

Mesure des sédiments charriés par les rivières

VOJISLAV VUKMIROVIĆ & RADIVOJE VUKOTIĆ
Faculté du Génie Civil, Institut d'Eaux
"Jaroslav Černi", Belgrade, Yougoslavie

RESUME Dans les études du transport de sédiments charriés par les rivières, l'idée principale est qu'on doit connaître les propriétés du courant d'eau et du sédiment charrié. A la base de celles-ci on peut estimer le débit du sédiment charrié ainsi que les effets provoqués par les ouvrages hydrauliques sur les rivières. Les mesures sédimentologiques complètes comprennent des mesures des caractéristiques morphologiques, des vitesses d'eau, des mesures du sédiment en suspension et du sédiment charrié. On a appliqué des mesures conventionnelles du sédiment charrié, ainsi que des mesures par des traceurs radioactifs. On donne la description des techniques appliquées, quelques résultats des mesures et les conclusions à la base des expériences.

Measurement of sediment transport in rivers

ABSTRACT Discharge and sediment characteristics of a river must be known in order to ascertain the sediment transport and the effects of hydraulic works on the river regime. For this purpose data are needed on morphological characteristics, water velocities, suspended sediment and bed load. In addition to the standard methods of bed load measurement using mechanical samplers, the method of radioactive tracers was used. Along with the techniques applied, the authors present some results of measurements and their conclusions.

INTRODUCTION

Les études des sédiments fluviaux se heurtent souvent à de sérieux obstacles parce qu'il n'existe pas encore de théorie pleinement satisfaisante sur le transport des sédiments et il faut encore surmonter un bon nombre de difficultés quant à son évaluation pratique. La solution apparait dans les procédés utilisant en même temps des analyses théoriques, des essais de laboratoires et des mesures sur les rivières. Les mesures *in situ* sont d'importance particulière parce qu'il est indispensable de bien connaître les caractéristiques hydrologiques, morphologiques, hydrodynamiques et sédimentologiques d'une rivière afin d'y étudier les processus de transport des sédiments.

MESURES SUR LE TRONÇON REPRESENTATIF

Les recherches des sédiments fluviaux demandent un équipement parfait et une organisation excellente des mesures. Les mesures sédimentologiques complètes sont coûteuses. Elles sont souvent menées pour résoudre des problèmes posés par des ouvrages hydrauliques. Le choix du tronçon des mesures d'une rivière est limité par le lieu de la construction hydraulique projetée. Cependant, il faut tâcher de choisir un tronçon de la rivière où l'écoulement est uniforme, des trajectoires rectilignes et des caractéristiques hydrauliques, morphologiques et sédimentologiques représentatives pour une région très large. Un choix correct du tronçon donne la possibilité de vérifier quelques relations entre les facteurs hydrodynamiques et le transport solide. Ceci permet une extrapolation des résultats des recherches pour un intervalle de temps plus long et pour d'autres portions du cours d'eau.

Les mesures sur le tronçon de la rivière doivent donner les informations complètes pour les analyses hydrologiques, morphologiques, hydromécaniques et sédimentologiques de la rivière. Elles comprennent:

(a) des observations quotidiennes des niveaux d'eau et des concentrations de sédiments en suspension,

(b) des mesures périodiques le long du tronçon (les sections transversales, les pentes de la ligne d'eau, l'hydrométrie sur plusieurs sections, les analyses granulométriques de sédiment du fond, les formes de lit),

(c) des séries de mesures sédimentologiques complètes dans des conditions hydrologiques différentes comprenant des mesures de la pente de la ligne d'énergie, des vitesses d'eau, du sédiment en suspension (concentrations et granulométrie) et du sédiment de fond charrié.

MESURES DU SEDIMENT CHARRIE

Les mesures de débits du sédiment charrié représentent un problème dont la solution n'est pas complète. Deux méthodes de mesures sont souvent pratiquées: par la nasse et par les traceurs radioactifs ou fluorescents.

Les mesures du sédiment charrié par la nasse demandent une station hydrométrique bien équipée et un degré élevé d'entraînement de l'équipe. On utilise un pont, une plate-forme, ou le bateau pour réaliser les mesures avec ces équipements très lourds. Il faut descendre la nasse au fond en plusieurs points de mesure à la section. A chaque point, la mesure se répète plusieurs fois.

Les problèmes des mesures par la nasse sont: le contact au fond, les vibrations de la nasse, les difficultés à réaliser des mesures pendant les crues, le coefficient de rendement des mesures. Malgré tout, on peut dire que les mesures par la nasse donnent des données correctes de la composition granulométrique du sédiment charrié et des informations approximatives du débit du sédiment charrié.

