

MESURES de TRANSPORTS SOLIDES en SUSPENSION
EFFECTUEES par l'ORSTOM en AFRIQUE NOIRE

par P. TOUCHEBEUF de LUSSIGNY

Depuis 1965, le Service Hydrologique de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM) a intensifié l'étude des transports solides qui jusque-là n'avait pas encore été l'objet de recherches systématiques. Plusieurs hydrologues de l'ORSTOM, notamment J. COLOMBANI au TOGO et au DAHOMEY, B. BILLON au TCHAD et J.F. NOUVELOT au CAMEROUN, se sont livrés à des recherches méthodologiques sur les transports solides en suspension. Les résultats auxquels ils sont parvenus ont déjà fait l'objet de publications partielles (voir bibliographie). Notre propos ici est d'établir une première synthèse de ces recherches méthodologiques, qui ont été conduites avec le souci d'aboutir à des procédés pratiques peu onéreux et bien adaptés aux régions tropicales.

1 - PRELEVEMENTS d'EAU en RIVIERE -

1.1. Méthode de prélèvement

Le matériel utilisé comprend, d'une part, le matériel classique utilisé pour les jaugeages de débit liquide :

- canot pneumatique (Zodiac Mark II ou Mark III) équipé d'un moteur hors-bord, ou passerelle pour les petits cours d'eau ;
- câble gradué pour repérer la position du canot dans la section de mesure, ou sur les cours d'eau très larges, cercle hydrographique et balises de repérage sur les berges ;
- treuil avec câble électro-porteur, moulinet et saumon (généralement saumon Ott 25 kg de type Sonas-Aras, éventuellement saumon de 50 ou même 100 kg), ou perche pour les petits cours d'eau,

B14061

7/108

69 JUIN 1970

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n° 4061

B

d'autre part, le matériel spécifique pour les prélèvements d'eau :

- pompe à main de type Japy, reliée par un tuyau de caoutchouc à un tube de prélèvement fixé au saumon;
- jeu de récipients de 10 litres, dans lesquels sont conservés les échantillons d'eau prélevés.

Nous ne nous étendrons pas sur le matériel classique de jaugeage, sauf pour préciser que le saumon doit, dans la mesure du possible, être d'un poids suffisant pour que l'angle de dérive du câble de suspension reste négligeable (inférieur à 10°), compte tenu du fait que l'adjonction du tube de prélèvement et surtout du tuyau de caoutchouc augmente sensiblement la dérive.

Le tube de prélèvement est fixé au saumon dans une position horizontale. Dans le cas du montage Sonas-Aras, il est soudé à une plaquette métallique, elle-même boulonnée sur la tige métallique de suspension du saumon. Un tuyau de caoutchouc, de 10 ou 20 mm de diamètre intérieur suivant les expérimentateurs, relie l'extrémité aval du tube de prélèvement à la pompe. Ce tuyau doit être assez épais et renforcé par une armature textile, pour qu'il n'ait pas tendance à s'aplatir pendant le pompage. Pour éviter cet aplatissement, il faut limiter les pertes de charges et ne pas couder à angle droit le tube de prélèvement, surtout si l'on utilise une pompe Japy assez puissante (modèle n° 2). Un léger coude de 140° à 160° vers le haut est cependant admissible. La pompe Japy est fixée dans le canot à proximité du treuil (fixation sur le porte-à-faux métallique dans le cas d'un treuil Ott du type Nawa).

Les récipients utilisés pour conserver les prélèvements d'eau sont constitués soit par des jerricans de 10 litres en plastique, soit par des dames-jeannes en verre de même contenance. Les jerricans nécessitent un transvasement à l'arrivée au laboratoire, mais ils sont beaucoup plus pratiques pour le transport que les dames-jeannes qui doivent être protégées contre les chocs (tressage d'osier ou panier). Les récipients sont repérés par un numéro marqué à la peinture.

Le matériel de prélèvement utilisé par les hydrologues de l'ORSTOM peut paraître assez rudimentaire par rapport aux échantillonneurs plus perfectionnés du genre de la "turbidisonde Neyrpic" ou des "sediment samplers". En fait, tout en étant d'un prix d'achat plus faible, il présente sur eux l'avantage de permettre des prélèvements plus importants, ce qui améliore la précision des résultats de mesure en réduisant très sensiblement l'importance relative des erreurs et pertes de matière solide au cours des manipulations de laboratoire. Cet avantage compense largement l'inconvénient d'un prélèvement moins correct du point de vue théorique.

