



2^{ème} année Master
en
Hydraulique Urbaine

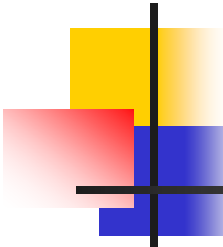
Chapitre2

Techniques de mesure de la charge solide

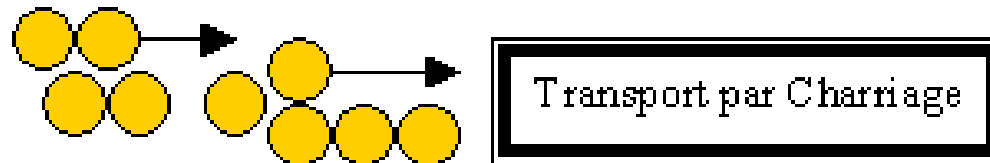


A.N.GHENIM

DEFINITION



Le transport solide par charriage représente le déplacement des sédiments plus ou moins grossiers à proximité du fond par roulement, glissement ou par petits sauts.



Le charriage est un phénomène discontinu dans le temps et dans l'espace

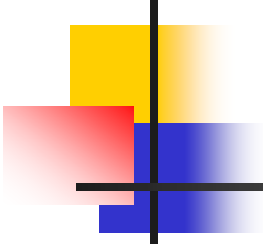
Le charriage progresse à des vitesses plus petites que celles de l'écoulement, et sur des distances relativement petites

Introduction :

Le transport solide est difficile à mesurer pour causes essentielles de perturbation de l'écoulement et de représentativité des mesures ponctuelles en un point par rapport à toute la section du cours d'eau.

Ces mesures peuvent être **directes** permettant de quantifier la charge solide ou **indirectes** ne donnant qu'un aspect qualitatif du flux sédimentaire. Elles peuvent être réalisées sur **place (in situ)** ou au **laboratoire**.





Méthodes de mesure du transport solide en charriage :

Les méthodes de mesure directes :

Méthode des fosses artificielles :

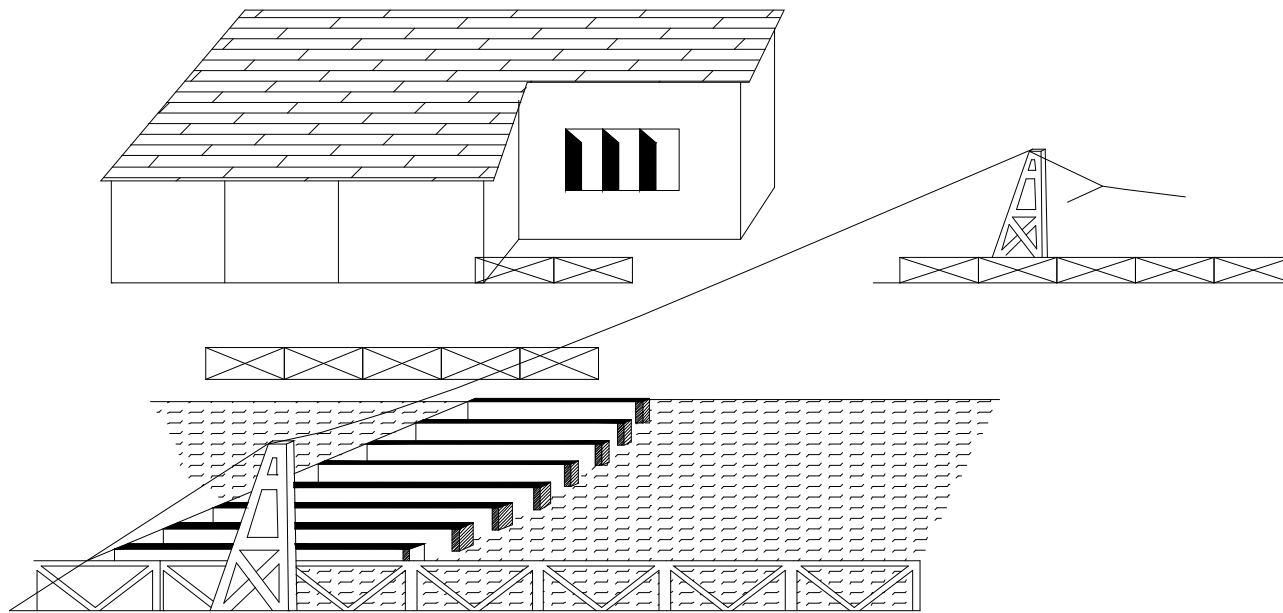
Pendant la période sèche, on procède au creusement d'une fosse dont les dimensions sont adaptées en fonction de la géométrie du cours d'eau et à l'ordre de grandeur de la quantité charriée par l'oued pendant un temps de mesure.

Exemple :

- 100 à 150 m de longueur,
- 15 à 20 m de largeur,
- 1,50 à 2 m de profondeur

Le tonnage des sédiments prélevés de la fosse pendant un temps de mesure donné permet de calculer le débit solide en charriage.

Méthode de la trappe transversale :

