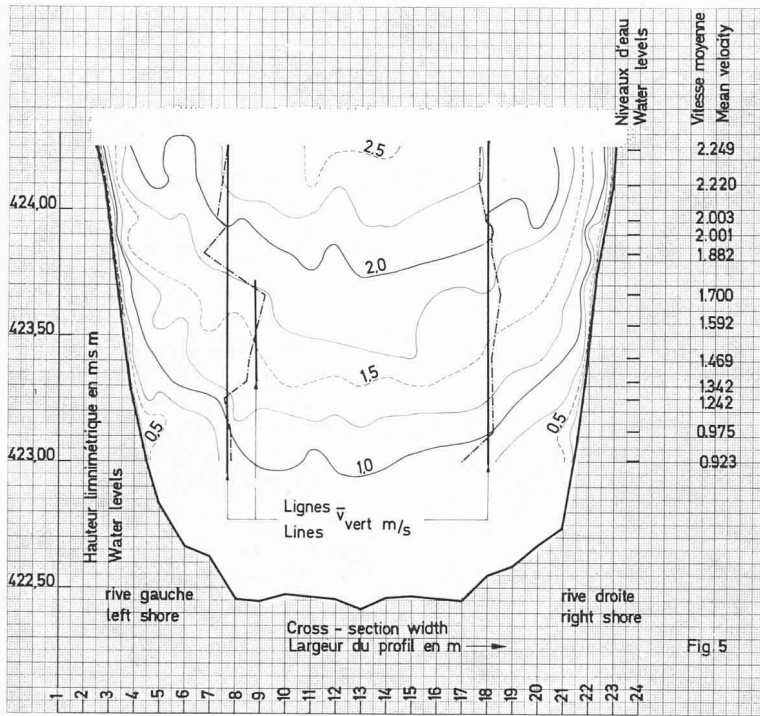


Fig. 5. — Détermination des verticales de vitesse moyenne pour la Linth-Weesen, à la station de mesure Gaesi.

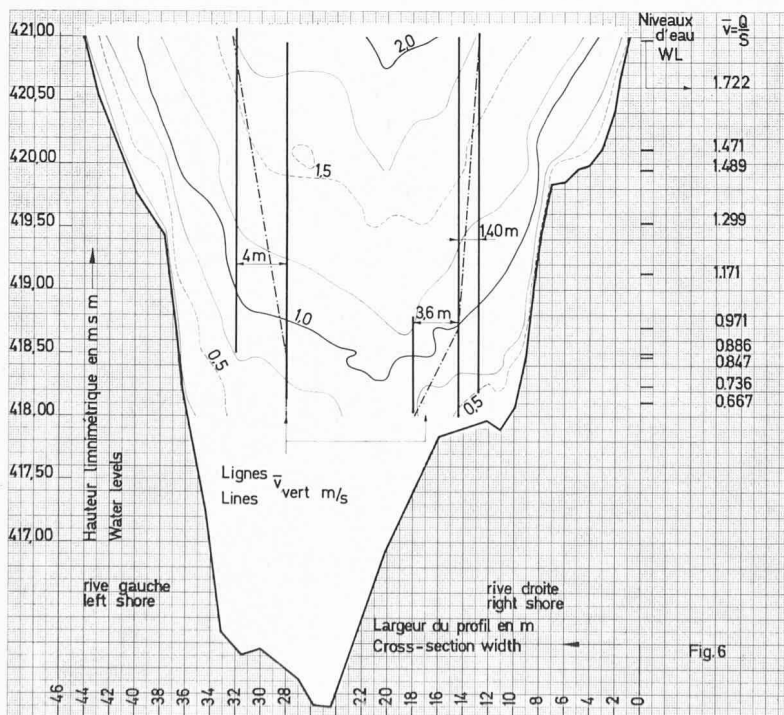


Fig. 6. — Détermination des verticales de vitesse moyenne à la station de mesures Biaische.

### III. Variation des concentrations avec le temps

#### 1. Mesures de routine

L'impossibilité d'effectuer des mesures continues de la concentration le long d'une verticale ou en un point représentatifs, choisis comme nous l'avons montré plus haut, conduit à poser la question du choix du moment du prélèvement. S'il est impossible de prévoir l'instant privilégié, correspondant à la concentration moyenne de la journée, l'étude des cycles journaliers peut certainement fournir des indications permettant d'améliorer la qualité de l'échantillonnage. Nous avons exécuté dans ce but un certain nombre de mesures par prélèvements horaires sur trois affluents du Rhône et nous montrons, aux figures 7, 8 et 9, quelques-uns des résultats obtenus.