L'appareillage de l'ORSTOM peut, en effet, à première vue, porter à critique du fait que l'eau pénètre dans le tube de prélèvement avec une vitesse accélérée ou ralentie par l'effet du pompage. Contrairement aux échantillonneurs classiques, notre appareillage ne comporte pas de dispositif spécial pour éviter de modifier la vitesse naturelle de l'écoulement au point de prélèvement.

Mais les échantillonneurs classiques visent à effectuer, en un temps donné, des prélèvements dont le poids de matière solide soit proportionnel au produit de la vitesse V du courant par la concentration C en matière solide.

Au lieu de mesurer directement ce produit $V \cdot C$, que l'on peut appeler "densité de débit solide", notre appareillage vise seulement à mesurer la concentration C , la vitesse V étant mesurée indépendamment par la méthode classique du moulinet.

La question essentielle qui se pose est donc de savoir si la concentration C est sensiblement perturbée par la modification de la vitesse au point de prélèvement. Des essais systématiques à différentes cadences de pompage et des comparaisons minutieuses avec d'autres techniques de prélèvement devront permettre de répondre complètement à cette question.

Les premiers essais effectués tendent à indiquer que l'influence de la vitesse sur la concentration est faible et introduit des erreurs de mesure généralement très inférieures à 10 %. Il est d'ailleurs probable que cette influence est tout à fait négligeable pour les particules d'argile et de limon fin d'un diamètre inférieur à 0,02 mm. Elle ne commencerait à devenir appréciable que pour les limons grossiers et surtout pour les sables de diamètre supérieur à 0,1 mm.

Dans la majorité des cas, les éléments sableux ne constituent qu'une faible fraction des transports solides en suspension. Les échantillonneurs classiques prélèvent des volumes beaucoup trop réduits pour donner un échantillonnage valable de ces éléments. Si l'on cherche à les mesurer de façon précise, il est recommandé d'utiliser, en plus de notre appareillage, un échantillonneur à décantation du type "Bouteille de Delft DF 12", mis au point par le Laboratoire d'Hydraulique de DELFT (Hollande). Cet appareil présente l'avantage de permettre de prélever non pas quelques grains de sable isolés, mais plusieurs dizaines de grammes de sable en prolongeant la mesure aussi longtemps que nécessaire (10 ou 20 minutes par exemple).

Les essais systématiques relatifs à l'influence de la vitesse de pompage sur la concentration devront être conjugués avec un programme de mesures permettant de mettre en évidence les fluctuations de concentration liées à la turbulence de l'écoulement. Ces fluctuations encore mal connues sont sans doute susceptibles d'affecter la précision des mesures de façon non négligeable, si les échantillons sont prélevés trop rapidement. Pour cette raison la durée d'un prélèvement de 10 litres devrait être d'au moins une minute.

La méthode de prélèvement utilisée par les hydrologues de l'ORSTOM suppose, comme on l'a déjà vu, que les vitesses d'écoulement soient mesurées indépendamment au moulinet, ce qui est facile à réaliser en pratique puisque l'appareillage de prélèvement comporte tout le matériel nécessaire. Les mesures de vitesse sont faites en principe avec la même densité que pour les jauges classiques (en général 40 à 100 mesures réparties sur 10 à 15 verticales). Cette densité est supérieure à celle des prélèvements, comme on le verra en 1.2. Cependant, pour les petits cours d'eau de régime plus ou moins torrentiel, on peut être contraint de réduire la densité des mesures de vitesse, de façon que pendant la durée totale des opérations le niveau de l'eau ne varie pas de plus de quelques centimètres.

1.2. Densité des points de prélèvement

La densité des points de prélèvement dans la section de mesure est limitée par les possibilités pratiques de transport des échantillons. La durée des opérations de prélèvement et de dépouillement au laboratoire peuvent également imposer certaines limitations.

Dans beaucoup de cas, il apparaît que la concentration varie moins que la vitesse dans la section de mesure. Il n'y a donc pas d'inconvénient à admettre une densité de prélèvements sensiblement inférieure à la densité des mesures de vitesse.

