

Chapitre 3

DEVELOPPEMENT D'UNE METHODE DE PRELEVEMENT DES SOLIDES CHARRIES EN COLLECTEURS D'ASSAINISSEMENT

3.1. Introduction

Les résultats des mesures sur les compositions du dépôt dans le collecteur 13 de Marseille, montrent que les particules solides charriées ont un rôle important sur sa formation. De par la présence d'un phénomène de fort tri granulométrique, ce mécanisme de transport des solides par charriage peut être très différent de celui rencontré en rivière. Afin de le bien comprendre et de le modéliser, une étude expérimentale sur site s'est elle avérée incontournable.

Dans le domaine du transport solide en canaux découverts, le prélèvement du débit des particules solides n'est jamais un problème facile à résoudre, notamment pour les solides charriés. La difficulté du prélèvement du débit de charriage repose sur les points suivants: 1:/ la complexité de l'écoulement près du fond, ainsi que celle du mécanisme de transport solide, associées à la méconnaissance de l'épaisseur de la couche du charriage; 2:/ la perturbation du piège à sable sur l'écoulement hydrodynamique risquant d'entraîner une modification du transport dans la zone concernée.

Un cas spécifique exige souvent une méthode spécifique. Le grand principe à respecter est de piéger tous les solides tout en évitant de modifier l'écoulement ainsi que le transport solide.

Dans ce chapitre, les méthodes des prélèvements existantes seront étudiées et l'une de celles-ci sera sélectionnée pour les prélèvements des solides transportés par charriage dans le collecteur 13.

3.2. Sélection des méthodes pour les prélèvements des solides en collecteur

3.2.1. Présentation des méthodes des prélèvements existantes

Il existe, dans la littérature, deux méthodes des prélèvements. L'une utilise un type de piège de Helley-Smith (figure 3.2.1-1) qui est installé à la surface du dépôt; l'autre consiste à implanter un piège à l'intérieur du dépôt (figure 3.2.1-2). Leurs principes sont présentés ci-dessous.

La méthode utilisant les pièges de type de Helley-Smith:

La figure 3.2.1-1 schématise le piège de Helley-Smith. Il est installé juste à la surface du dépôt, le volume qu'il occupe est de l'ordre de $0.30\text{m} \times 0.30\text{m} \times 0.50\text{m}$ (*largeur x hauteur x longueur*). Il comporte trois parties: l'entrée, la boîte de stockage des solides et les ailes d'équilibre. L'entrée du piège est une section carrée dont la taille est de $7.62 \times 7.62 \text{ cm}^2$ d'environ. La boîte de stockage est munie à sa sortie d'un filet perforé de trous dont le diamètre d_{bc} peut être adapté selon les besoins ($d_{bc}=0.2\text{mm}$ pour Helley-Smith, $d_{bc}=0.25\text{mm}$ pour Emmet). Ce diamètre d_{bc} doit permettre à l'écoulement entrant de traverser tranquillement la boîte, sa valeur ne dépend donc pas seulement de la taille des particules solides charriées, mais aussi de l'intensité d'écoulement.

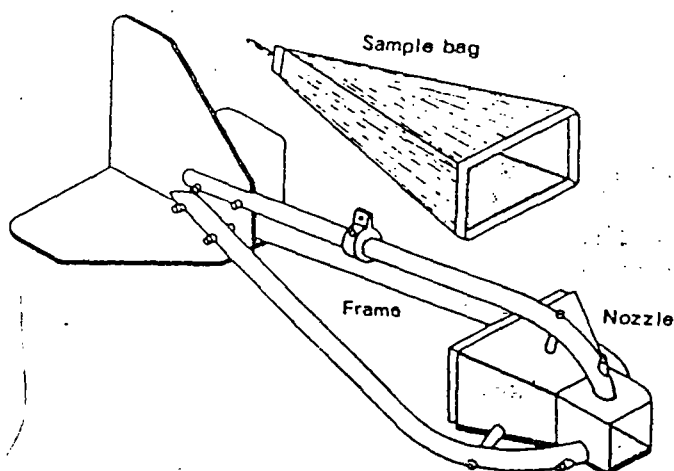


Figure 3.2.1-1 : Schéma de la méthode classique de prélèvement des solides – la méthode d'Helley-Smith

La méthode utilisant les pièges enfouis dans le dépôt (type IMFT):

Cette autre méthode (figure 3.2.1-2) utilisant des pièges implantés à l'intérieur du dépôt est tout à fait différente de celle de Helley-Smith. Elle a été utilisée par l'IMFT dans le cas de grosses particules charriées. Le piège enfoui à l'intérieur du dépôt est muni d'une fente sur sa face supérieure, le principe de la méthode étant de laisser tomber dans le piège les particules solides charriées grâce à l'effet de la gravité.

Il est bien connu que les particules solides charriées sont influencées par la gravité mais subissent aussi l'effet de la turbulence de la paroi. La gravité force les particules solides à sédimenter et joue donc un

rôle positif pour notre méthode de prélèvement, mais la turbulence a tendance à les soulever et joue un rôle négatif. Aussi a-t-il été nécessaire de valider notre méthode pour adapter la fente de façon à ce que le piège intercepte toutes les particules solides charriées.