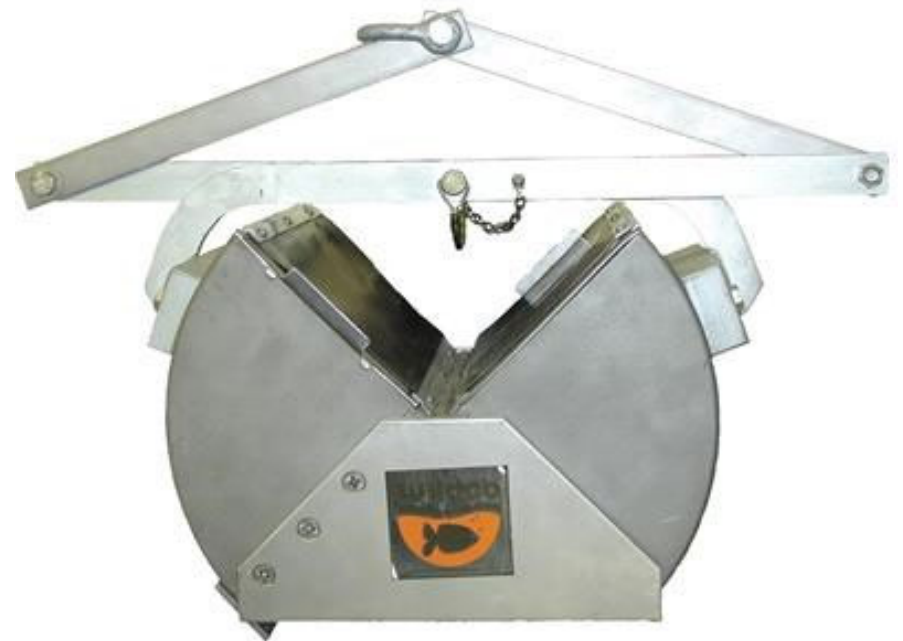
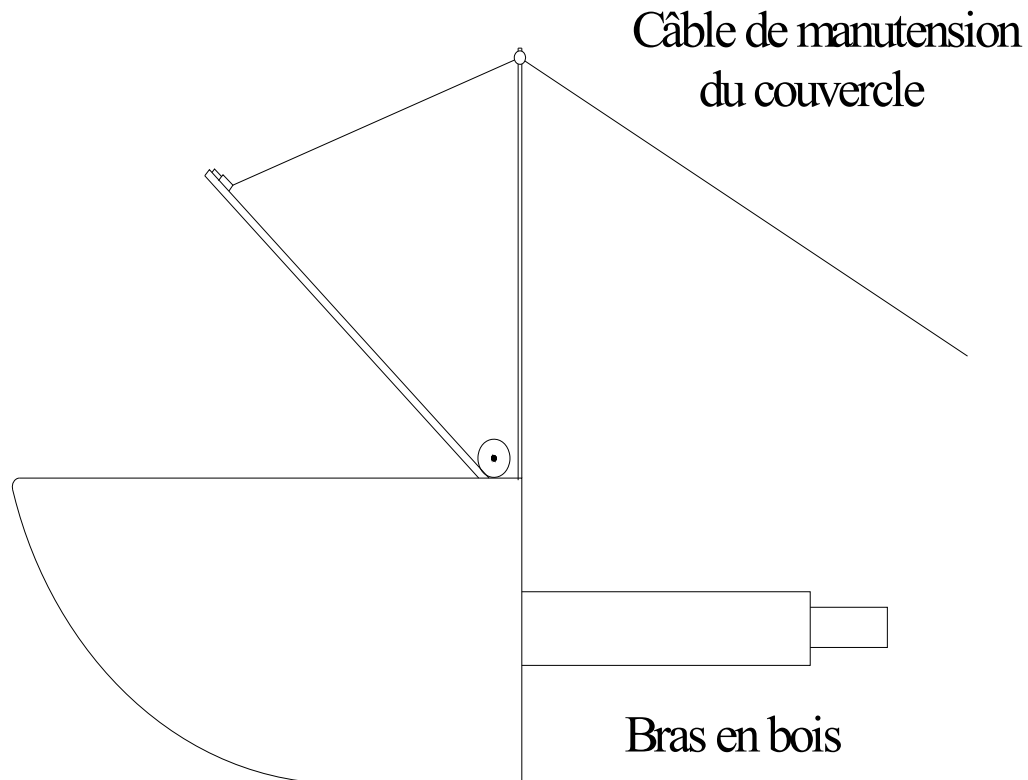


Utilisée aux U.S.A, cette méthode permet de mesurer le débit solide d'un cours d'eau d'une largeur pouvant atteindre 30 m. Un radier est construit sur la largeur totale du lit ; à la partie aval de ce radier, la rivière est divisée au moyen de pilettes en béton en un certain nombre de pertuis de l'ordre du mètre de largeur dont le fond est muni d'une trappe qui peut être ouverte ou fermée. Le débit solide qui tombe dans la trappe est pompé vers une trémie située sur la berge. Cette installation offre l'avantage d'un enregistrement continu du débit solide en charriage, recueilli pratiquement à 100 % mais son coût est important et sa mise en place est difficile.

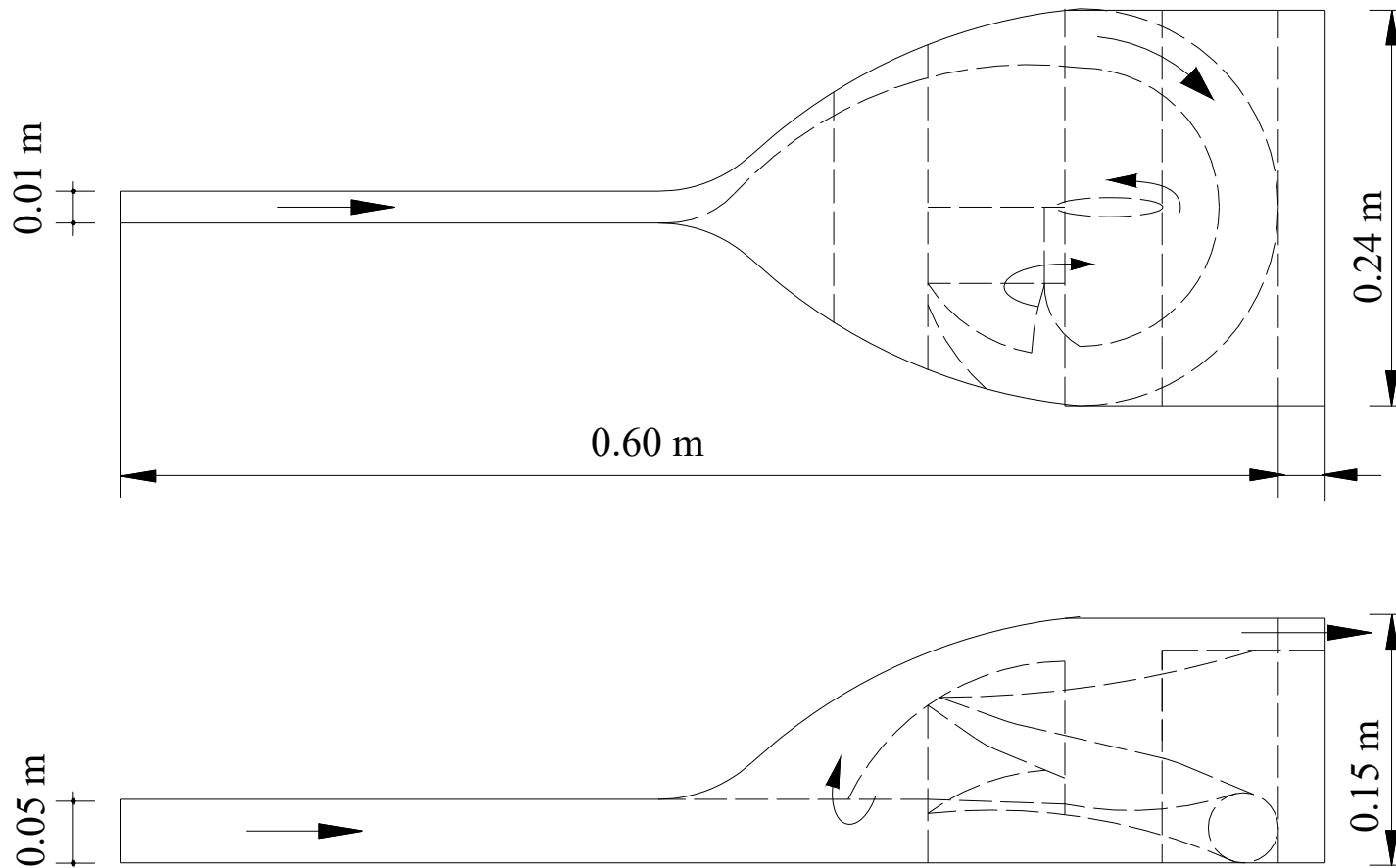
Les méthodes utilisant les appareils de prélèvement :

Appareil du type " à auget" :

L'auget est placé sur le fond en position ouverte et lorsque le câble de tension est lâché, l'auget se ferme prélevant l'échantillon à 5 cm environ du lit.