Jusqu'à présent, les densités de prélèvements adoptées par les hydrologues de l'ORSTOM ont varié entre 12 et 32 points, répartis sur un nombre de verticales compris entre 5 et 8. Ces densités sont restées assez faibles pour des raisons essentiellement pratiques. De nombreux essais seront nécessaires pour évaluer le gain de précision procuré par une augmentation de la densité et pour déterminer la répartition optimale des verticales dans la section et des points de prélèvement sur chaque verticale.

Il sera sans doute difficile d'établir à ce sujet des règles générales suffisamment précises. Cependant, on peut déjà dire que le nombre de verticales doit être d'autant plus grand que le lit est large et irrégulier. A la suite des essais qu'il a effectués sur le CHARI à FORT-LAMY (largeur de l'ordre de 400 m, profondeur maximale d'environ 10 m), B. BILLON, par exemple, a estimé qu'un nombre de huit verticales était insuffisant, car il a observé des variations transversales de concentration assez rapides (30 à 50 % en quelques dizaines de mètres). Dans ce cas là, une douzaine de verticales aurait été plus appropriée.

En ce qui concerne le nombre de points par verticale, il ne devrait jamais descendre au-dessous de 3, à l'exception de certains cas où la concentration varie très peu le long de la verticale (forte turbulence, faible profondeur, très faible proportion d'éléments sableux). Une moyenne de 4 points par verticale semble convenir le plus souvent. Cependant, dans le cas déjà cité du CHARI à FORT-LAMY, B. BILLON a constaté dans les trois derniers mètres au-dessus du fond une augmentation rapide de la concentration qui nécessiterait de porter de 4 à 6 le nombre de prélèvements par verticale. L'augmentation de la concentration vers le fond est un phénomène général, mais elle est particulièrement prononcée sur le CHARI, alors que souvent elle est largement compensée par la diminution de la vitesse et ainsi affecte peu le calcul du débit solide.

Notons enfin que pour les petits cours d'eau, la densité optimale doit tenir compte des variations du débit solide qui ne doivent pas excéder 10 % pendant la durée des prélèvements.

1.3. Fréquence des prélèvements

La détermination jour par jour des débits solides d'un cours d'eau est assez délicate, car il n'y a pas entre les débits solides et les hauteurs limnimétriques une relation définie, analogue à la courbe d'étalonnage que l'on utilise pour évaluer les débits liquides.

Pour suivre les variations du débit solide, il est donc nécessaire d'effectuer des mesures très fréquentes, à une cadence quotidienne par exemple, pour un cours d'eau dont les variations de débit atteignent couramment 10 % d'un jour à l'autre.

Comme, en pratique, il n'est pas possible d'envisager des mesures complètes à une telle cadence, on se contente d'effectuer journalièrement un, deux ou, tout au plus, trois prélèvements en des points bien définis de la section. Des séries complètes de prélèvements sont effectuées seulement tous les 10 jours. Elles permettent de valoriser les mesures quotidiennes en étudiant la corrélation plus ou moins étroite qui existe entre les résultats fournis respectivement par les mesures simplifiées et par les mesures complètes.

L'imprécision de cette méthode est généralement de l'ordre de 10 % et n'excède pas 20 %. Elle pourra vraisemblablement être réduite en faisant intervenir dans la corrélation certains termes correctifs, comme la hauteur limnimétrique, et en recherchant la position optimale des points de prélèvements journaliers.

Dans le cas des petits cours d'eau sujets à des crues rapides, des prélèvements quotidiens sont insuffisants. Il faut prévoir au moins trois, sinon cinq prélèvements bien échelonnés pendant la montée, le maximum et la baisse de la crue.

Par contre, en saison sèche lorsque le tarissement est très régulier, la cadence peut être hebdomadaire pour les prélèvements simplifiés et mensuelle pour les prélèvements complets.

2 - OPERATIONS de LABORATOIRE -

2.1. Décantation et siphonnage

Cette opération peut être effectuée sur le terrain, ce qui évite le transport d'échantillons volumineux, mais pour la précision des résultats il vaut mieux l'effectuer en laboratoire.

Les échantillons transportés dans des jerricans en plastique sont transvasés dans des dames-jeannes de 10 litres étalonnées. Ce transvasement est évidemment inutile si les échantillons ont été directement mis dans des dames-jeannes au moment du prélèvement en rivière. Le remplissage des dames-jeannes a alors été effectué jusqu'à un trait-repère marqué à la base du goulot. Le volume correspondant à ce trait-repère est très voisin de 10 litres et a été mesuré une fois pour toutes avec précision. Grâce à l'étroitesse du goulot, on obtient une erreur sur le volume inférieure à 20 ml, soit une erreur relative de l'ordre de 2 pour mille. Si un transvasement est nécessaire, l'erreur sur le volume reste très largement inférieure à 1 %, mais il faut opérer avec beaucoup de soin pour éviter toute perte de matière solide qui pourrait adhérer au fond du premier récipient.