Une première constatation s'impose après examen de ces figures : l'existence pour les paramètres considérés de cycles journaliers distincts ayant dans les grandes lignes la même allure, mais déphasés d'une à trois heures. On remarque ensuite que la variabilité des concentrations est beaucoup plus grande que celle des niveaux et des températures de l'eau. On constate enfin que la crue et la décrue « solides » sont plus marquées que celles de la phase liquide et qu'il y a un certain « assésment » en décrue, les concentrations ne diminuant plus au-dessous d'une limite inférieure, même si le débit continue à décroître.

Compte tenu de ces constatations il paraît raisonnable, soit d'éviter lors des prélèvements les pointes et les creux « solides » (qui sont prévisibles à partir des mesures de niveaux ou de températures), soit de « balayer » le cycle en décalant chaque jour régulièrement l'heure des prélèvements.

#### 2. Mesures pendant les crues

Nous avons effectué des prélèvements horaires pendant plusieurs crues dans le Rhône et dans l'Arve pour constater que les choses se passent sensiblement de la même

Fig. 7, 8 et 9. — Variation des niveaux d'eau, des concentrations, du diamètre moyen des matériaux en suspension et des températures de l'eau. Cycles journaliers.

Fig. 7, 7a.  
Lonza - Blatten.

Fig. 8, 8a.  
Borgne - La Luette.

Fig. 9, 9a.  
Grande-Eau - Aigle.

Fig. 7.

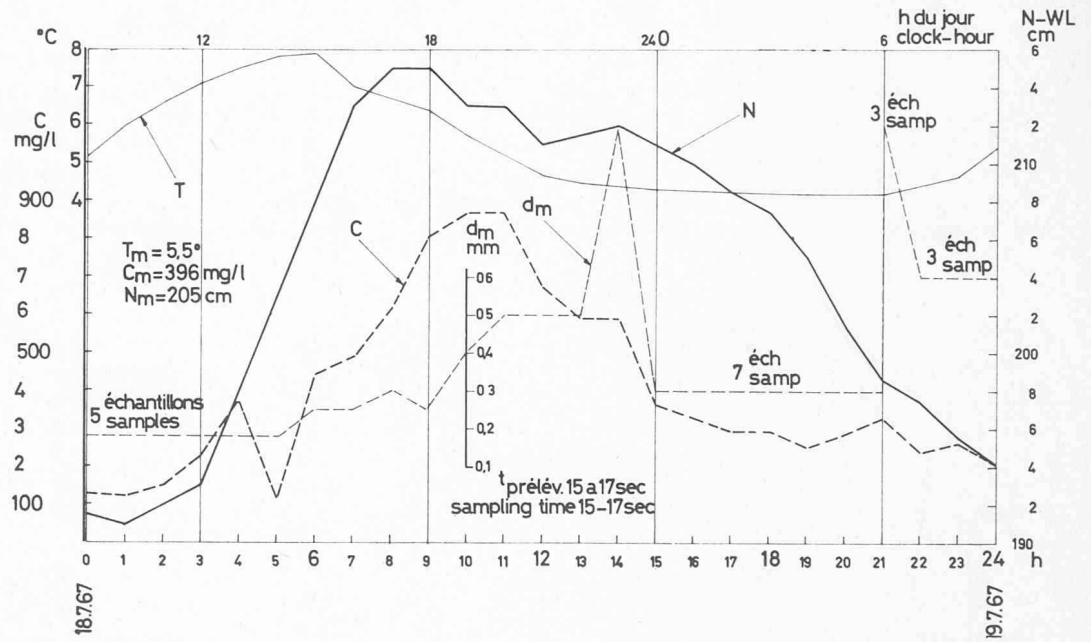


Fig. 7a.