Appareil du type " sphinx" :

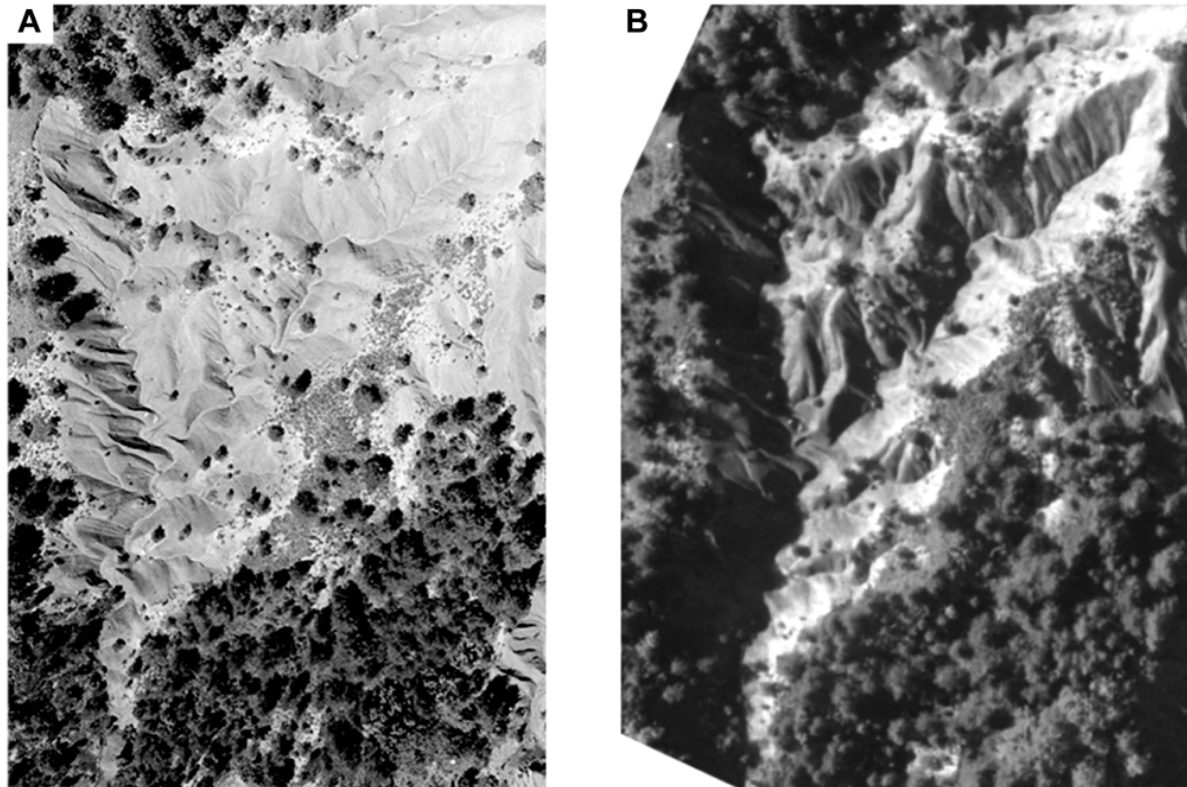


Mis au point pour mesurer le débit de charriage formé de sable fin, cet appareil se compose d'une embouchure rectangulaire, d'un tube spiral et d'une chambre de prélèvement. L'eau entre dans l'embouchure avec une vitesse égale à celle de l'écoulement puis passe à travers le tube spiral vers le sommet de la chambre de prélèvement dans laquelle la vitesse décroît rapidement, ce qui provoque le dépôt des sédiments. Cet appareil a montré une efficacité de 100 %.

Les méthodes de mesure indirectes :

La photo aérienne :

L'observation de documents photographiques pris avant et après des événements tels que les crues ne permet pas de quantifier le transport solide mais seulement de préciser l'ampleur du phénomène ou de mesurer le déplacement de matériaux artificiellement déposés par l'homme.



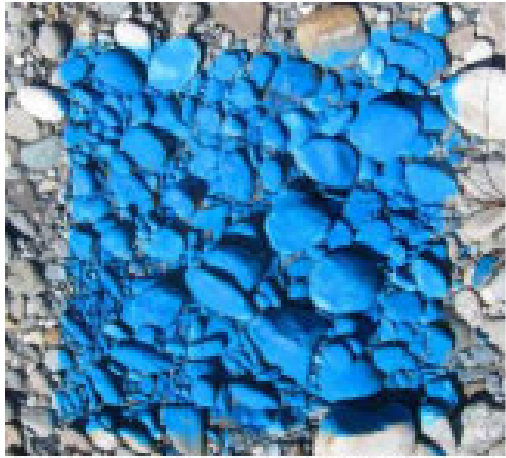
50 m

Le détecteur hydrophonique :



Les mouvements de sédiments sur le fond par roulement, glissement ou saltation créent des ondes soniques audibles. Des instruments acoustiques sont conçus pour détecter ces ondes. Le détecteur hydrophonique permet d'enregistrer le son émis par les graviers et les sables grossiers roulant et heurtant une plaque vibrante liée à un microphone qui enregistre les coups transmis à un récepteur. Cet appareil permet de déterminer le début et l'arrêt de l'entraînement des matériaux.

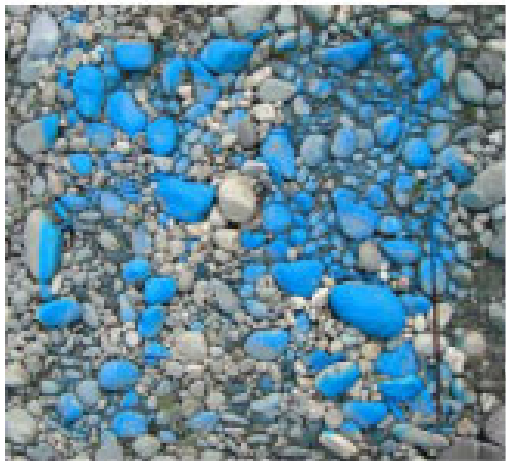
La méthode du marquage de galets :