Dans chaque dame-jeanne, on ajoute 5 ml d'acide chlorhydrique qui provoque la floculation des particules argileuses et on laisse l'échantillon se décanter pendant au moins 24 heures. Pour favoriser la décantation, on peut éventuellement chauffer l'échantillon au bain-marie jusqu'à 50° C, ce qui renforce l'efficacité de l'acide chlorhydrique. Des essais seraient nécessaires pour savoir si un gain appréciable de précision justifie cette opération de chauffage qui permet d'obtenir un liquide parfaitement limpide, mais qui nécessite certaines précautions pour éviter que la dame-jeanne ne se casse (interposer une planchette de bois entre la dame-jeanne et le fond métallique du récipient extérieur).

Après 24 heures de repos on procède au siphonnage, opération délicate où il faut éviter toute manoeuvre maladroite qui remettrait des éléments solides en suspension. On introduit dans la dame-jeanne (de préférence légèrement inclinée au préalable) un tube de siphonnage maintenu de telle façon que son extrémité soit à 3 ou 4 cm du point le plus bas du récipient. La transparence de celui-ci permet de vérifier qu'aucune particule n'a été remise en suspension. S'il n'en est pas ainsi, on attend que la décantation soit à nouveau complète avant de commencer le siphonnage. Vers la fin du siphonnage, il faut également veiller soigneusement à ce qu'aucune particule solide ne soit aspirée.

Le résidu, après siphonnage, est de l'ordre de 300 ml et ne doit pas excéder 500 ml.

2.2. Filtration et dessiccation

On peut opérer directement la dessiccation en transvasant le résidu dans un bécher que l'on place pendant 15 à 20 heures sur une plaque chauffante ou dans une étuve. Cette méthode présenterait un très réel avantage si l'on pouvait se procurer des béchers en verre pyrex présentant, pour des raisons qui apparaîtront en 2.3, les caractéristiques suivantes : couvercle rodé parfaitement étanche, capacité de l'ordre de 600 ml, poids total inférieur à 200 g. Ce type de bécher s'étant avéré introuvable et l'emploi d'un récipient métallique étanche n'étant pas recommandable (l'attaque de l'acide chlorhydrique introduirait des sels parasites), il semble actuellement préférable de procéder à une filtration préalable des résidus de décantation.

Cette filtration présente les avantages suivants :

- Possibilité de rincer la dame-jeanne avec un volume d'eau assez important, ce qui évite des pertes de matières solides.
- Elimination des sels dissous, dont le poids peut dans certains cas atteindre une proportion non négligeable du poids des matières solides. On évite ainsi la détermination d'un terme correctif.
- Possibilité de dessécher simultanément dans l'étuve un nombre plus grand de filtres que de béchers et élimination du risque de casse.

La filtration présente cependant des inconvénients par rapport à la dessiccation directe en béchers étanches :

- Nécessité de mesurer avant filtration le poids de chaque filtre.
- Temps de filtration assez long, surtout si le pH de l'eau est faible.

- Absorption rapide d'humidité atmosphérique par le filtre et par le résidu sec dès la sortie de l'étuve, ce qui nuit à la précision des pesées comme on le verra plus loin.

La dessiccation des filtres chargés du résidu de filtration s'effectue dans une étuve à 110° C et doit durer une vingtaine d'heures.

2.3. Pesée

La balance que l'on utilise pour la pesée des résidus secs, n'a pas besoin d'avoir une très haute précision. Sur les cours d'eau d'Afrique Noire, les concentrations sont le plus souvent comprises entre 25 et 500 g/m³, ce qui pour des échantillons de 10 litres conduit à des résidus secs variant entre 250 et 5000 mg. Une balance précise au milligramme est alors largement suffisante. Un trébuchet, dont la précision n'est que de 5 mg, peut même convenir pour la plupart des cas et a fortiori pour certains cours d'eau torrentiels comme les "mayo" du Nord-CAMEROUN où en crue la concentration dépasse parfois 10 kg/m³. Cependant, en période d'étiage la concentration peut tomber à des valeurs très faibles : on a ainsi mesuré 2,4 g/m³ sur la SANAGA à NACHTIGALL en Mars 1969. On peut alors être tenté d'utiliser une balance précise au 1/10 mg, mais cette précision serait assez illusoire compte tenu des diverses manipulations auxquelles sont soumis les échantillons. L'emploi d'une balance à mesure directe présente par contre un net avantage pour réduire la durée des pesées.