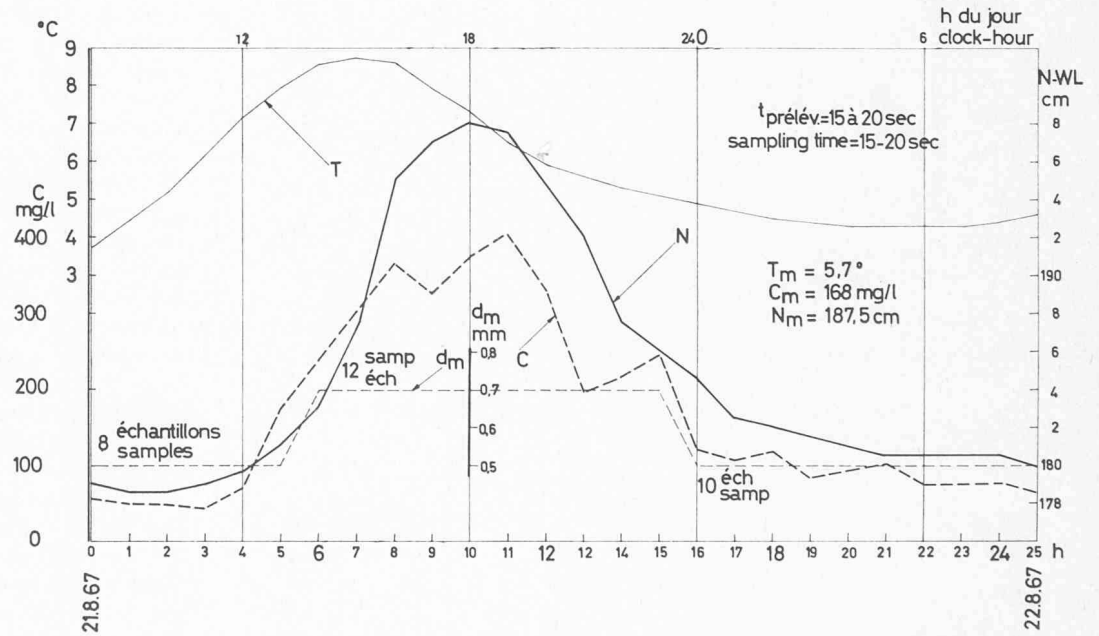
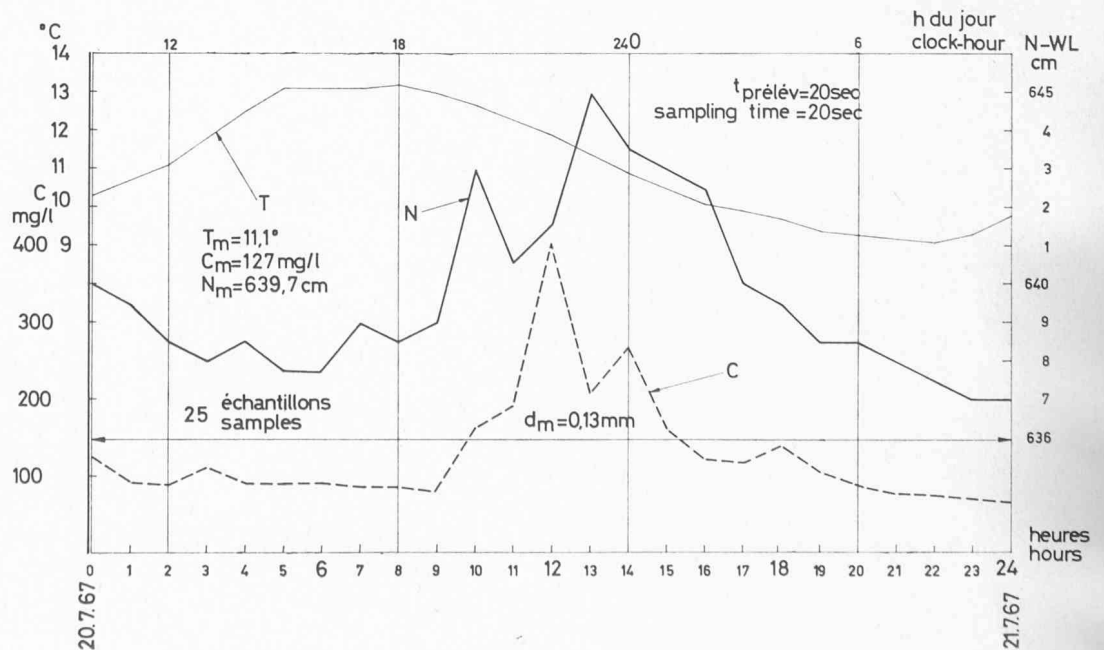
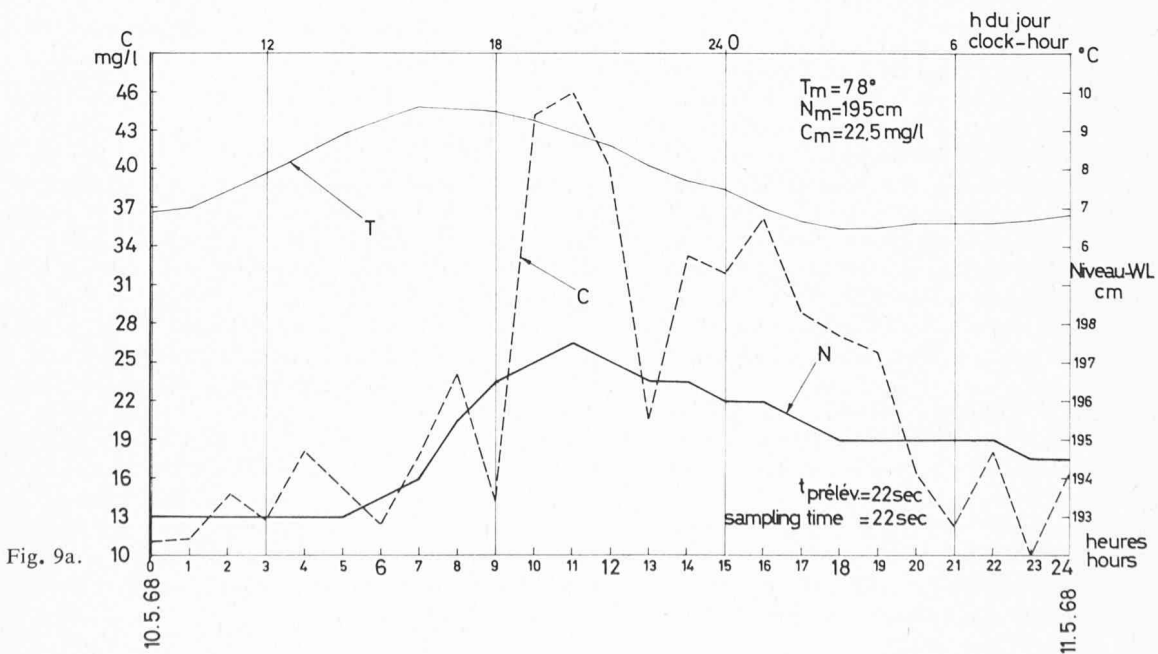