Pas de mobilité ni dépôt



Dépôt de sédiments fins



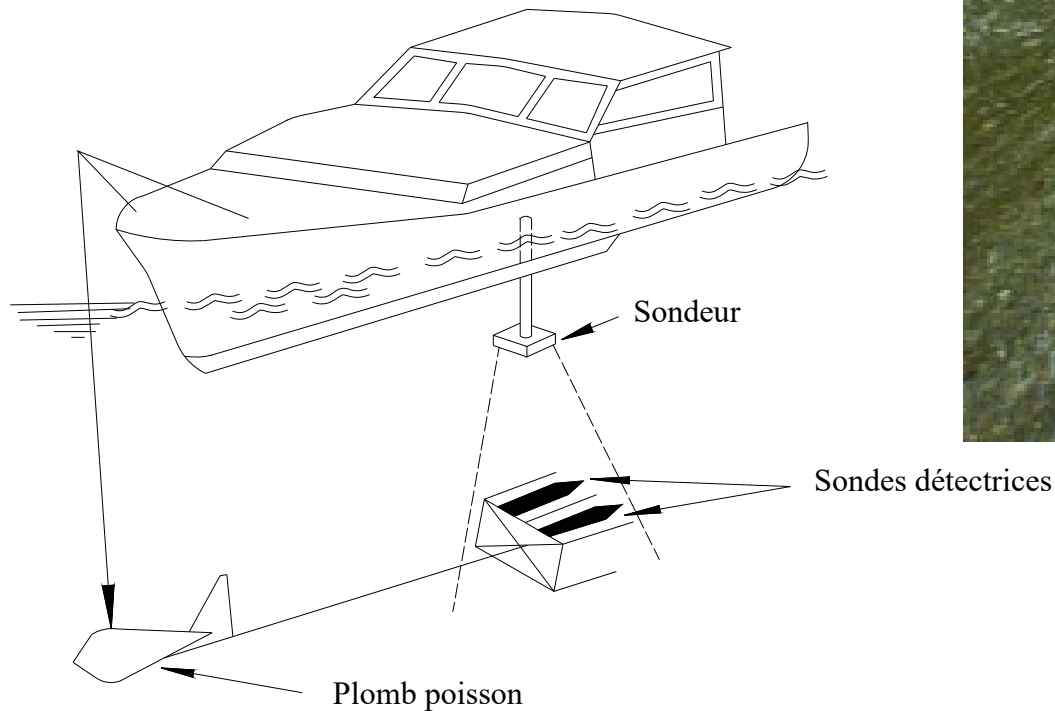
Mobilité partielle moyenne



Mobilité partielle forte

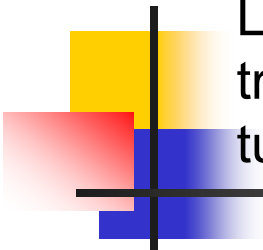
Elle ne permet d'avoir que des informations qualitatives du phénomène.

a) Marquage à la peinture : Des galets prélevés du cours d'eau sont peints à la peinture (rouge par exemple) et replacés dans la rivière. Le déplacement observé de ces galets permet d'apprécier le phénomène du transport solide à différents points de la section de mesure .



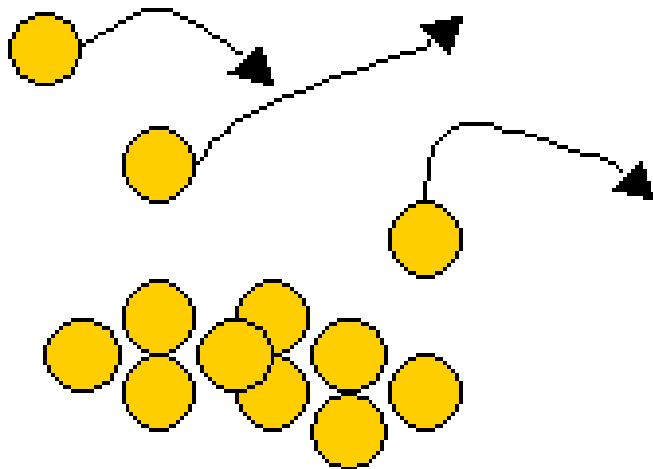
b) Marquage radioactif : Cette méthode consiste à immerger en un endroit déterminé un sédiment rendu radioactif et dont les caractéristiques physiques (densité, granulométrie, forme) sont identiques à celles du sédiment naturel et à suivre à l'aide de détecteurs de rayonnement la migration de ce sédiment. La détection s'effectue en Déplaçant sur le fond un traîneau comportant deux ou trois détecteurs étanches. L'ensemble des mesures effectuées permet le traçage des courbes iso-actives dont l'interprétation permet de déterminer le débit solide en charriage.

DEFINITION



Le transport solide en suspension se fait par envols et ne comporte que très épisodiquement des retombées des sédiments sur le fond. La turbulence est le facteur principal de la suspension des sédiments.

La suspension est essentiellement conditionnée par le niveau de la turbulence, les vitesses d'écoulement et la concentration des particules en mouvement près du fond.



Transport des Sédiments
en Suspension

Méthodes de mesure du transport solide en suspension :

a/ Mesures instantanées par échantillonnage

Méthode approchée : Elle consiste à effectuer des prélèvements d'échantillons en **bordure** et à la **surface** du cours d'eau dans une zone d'écoulement turbulent. On mesure la concentration de l'échantillon au laboratoire par **filtration**, **étuvage** et **pesée**. Le calcul du débit solide en suspension est basé sur la mesure du débit liquide de l'écoulement puisque :

$$Q_{SS} = C \cdot Q_L$$

Q_{SS} : Débit solide en suspension (kg/s)

Q_L : Débit liquide (m³/s)

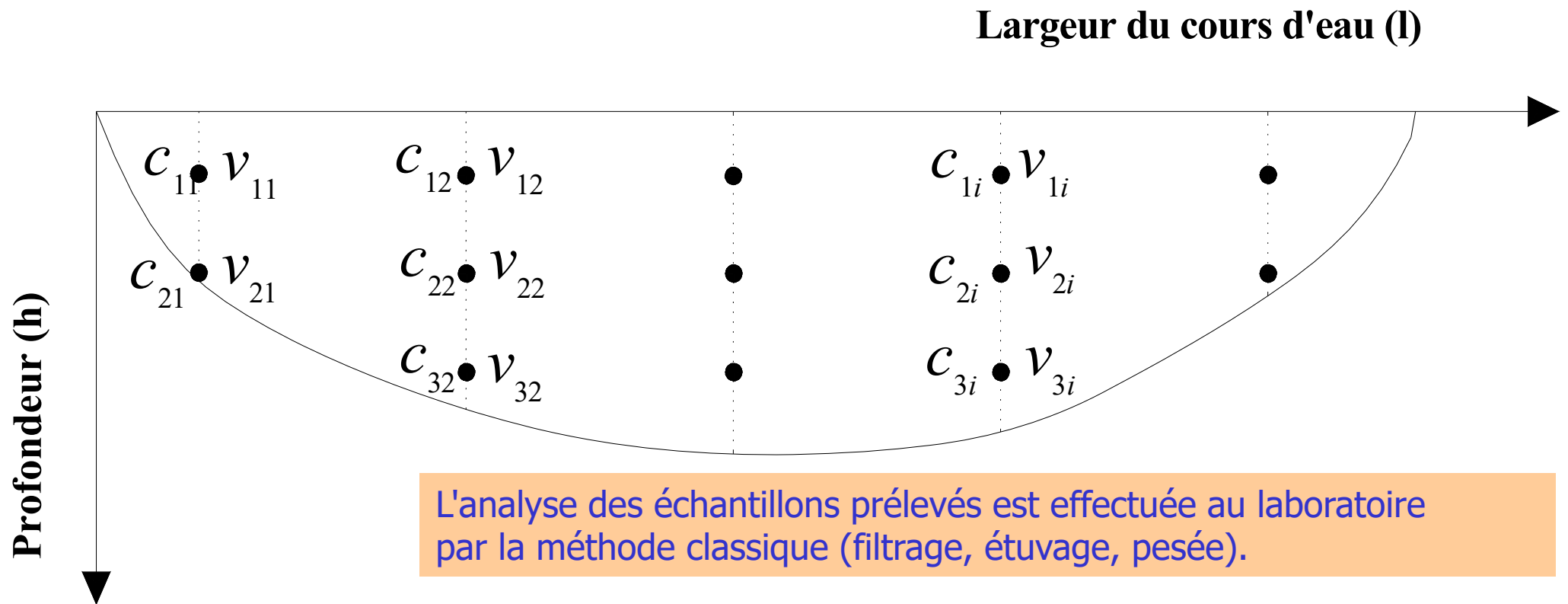
C : Concentration

Si les sédiments en suspension étaient uniformément distribués dans la section du cours d'eau, un échantillon prélevé à n'importe quel point dans la section donnerait une mesure de la concentration moyenne des sédiments suspendus. Mais cette concentration connaît une variabilité spatiale et temporelle. En effet, la concentration en sédiments varie le long d'une section de mesure, du fond du cours d'eau vers la surface et d'un instant à l'autre.