Les traceurs sont un moyen important dans les recherches des caractéristiques cinématiques et dynamiques de l'eau et des sédiments. L'application des traceurs dans les recherches du mouvement du sédiment charrié a été orientée vers trois problèmes: la vérification des directions des déplacements des sédiments, la détermination de la dispersion du sédiment et les mesures du débit du sédiment charrié.

Les mesures par traceur sont basées sur les méthodes d'intégration des volumes du sédiment entre les détéctions. Le principe des mesures par traceur est assez simple: il faut déposer une certaine quantité de sédiment marqué sur le fond et suivre leur déplacement par détection. Le volume (V) du sédiment charrié est défini par l'expression

$$V = L X_m E \quad (1)$$

où: X_m - déplacement moyen de l'onde du traceur, E - épaisseur d'enfouissement du sédiment, L - largeur de la zone de charriage.

La méthode du "bilan de taux de comptage" de Sauzay-Courtois permet dans le cas d'application des traceurs radioactifs de déterminer l'épaisseur d'enfouissement E sans les échantillons du sédiment du fond (Sauzay, 1967).

La technique de préparation des traceurs radioactifs pour les recherches en sédimentologie est très développée, en premier lieu grâce aux chercheurs français du CEN de Saclay, France. On prépare le traceur de granulométrie voulue, entre une dizaine de micron et 2 mm, avec des caractéristiques de transport, semblables à celles du sédiment sablonneux fluvial. On utilise deux techniques: le verre broyé et le marquage du sable naturel par l'adsorption en surface. On peut également préparer le traceur pour le gros matériel (diamètre supérieur à 20 mm) par perçage de trous et introduction d'un morceau de fil radioactif. Il faut enfin noter qu'il y a des problèmes dans la préparation du traceur radioactif pour les sédiments de granulométrie entre 2 et 20 mm.

L'expérience yougoslave des vingt dernières années, dans les mesures de sédiment charrié, montre que les mesures par la nasse donnent les meilleurs résultats sur les rivières moyennes (largeur de lit entre 50 et 150 m), avec le sédiment charrié de granulométrie non uniforme, en vue du mélange de sables et graviers. Il est souhaitable de faire les mesures du sédiment charrié par les traceurs radioactifs en même temps.

Dans les études de charriage des petites rivières, l'hydrologie spécifique avec les ondes de crue éphémères et les caractéristiques spécifiques du sédiment (mélange de sables, graviers et galets) créent de grandes difficultés à la fois dans la réalisation technique des mesures et dans l'interprétation des résultats. L'expérience a montré que dans ce cas, la technique la plus efficace, et quelques fois la seule possible, pour mesurer le sédiment charrié est la méthode des traceurs.

En comparant les résultats obtenus par les deux différentes méthodes, nous devons exprimer un certain doute quant aux résultats du débit de sédiment charrié obtenus par la nasse, parce qu'ils représentent le débit instantané en un point. Considérant que le mouvement de sédiment charrié est constitué de

déplacements discrets de grains isolés, successivement interrompus par des périodes longues de repos, il est évident que la méthode d'intégration volumétrique et spatiale, offre des résultats plus sûrs.

Evidemment, les traceurs sont un moyen puissant dans les recherches du sédiment charrié. D'autre part, il est importante de souligner que l'application des traceurs n'exclut pas des mesures hydrométriques et sédimentologiques conventionnelles ni des analyses hydrauliques. Il ne s'agit pas d'une concurrence entre les méthodes conventionnelles et la méthode du traceur. Ces méthodes se complètent mutuellement. Leur application parallèle garantit de meilleurs résultats.

ANALYSE DES RESULTATS

Le procédé préliminaire a pour but de déterminer des liaisons fonctionnelles entre la hauteur du niveau d'eau et les paramètres hydrauliques et sédimentologiques. Il faut construire des fonctions du débit liquide (courbe de tarage), de la vitesse moyenne à la section, de la surface de la section, du rayon hydraulique, de la pente de la ligne d'énergie, de la rugosité, du débit de sédiment charrié mesuré par la nasse, des caractéristiques des courbes granulométriques du sédiment charrié, des caractéristiques des courbes granulométriques du matériel du lit qui dépendent de la hauteur du niveau d'eau. Ce procédé élémentaire sert à vérifier les mesures et à préparer les éléments pour le procédé complémentaire, permettant d'analyser les données du débit du sédiment charrié et d'extrapoler la fonction du débit du sédiment charrié.