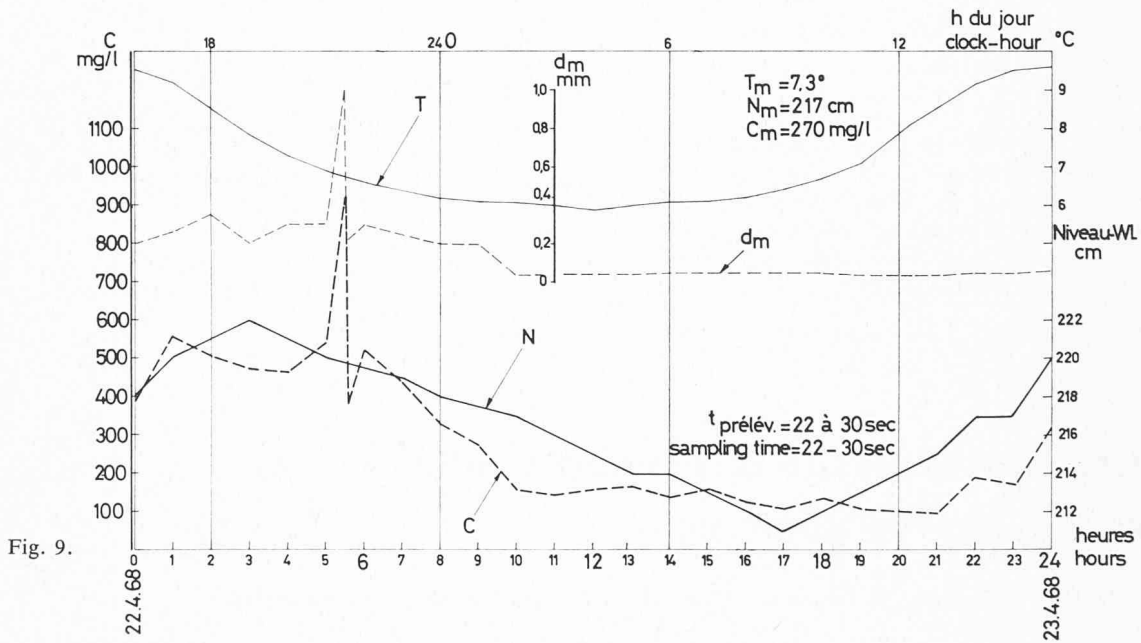
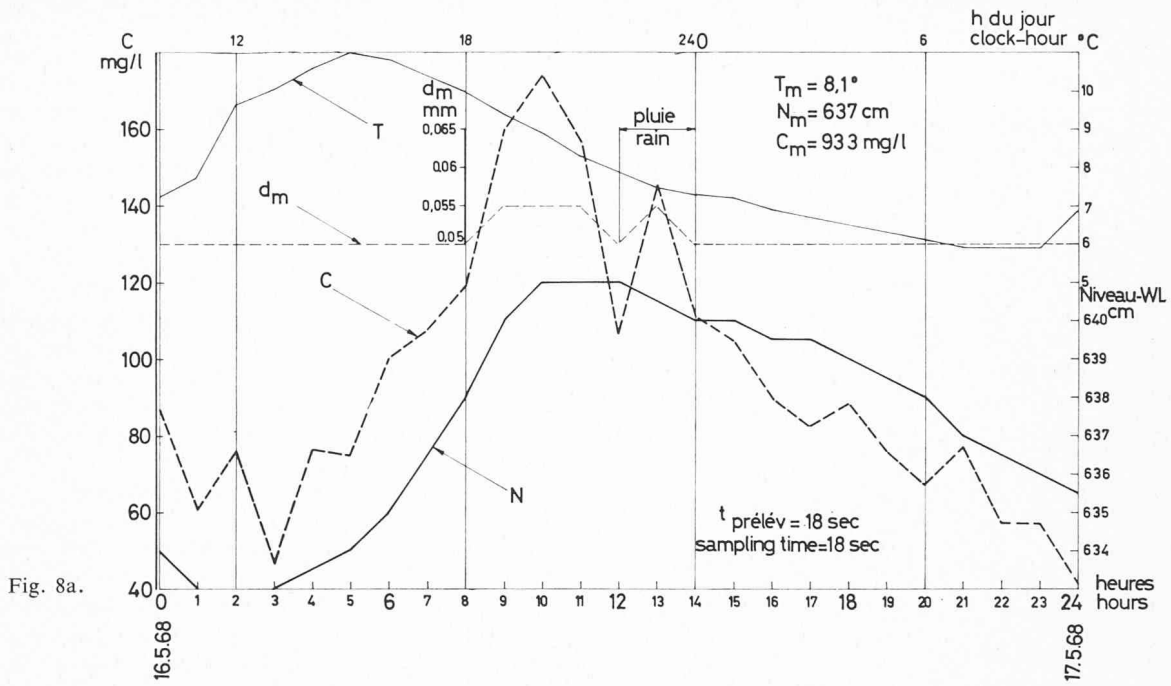