La principale difficulté de mesure des concentrations réside donc dans le prélèvement d'un échantillon qui représente fidèlement l'écoulement ; d'où le caractère approché de cette méthode.

Méthode par exploration du champ des concentrations : C'est une méthode rigoureuse qui consiste à explorer à travers une **section droite** du cours d'eau, le **champ de concentration** en matières solides et à déterminer le débit solide par **intégration**.

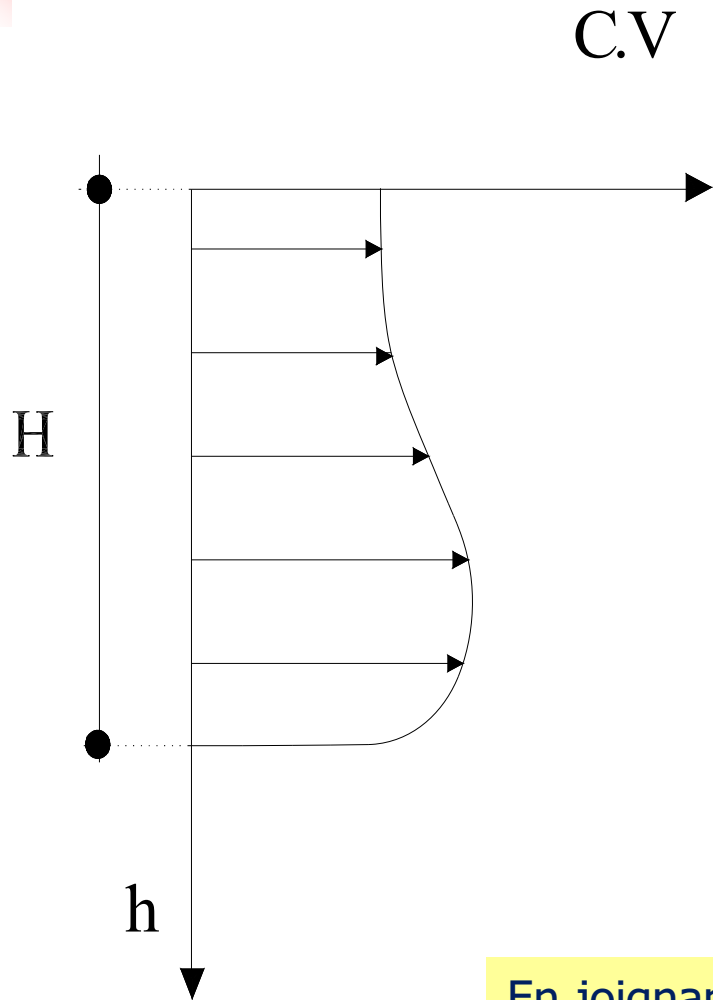
On procède à des prélèvements d'échantillons en différents points de la section de mesure. La détermination du champ de concentration et la détermination du champ de vitesse sont effectués simultanément.



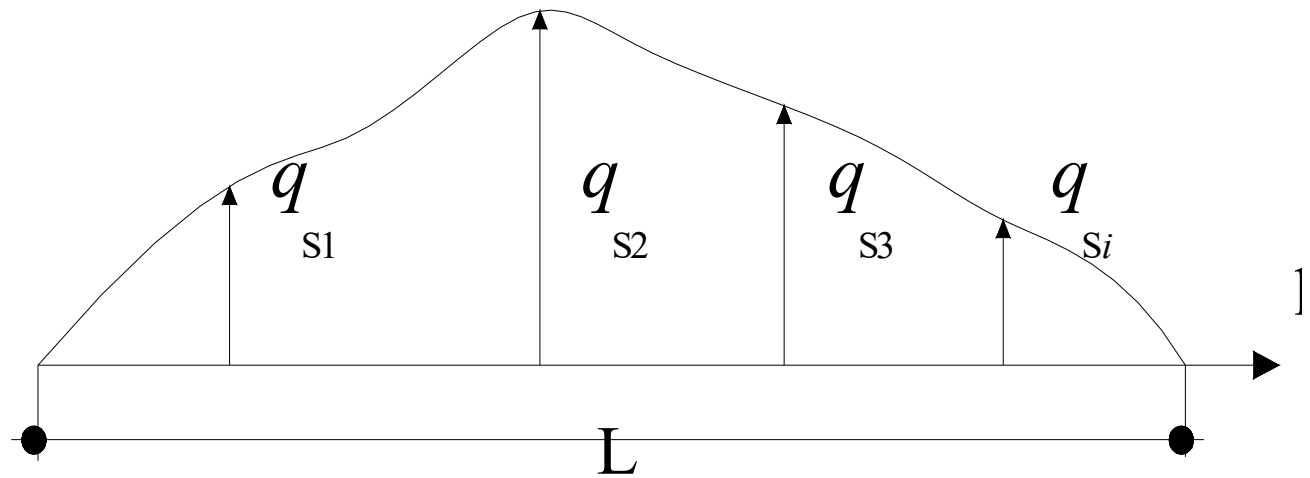
C'est une méthode rigoureuse qui consiste à explorer à travers une section droite du cours d'eau, le champ de concentration en matières solides et à déterminer le débit solide par intégration.

Le dépouillement d'un jaugeage du débit solide se fait de la même façon qu'un jaugeage de débit liquide.

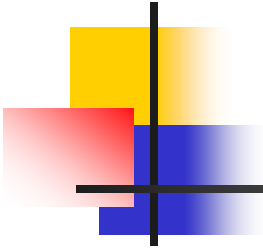
Pour un certain nombre de points répartis sur plusieurs verticales, on dispose d'une mesure de vitesse et d'une mesure de concentration des matériaux en suspension.



Pour une verticale donnée, on reporte le produit $C.V$ en fonction de la profondeur.



En joignant les extrémités des vecteurs $C.V$, on obtient une courbe dont la surface correspond au débit solide par unité de largeur



$$q_{SS} = \int_0^H C.V. .dh$$

- q_{SS} : Débit liquide en suspension unitaire.
- h : Profondeur au point de prélèvement.
- H : Profondeur totale.