Une première précaution à prendre est de ne pas peser les filtres chargés du résidu sec dès leur sortie de l'étuve, mais d'attendre qu'ils se soient refroidis à la température ambiante, ce qui demande environ une demi-heure. Un corps chaud posé sur le plateau d'une balance crée, en effet, des mouvements convectifs de l'air environnant qui conduisent à une erreur par défaut sur le poids. Cette erreur peut atteindre plusieurs dizaines de milligrammes pour un corps porté à plus de 100 ° C.

Une seconde précaution indispensable est de laisser refroidir les filtres chargés de résidu sec non pas à l'air libre mais dans un dessiccateur efficace, pour éviter l'absorption d'humidité atmosphérique. Des essais systématiques ont en effet montré que cette absorption est loin d'être négligeable, même dans un climat relativement sec comme celui du Nord-CAMEROUN. A MAROUA, avec une température de 33° C et une humidité relative de 29 %, le poids des filtres laissés à l'air libre augmentait de 50 à 125 mg (suivant l'importance du résidu sec) pendant les 30 minutes qui suivaient la sortie de l'étuve. A YAOUNDE, où le climat est beaucoup plus humide, le gain de poids avec une hygrométrie de 82 % était de 50 mg pour les filtres nus pendant l'intervalle de temps compris entre 15 secondes et 3 minutes après la sortie du dessiccateur.

Pour des filtres chargés, le gain de poids dans les mêmes conditions était respectivement de 40, 34 et 43 mg pour des résidus secs de 5000, 2000 et 600 mg, soit des augmentations relatives de 0,8, 1,7 et 7,2 %.

Il est intéressant d'utiliser une balance à lecture directe qui permet de réduire à moins d'une minute la durée des pesées. Il est néanmoins indispensable d'effectuer une correction, tout au moins pour la mesure des faibles concentrations.

Si l'on désigne par :

P_F , P_R et P_T le poids du filtre, le poids du résidu sec et le poids total à l'instant où l'on sort du dessiccateur le filtre chargé ($t = 0$),

p_F , p_R et p_T les augmentations de poids dues à l'absorption d'humidité à l'instant de la pesée ($t = 30$ secondes par exemple),

p'_F l'augmentation de poids du filtre à l'instant de la pesée, s'il était nu,

on a évidemment :

$$P_R = (P_T + p_T) - (P_F + p_F + P_R)$$

Dans cette expression de P_R , la valeur de la première parenthèse est fournie avec précision par la balance, mais la valeur de la seconde parenthèse ne peut être connue que de façon approchée en effectuant avant la filtration une pesée du filtre nu desséché. Cette pesée préalable permet de déterminer la valeur de :

$$P_F + p'_F$$

et fournit une valeur approximative de :

$$P_F + p_F + P_R$$

Pour un climat sec comme celui de MAROUA, cette approximation est excellente et conduit à une erreur inférieure au milligramme, si la pesée s'effectue en moins de 3 minutes, ce qui est possible avec un simple trébuchet. Par contre, pour un climat humide comme celui de YAOUNDE, on a :

$$p'_F > p_F + P_R$$

Il en résulte pour la détermination de P_R une erreur par défaut qui peut atteindre 15 mg d'après les essais.

Une autre façon d'opérer consisterait à effectuer plusieurs mesures successives de $(P_F + p_F)$ et de $(P_T + p_T)$ à des intervalles rapprochés (par exemple pour $t = 15, 30, 45, 60$ secondes). L'extrapolation vers l'instant $t = 0$ des courbes de variations de poids en fonction du temps permettrait de déterminer P_F et P_T , les termes p devenant nuls. Cette méthode fournirait un recoupe-ment sinon un gain de précision très sensible, car l'extrapolation resterait assez délicate.

En définitive, l'absorption d'humidité apparaît comme une cause d'erreur importante en climat humide.