Fig. 8.





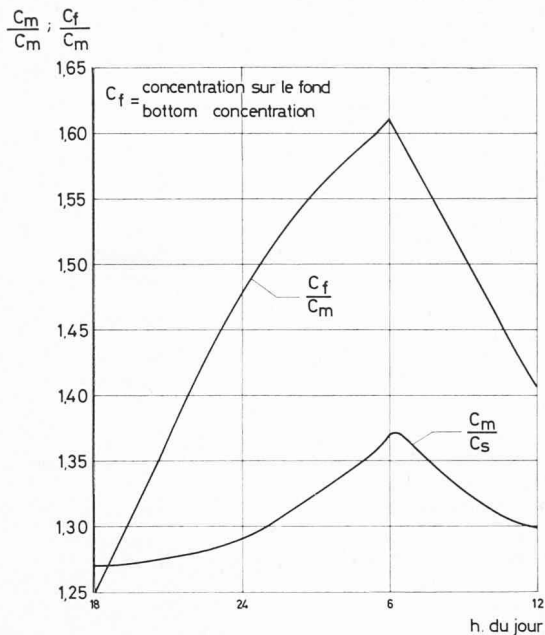


Fig. 10. — Variation de  $\frac{C_m}{C_s}$  et de  $\frac{C_f}{C_m}$  pendant une crue dans le Rhône à la Porte-du-Scex.