Dans ce procédé, il faut d'abord passer aux nombres adimensionnels. Entre plusieurs possibilités nous avons utilisé (l'exemple présenté, Fig. 1) la relation entre la fonction du sédiment et la fonction du courant, qui a été obtenue par la méthode des moindres carrés:

$$\Phi = a(\theta - \theta)^3 \quad (2)$$

où: $\Phi = G_B/L g \rho_s \sqrt{\rho' g D^3}$ est la fonction du sédiment, $\theta = u_* / \sqrt{\rho' g D}$ est la fonction du courant, G_B - débit de sédiment charrié, ρ_s - densité du sédiment, $\rho' = (\rho_s - \rho) / \rho$ - densité relative, g - gravité, D - diamètre du grain, u_* - vitesse dynamique.

Sur la même figure nous avons présenté les essais de laboratoire (Gontcharov, 1954) avec les sédiments charriés de diamètre supérieurs à 2 mm (indiqués par les petits points).

On constate quelques différences entre les mesures de laboratoire et les mesures sur la rivière, mais nous avons donné plus d'importance aux mesures sur le terrain. Nous considérons que les spécificités locales (la forme des grains, la non uniformité de la granulométrie etc.) ont influencé les mesures sur place.

On a utilisé la relation (2) pour extrapoler la fonction entre le débit liquide et le débit du sédiment charrié (Fig. 2). On a également, évalué le débit du sédiment charrié par les formules d'Einstein (E), d'Einstein (En, sédiment non uniforme),

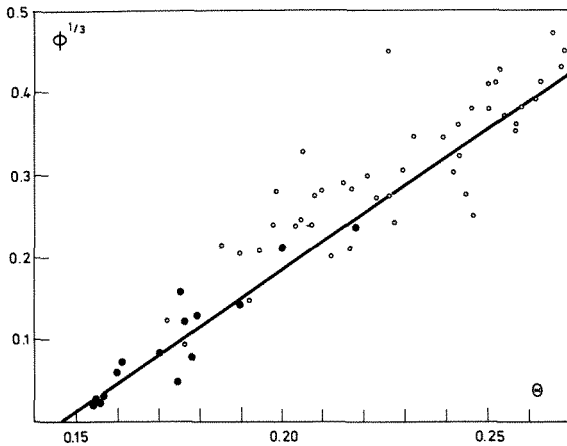


Fig. 1 Fonction $\Phi(\theta)$.

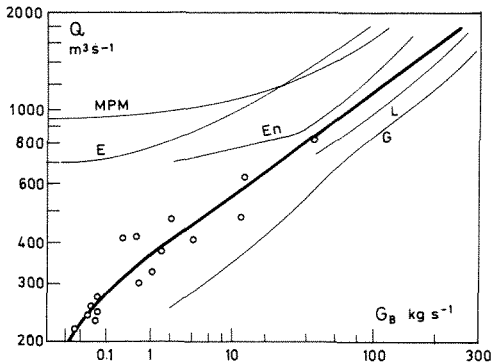


Fig. 2 Fonction $G_B(Q)$.

Meyer Peter-Müller (MPM), Levy (L) et Gontcharov (G). On voit que les résultats obtenus par les formules s'écartent des résultats des mesures dans le domaine d'eaux moyennes. Mais, nous sommes loin de conclure que ces formules ne soient pas d'une grande validité; tout simplement, dans les conditions spécifiques étudiées, la relation (2) donne une description satisfaisante du processus et sert pour l'extrapolation et la simulation d'une série sédimentologique.

Les mesures par les traceurs donnent le volume du sédiment entre les deux détections, réalisées pratiquement pendant l'étiage, parce que les conditions sont idéales et la précision des mesures maximales. Cela signifie qu'on obtient le volume pendant une onde de crue. Un procédé de déconvolution doit être alors appliqué pour déterminer la relation entre le débit du sédiment et les paramètres hydrauliques (débit liquide, par exemple). Pratiquement, il faut ajuster une courbe intégrale du volume du sédiment charrié à la courbe intégrale mesurée par les traceurs.

CONCLUSIONS

On peut constater que, malgré quelques défauts des méthodes des mesures du débit du sédiment charrié, on peut obtenir des informations satisfaisantes en combinant des méthodes conventionnelles et celles des traceurs avec les résultats des essais aux laboratoires et les analyses théoriques.

REFERENCES

- Gontcharov, V. N. (1954) *Osnovy Dinamiki Ruslovyh Potokov*. Gidrometeorologicheskoi Izdatelstvo, Leningrad.
- Sauzay, G. (1967) Méthode du bilan des taux de comptages d'indicateurs radioactifs pour la détermination du débit de charriage des lits sableux. Thèse d'Ingenier-Docteur, Faculté des Sciences de Toulouse.