La question se pose de savoir s'il est souhaitable de s'affranchir de cette cause d'erreur en essayant d'utiliser à l'avenir des béciers étanches répondant aux caractéristiques mentionnées en 2.2. On se trouverait alors confronté à un nouveau problème, celui de l'évaluation du poids des sels dissous. Sauf le cas d'eaux très douces, il n'est pas sûr que ce problème soit beaucoup plus facile à résoudre que celui posé par l'absorption d'humidité. Ce point demanderait à être précisé.

3 - CALCUL du DEBIT SOLIDE -

3.1. Concentration des échantillons

Au terme des opérations de laboratoire, il est facile de déterminer la concentration C (en g/m^3) des échantillons à partir du poids de résidu sec P_R (en mg) et du volume V (en dm^3) des échantillons prélevés :

$$C = \frac{P_R}{V}$$

L'erreur relative sur le volume V est au plus égale à 5/1 000. L'erreur absolue sur le poids P_R peut varier entre 1 et 15 mg environ, ce qui, dans les cas les plus courants (P_R compris entre 250 et 5000 mg), conduit à des erreurs relatives situées entre 2/10 000 et 6/1 000.

L'erreur relative sur la concentration des échantillons varie donc très largement et peut s'échelonner entre 5/1 000 et 6,5/100, hormis le cas des eaux extrêmement peu chargées des écoulements d'étiage, pour lesquelles l'erreur relative peut être de l'ordre de 100 %.

3.2. Méthode de la double interprétation graphique

Le calcul des concentrations C des échantillons prélevés sur une verticale et la mesure des vitesses V effectuée au moulinet sur cette même verticale permettent de tracer les courbes de variations de C et de V en fonction de la profondeur y , puis d'en déduire la courbe de variations de la densité de débit solide $d = C \times V$ en fonction de y . Le tracé préalable des deux courbes $C(y)$ et $V(y)$ permet de tenir compte dans le tracé de $d(y)$ de toutes les mesures effectuées sur la verticale dans le cas fréquent où les mesures de vitesse sont plus nombreuses que les mesures de concentration.

La vitesse étant un facteur du débit solide aussi important que la concentration, il est également intéressant de tenir compte des verticales le long desquelles ont été effectuées uniquement des mesures de vitesse. En traçant, comme l'a suggéré J. COLOMBANI, les courbes de variations de C et de V en fonction de la distance horizontale x , pour différentes valeurs de y (par exemple : $y = 0,5$ m, 1 m, 2 m, 3 m etc...), il est possible de déterminer les courbes correspondantes $d(x)$, puis d'interpoler les courbes $d(y)$ correspondant aux verticales pour lesquelles on dispose uniquement de mesures de vitesse.

Le calcul du débit solide s'effectue ensuite par une double intégration graphique, de la même façon que le calcul classique du débit liquide. Le planimétrage des surfaces délimitées par les courbes $d(y)$ correspondant aux diverses verticales donne la valeur des débits solides m par unité de largeur. Le planimétrage de la surface délimitée par la courbe $m(x)$ donne la valeur du débit solide en suspension M (en grammes par seconde).

Comme pour le calcul des débits liquides, on peut effectuer la double intégration graphique d'une autre façon. On trace les courbes d'égale densité de débit solide dans la section de mesure. On planimètre les surfaces cumulées délimitées par ces courbes pour des valeurs décroissantes de d et on en déduit une courbe $S(d)$ donnant la surface de la partie de la section où la densité de débit solide est supérieure ou égale à une valeur donnée. Le planimétrage de la surface délimitée par cette nouvelle courbe donne la valeur du débit solide en suspension M .

3.3. Méthode simplifiée

La méthode précédente revient à déterminer le débit solide M par une intégrale double qu'on peut écrire sous la forme générale :

$$M = \iint_S C.V. dS$$

En désignant par Q le débit liquide dans la section de mesure, on peut définir une concentration moyenne C_p telle que :

$$M = C_p \times \iint_S V \cdot dS = C_p \cdot Q$$

C_p est la moyenne des concentrations pondérées par la vitesse. Une méthode de calcul simplifiée consiste à prendre comme valeur approchée de C_p la moyenne arithmétique C_a des concentrations des échantillons et d'en déduire le débit solide par la relation :

$$M = C_a \cdot Q$$

Les concentrations étant généralement plus fortes au voisinage du fond où les vitesses sont au contraire plus faibles, on doit s'attendre à ce que C_a soit légèrement supérieure à C_p . C'est ce qu'ont confirmé les essais de J. COLOMBANI, tout au moins dans le cas où des difficultés pratiques n'avaient pas empêché d'effectuer des prélèvements près du fond.