manière que pour des cycles journaliers, quoique l'existence de cycles distincts est beaucoup moins perceptible. Signalons encore que pour des crues liquides de même importance, les transports solides peuvent être très différents suivant la durée de la période « sèche » qui les précède. De deux crues se succédant après une période « d'ac-

cumulation », la première agira comme un coup de balai, emportant la plus grande partie des dépôts formés sur les rives. Disons encore que la variation des concentrations le long d'une verticale évolue largement pendant les crues, comme le montre la figure 10; les prélèvements d'échantillons en surface sont d'autant moins recommandables.

#### IV. Conclusions

L'interprétation des nombreuses mesures de concentration de matières en suspension exécutées jusqu'à ce jour dans plusieurs pays n'a pas permis une estimation suffisamment correcte des débits solides, car le choix des points de mesure et la répartition des mesures dans le temps ont le plus souvent été laissés au hasard.

Nous avons montré dans cette communication qu'il est possible d'améliorer sensiblement la portée physique de telles mesures si l'on prend en considération certaines analogies existant dans l'évolution dans le temps des paramètres caractérisant les phases liquide et solide (niveaux, débits, vitesses, températures, etc.) et si l'on choisit convenablement les points ou verticales de prélèvement.

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] *Measurement of the sediment discharge of streams*. Report No. 8. Subcommittee on Sedimentation, USA.
- [2] KENNEDY, J. F.: *Further laboratory studies of the roughness and suspended load of alluvial streams*. CIT, avril 1961.
- [3] *Determination of fluvial sediment discharge*. Report No. 14. Subcommittee on Sedimentation. ETR = equal transit rate.

Adresse des auteurs :  
Laboratoire d'hydraulique de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 67, rue de Genève, 1000 Lausanne.

622.235.2/4 : 624.1 o. T. A

## Utilisation des explosifs et moyens d'inflammation dans les travaux de génie civil

par ROGER DELÉMONT, conseiller technique de la Société suisse des explosifs de Gamsen-Brigue

### Avant-propos

L'explosif occupe une place importante dans la réalisation de nombreux travaux de génie civil. Son utilisation ne se fait malheureusement pas toujours avec discernement, c'est-à-dire en considérant le milieu ou le confinement dans lequel on travaille. C'est la raison pour laquelle l'utilisation qu'on en fait n'aboutit parfois pas aux résultats escomptés et que son énergie, mal dirigée, provoque souvent des dégâts matériels si ne n'est des accidents de personnes.

Utilisé à bon escient et le connaissant bien, l'explosif civil permet de réaliser toutes les excavations et tous les abattages qui ne sont pas conditionnés par des situations extraordinaires.

Malheureusement, la technique du minage, si elle est connue de certains ingénieurs, n'est pas toujours appliquée par ceux qui manipulent l'explosif et leur méconnaissance de la matière aboutit fréquemment à des réalisations malencontreuses, voire à des résultats qui ne sont pas toujours dans l'optique du chef d'entreprise.

C'est pour essayer de corriger certaines erreurs que je veux rappeler par une description succincte quelques élé-

ments dont la connaissance me semble indispensable si l'on est appelé à s'occuper de travaux de minage.

### Qu'est-ce qu'un explosif ?

C'est une substance industrielle inerte, en général solide, qui, sous l'action du feu en ce qui concerne la poudre noire, d'un choc violent et du feu pour les explosifs conventionnels, se transforme en un énorme volume de gaz à très haute température.

Peu nombreux sont les mineurs qui connaissent cette définition et pourtant la notion de ce phénomène est un élément indispensable pour pouvoir travailler correctement avec l'explosif.

L'explosif qui détone agit tout d'abord par l'onde de choc sur les parois avec lesquelles il est en contact plus ou moins étroit. Après cette action qui dure quelques millièmes de seconde, les gaz provenant de la transformation de la matière, provoquent une action de poussée considérable sur le matériau déjà désagrégé ou fissuré par l'onde de détonation.