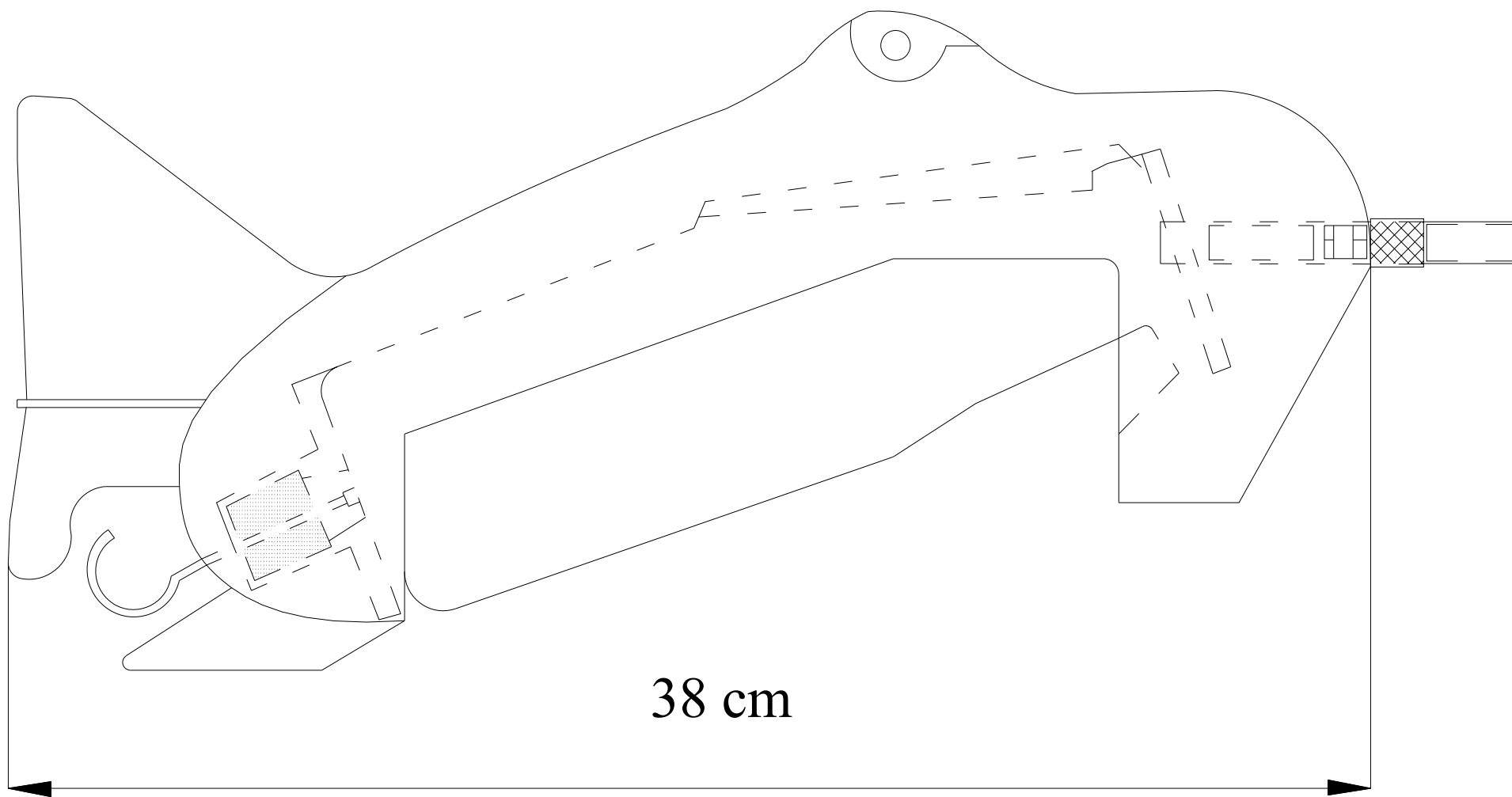
Le débit solide total est obtenu par intégration des débits unitaires le long de la section.

$$Q_{SS} = \int_0^L q_{SS} .dl = \iint_S C.V. .dh .dl$$

- Q_{SS} : Débit liquide en suspension.
- dl : Abscisse d'une verticale quelconque.
- L : Largeur totale de la section.

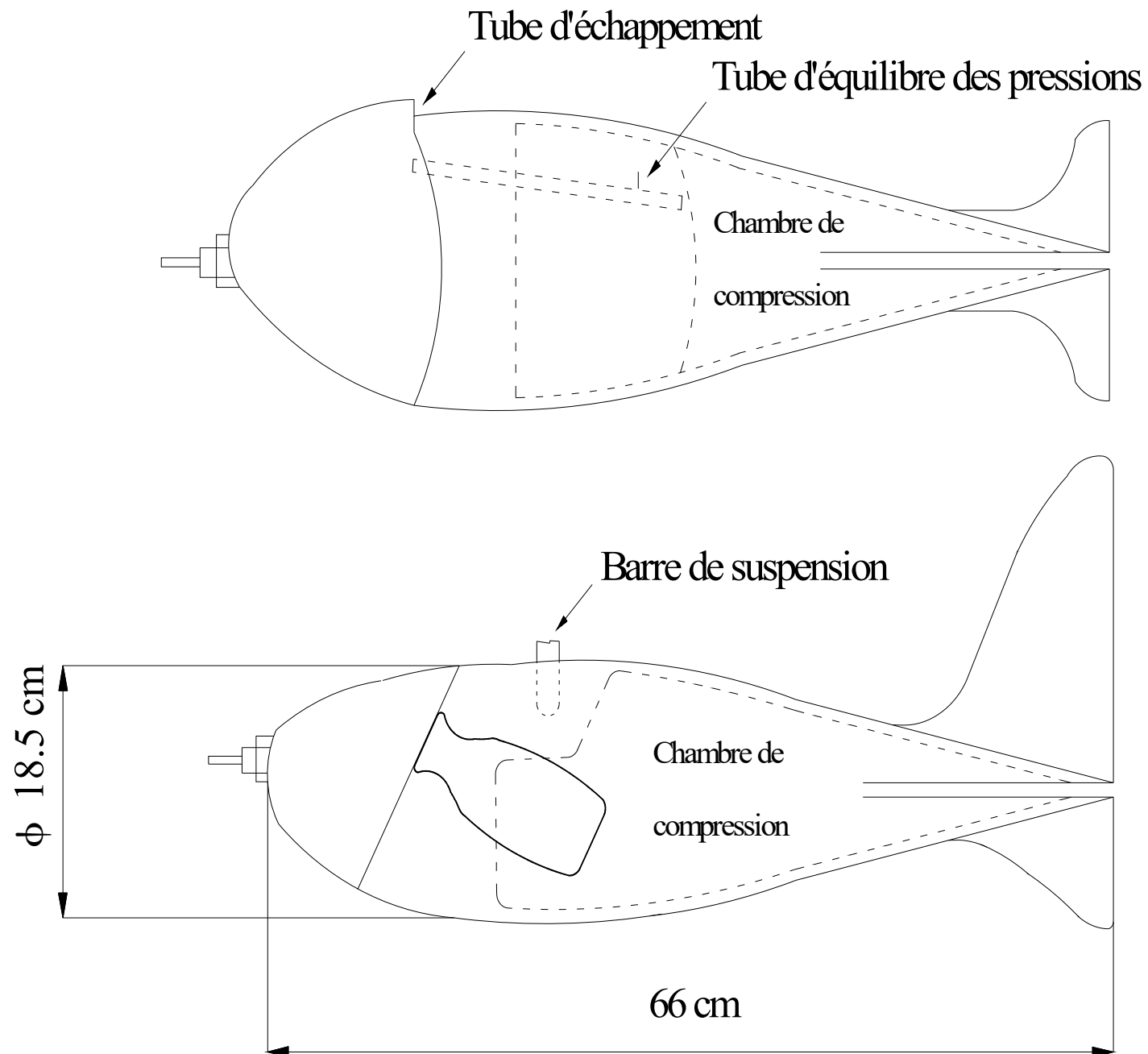
♦ **Turbidisonde à intégration sur la profondeur :**