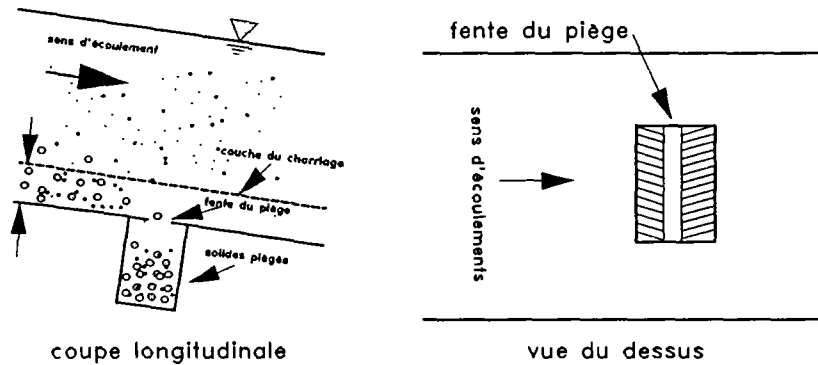


Figure 3.2.1-2 : Schéma de la méthode de prélèvement des solides définie au laboratoire de l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT)

3.2.2. Comparaison des méthodes des prélèvements

Nous allons, dans ce paragraphe, analyser et critiquer les deux méthodes présentées dans le paragraphe précédent.

La méthode utilisant les pièges de type de Helley-Smith:

Avantages.

- 1/ La mise au point du piège de Helley-Smith est facile car il ne s'agit que de le placer à la surface du dépôt et aucune manipulation spéciale n'est exigée. De plus, ce piège peut être placé en des endroits quelconques d'une rivière ou d'un canal découvert sous réserve que sa taille ne soit pas trop encombrante par rapport à la dimension des écoulements.
- 2/ Lorsque le piège arrête horizontalement les particules solides charriées, les effets de la turbulence de paroi et de la gravité n'influencent pas ou influencent peu l'efficacité du fonctionnement de piège. Quelle que soit l'intensité de l'écoulement, le piège peut toujours arrêter les particules solides mobiles ayant des diamètres supérieurs à celui des trous du filet.

Inconvénients.

- 1/ Pour éviter une modification de l'écoulement, cette méthode ne peut pas être utilisée dans le cas où la taille du piège est importante par rapport à la dimension de l'écoulement.

- 2/ Le diamètre des trous du filet de la boîte de stockage d_{bc} doit être assez important pour que l'écoulement traverse la zone de prélèvement avec le même débit qu'en l'absence de piège. Pour que les particules ne puissent s'échapper du piège, une très grande valeur de d_{bc} n'est pas acceptable. Autrement dit, le piège de Helley–Smith n'est pas adapté au cas où le pourcentage des particules fines charriées est important .
- 3/ Les particules solides des tailles et des formes particulières (*les morceaux des tissus et des chiffons, les boîtes en métal et en plastique et des particules légères en fibres, etc*) ont toute possibilité de boucher l'entrée du piège et les trous du filet perforé de la boîte de stockage.

En résumé, le piège de Helley–Smith est efficace lorsque 1:/ les matériaux solides transportés par l'écoulement présentent une granulométrie assez homogène; 2:/ sa taille par rapport à la dimension de l'écoulement est négligeable.

La méthode utilisant les pièges de type IMFT:

Avantages.

- 1/ Le piège peut avoir une taille quelconque car il est planté à l'intérieur du dépôt. Ne perturbant pas l'écoulement, il permet d'effectuer des prélèvements dans un canal de dimension quelconque. S'il s'agit d'un petit canal, on peut définir un piège qui occupe toute la largeur de l'écoulement.
- 2/ Les particules solides particulières ne posent pas de graves problème: soit elles tombent à l'intérieur du piège, soit passent par dessus celui-ci.

Inconvénients.

- 1/ Le piège risque de ne rien attraper si l'effet de turbulence de paroi sur les solides charriés est beaucoup plus important que celui de gravité et dans le cas où les particules charriées sont fines.
- 2/ D'ailleurs, même si la méthode semble bien fonctionner, il est difficile de savoir si toutes les particules interceptées dans le piège proviennent de la couche de charriage ou bien de la suspension.
- 3/ La mise au point du piège est plus difficile que celle des pièges de type d'Helley–Smith. Il faut, par exemple, bien maintenir sa surface haute au niveau de la surface du dépôt.

En un mot, le fonctionnement de cette méthode exige des études soigneuses avant son utilisation dans un cas spécifique. Dès que celui-ci ne pose plus de problèmes, cette méthode est valable quelque soient les tailles des solides charriés, et est notamment efficace dans les cas d'écoulements de petite dimension.