Lorsque les points de prélèvements sont bien répartis dans la section de mesure et que les concentrations ne varient pas très fortement d'un point à l'autre de la section, la méthode simplifiée conduit à une surestimation du débit solide de l'ordre de 2 à 3 % en moyenne par rapport à la méthode complète. Par contre, dans le cas de concentrations très variables dans la section, l'écart serait peut-être de 10 %.

La méthode simplifiée présente l'avantage pratique de permettre le calcul des débits solides sans avoir à effectuer de mesures de vitesse, à condition que l'étalonnage des débits liquides soit déjà bien connu. Il faut, bien entendu, veiller à ce que la méthode soit applicable sans perte de précision excessive et apporter éventuellement un terme correctif par comparaison avec des mesures complètes.

La simplification de la méthode peut encore être poussée plus loin en réduisant les prélèvements d'échantillons à un tout petit nombre (entre 1 et 3). Comme déjà indiqué en 1.3, cette méthode présente le gros avantage de permettre une évaluation quotidienne du débit solide. Pour que la précision reste acceptable, il est cependant indispensable qu'une corrélation satisfaisante soit établie entre la concentration moyenne C_p déterminée par des mesures complètes et la concentration moyenne C_a déterminée à partir d'un nombre très réduit d'échantillons.

4 - PRECISION des RESULTATS

Nous avons vu que la concentration des échantillons peut être déterminée dans la quasi-totalité des cas avec une erreur relative comprise entre 5 °/° et 6,5 %, suivant la turbidité des eaux.

Dans le calcul du débit solide interviennent, en outre, les erreurs d'échantillonnage des concentrations et des vitesses. Ces erreurs sont dues aux imperfections des appareils d'échantillonnage ainsi qu'à la densité et à la durée limitées des échantillonnages.

Dans l'état actuel des recherches de l'ORSTOM, il n'est pas possible d'évaluer avec beaucoup de rigueur ces différentes causes d'erreur. Nous pensons néanmoins que dans la plupart des cas où la teneur des eaux en sables est très minime, l'erreur globale sur le débit solide en suspension reste comprise entre 5 et 10 %, à la condition expresse que l'on prenne toutes les précautions que nous avons recommandées, tout particulièrement en ce qui concerne les opérations de laboratoire. Ce n'est que dans le cas d'eaux très peu chargées (moins de 25 g/m³) que l'erreur relative sur le débit solide peut dépasser largement 10 %, surtout si les opérations de pesée sont effectuées dans une ambiance très humide. L'absorption d'humidité par les résidus secs peut alors devenir, si l'on n'y prend pas garde, une cause d'erreur très importante.

Pour terminer, nous dirons quelques mots des mesures granulométriques qui sont classiques mais qui présentent des difficultés à cause de la faible quantité de sédiments recueillis. Il est nécessaire d'opérer sur plusieurs grammes de matière sèche, ce qui oblige généralement à grouper les résidus secs de plusieurs échantillons. On groupe, dans la mesure du possible, des échantillons prélevés à des profondeurs identiques. Pour les argiles et limons (diamètre inférieur à 0,05 mm), qui sont largement prédominants dans la plupart des cas, on détermine la courbe granulométrique par mesure de la vitesse de sédimentation dans une colonne d'eau immobile. Pour les sables on opère en principe par tamisage, mais les quantités recueillies sont généralement trop faibles pour donner des résultats très significatifs.

BIBLIOGRAPHIE -

1. "Etude des transports solides en Afrique Noire et à Madagascar" par P. TOUCHEBEUF - Annuaire Hydrologique de l'ORSTOM - 1958.
2. "Contribution à la méthodologie des mesures systématiques de débits solides en suspension" par J. COLOMBANI - Cahiers ORSTOM, Série Hydrologie, Vol. IV, N° 2, 1967.
3. "Mise au point des mesures de débits solides en suspension (République du TCHAD)" par B. BILLON - Cahiers ORSTOM, série Hydrologie, Vol. V, n° 2, 1968.
4. "Mesure et études des transports solides en suspension au Cameroun" par J.F. NOUVELOT - Cahiers ORSTOM, série Hydrologie, Vol. VI, n° 4 - 1969.