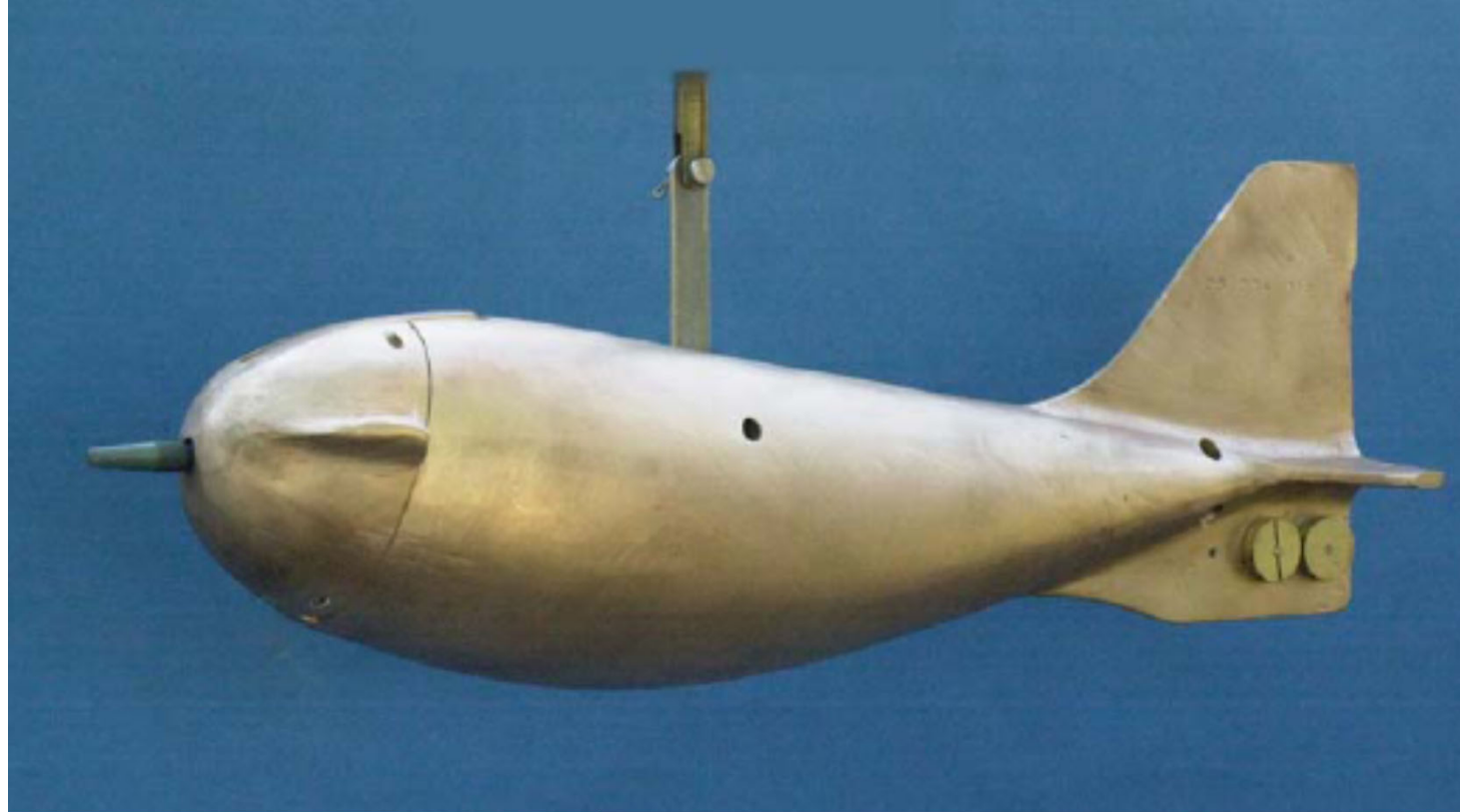
Ce type d'appareil mis au point en particulier aux U.S.A, prélève l'échantillon pendant qu'il se déplace verticalement le long de la profondeur. Il se compose d'un ajutage de prise (34 ou 60 mm), un tube d'échappement du réservoir de prise, un orifice sur le côté permettant à l'air de s'échapper du réservoir de prise pendant le prélèvement.





◆ Turbidisonde à intégration par point :





Ce type d'appareil prélève l'échantillon en un point mais pas instantanément, le prélèvement étant d'une durée importante. Il comporte un ajutage de 4 mm (3/16 pouces), un tube d'échappement d'air, une valve contrôlant la prise d'échappement, une chambre égalisant la pression du réservoir et la pression externe à l'ajutage de prise à toutes les profondeurs.

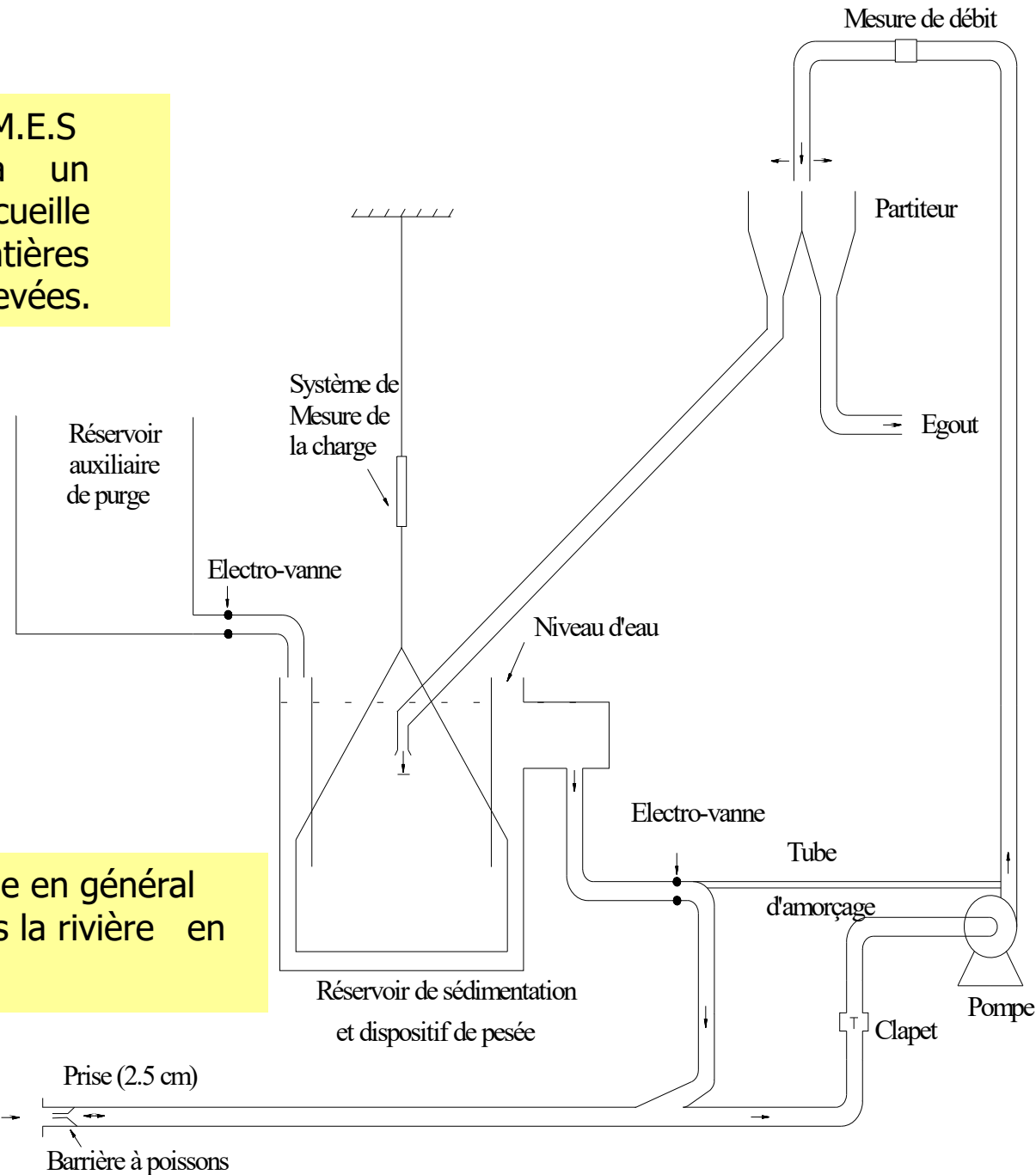
IMPORTANT

Ces appareils font des prélèvements d'échantillons sans altération de l'écoulement, en respectant les conditions suivantes :

- **Prise d'eau parallèle au sens du courant.**
- **Champ de vitesse au voisinage de l'ajutage non perturbé.**
- **Vitesse de pénétration dans le tube de prise voisine de la vitesse du courant.**
- **Distribution granulométrique des sédiments prélevés équivalente à celle des sédiments écoulés.**

Méthode d'enregistrement continu

L'eau chargée en M.E.S est envoyée à un appareil qui recueille et mesure les matières solides ainsi prélevées.



Le prélèvement s'effectue en général par pompage direct dans la rivière en un point fixe.

Il existe trois systèmes pour déterminer la concentration des sédiments prélevés.

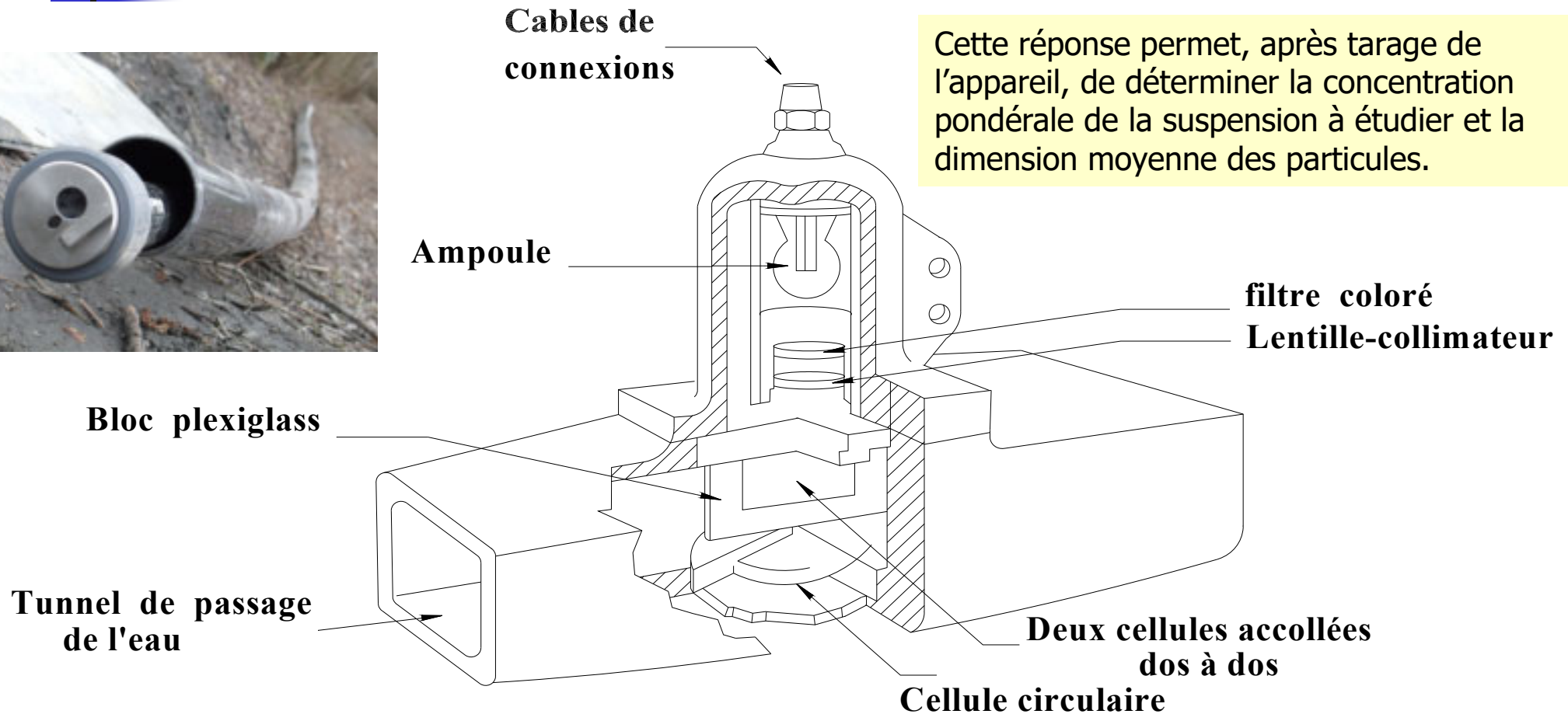
a) Par enregistrement des poids cumulés des sédiments : L'eau pompée est envoyée vers un grand réservoir dans lequel les sédiments décantent sur un plateau suspendu. Le poids du plateau et des sédiments sont enregistrés d'une façon continue, la concentration moyenne des sédiments est calculée à partir du poids des sédiments recueillis sur le plateau et du volume d'eau pompé pendant ce temps.

b) Par enregistrement du volume des sédiments : L'eau prélevée dans le cours d'eau alimente, par l'intermédiaire d'un partiteur, un certain nombre de tubes de sédimentation placés sur une plaque tournante. Après un temps déterminé correspondant à la décantation, un appareil prend automatiquement une photo du niveau de l'eau et des sédiments dans le tube qui est alors vidé pour permettre un autre prélèvement.

c) Par mesures ultérieures en laboratoire : Des échantillons stockés automatiquement dans un certain nombre de flacons de prélèvement sont filtrés et pesés.

Méthodes optiques : L'avantage de ces méthodes réside dans l'estimation de la concentration sans avoir recours aux prélèvements et à l'analyse d'échantillons au laboratoire.

Les appareils utilisés appelés **photomètres** ou **turbidimètres** permettent de relier la concentration en matière solide d'une suspension à ses propriétés optiques. La transparence de cette dernière étant mesurée par la réponse d'une cellule photo-électrique recevant un faisceau d'une source lumineuse à travers la suspension.



SCHEMA D'UN TURBIDIMETRE