3.2.3. Sélection définitive d'une méthode des prélèvements

Sur la base des critères suivants:

- 1/ La méthode choisie doit s'adapter aux écoulements de faibles dimensions;
- 2/ Elle doit bien fonctionner malgré la présence de particules solides de tailles très variables (voir paragraphe 2.4).

nous avons choisi (naturellement) d'utiliser des pièges de type IMFT, pour mieux connaître les apports solides entrants.

3.3. Etude des problèmes fondamentaux concernant les prélèvements des solides avec la méthode sélectionnée

3.3.1. Présentation des problèmes

Avant de démarrer la campagne de prélèvements, des problèmes fondamentaux qui concernent le fonctionnement de la méthode sélectionnée (voir §3.2.3), sont à étudier. Il s'agit de:

- la sélection des emplacements des prélèvements dans le collecteur 13;
- l'étude du fonctionnement des pièges aux emplacements sélectionnés et notamment la définition de l'ouverture des pièges nécessaire;

3.3.2. Sélection des emplacements des prélèvements

La sélection des emplacements des prélèvements doit premièrement permettre aux pièges de bien fonctionner et deuxièmement aux prélèvements de nous rapporter une connaissance claire sur les caractéristiques de transport solide.

Selon la présentation faite dans les chapitres précédents, on s'aperçoit que tous les phénomènes de dépôt ainsi que ceux de transport solide rencontrés dans le collecteur 13 peuvent être représentés par ce qui se passe dans le tronçon amont. De plus, en raison de la profondeur importante du dépôt dans ce tronçon l'installation des pièges n'est pas un problème (figure 2.2-1). Ceci nous a conduits à définir trois emplacements des prélèvements dans le tronçon amont, qui sont (repérer aux figure 1.2-1 et figure 4.1-1):

EMPLACEMENT-A : il se situe entre les points 3 et 4 juste après l'entrée du collecteur 13. Cet emplacement-A nous permet d'estimer non seulement les débits des solides charriés mais les apports totaux des solides entrant dans le collecteur 13. Par comparaison avec les solides constituant le dépôt à

cet endroit, qui sont de tailles très étendues, les résultats des prélèvements nous permettent également d'analyser les problèmes de masquage, phénomène qui décrit la protection des particules solides fines par les grosses, autorisant certaines particules fines à rester dans le dépôt.

EMPLACEMENT-B: il se situe au milieu du tronçon amont entre les points 9 et 10. Les essais à cet emplacement nous permettent de connaître les mécanismes de transport solide avec des particules solides d'une granulométrie plus faible que celle de l'emplacement-A et avec des conditions hydrauliques plus modérées. Dans le cas où toutes les particules solides charriées sont arrêtées dans le piège à l'emplacement-A, les solides piégés à l'emplacement-B proviennent de l'érosion du dépôt par l'écoulement entre les points 4 et 9. Ainsi, ces prélèvements permettent d'étudier les mécanismes d'érosion.

EMPLACEMENT-C: il se situe juste avant la jonction du collecteur 13 avec celui de Canebière entre les points 12 et 13. A cet endroit, sous l'influence aval du collecteur Canebière, les écoulements sont beaucoup plus tranquilles qu'à l'amont, les solides dans le dépôt présentent des caractéristiques très diverses: importance des matériaux organiques, particules solides fines et de divers densités mais souvent légères, grande porosité sous l'eau ("teneur en eau" selon Laplace 1991). Ainsi, les prélèvements à l'emplacement-C nous permettent d'étudier les mécanismes de transport solide des particules solides fines et légères. De plus, situé à la sortie du tronçon amont, les prélèvements à cet endroit permettent l'estimation des débits et des caractéristiques des solides sortant du tronçon.

3.3.3. Définition de l'ouverture des pièges

3.3.3.1. Problème et principe de la définition

Les particules solides charriées se déplacent dans la couche de charriage soit en glissant, soit en roulant, soit en saltation. Parmi ces trois modes de déplacement, la saltation est le cas où les particules solides s'éloignent le plus du lit. Aussi, la méthode de prélèvement sera efficace et l'ouverture de fente est acceptable si le piège enfoui à l'intérieur du dépôt est capable d'intercepter toutes les particules solides en saltation.

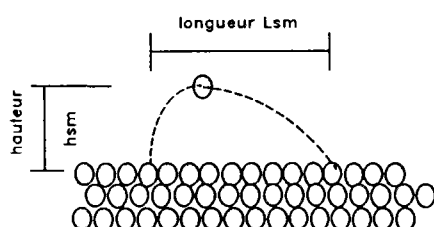


Figure 3.3.3.1-1 : Schématisation d'une particule solide en saltation

La figure ci-contre schématise une particule solide en saltation qui est en train de passer au dessus d'un piège enfoui dans le dépôt. Le piège peut l'intercepter si son ouverture de fente est assez importante ou bien supérieure à la longueur des bonds de la particule solide.

Il existe deux manières pour définir théoriquement cette ouverture de fente, à partir de la longueur ou la hauteur de bond de la particule solide sur le dépôt. Le paragraphe suivant détaille ce problème.

3.3.3.2. Définition de l'ouverture de la fente

La longueur de bond des particules solides charriées est utilisée tout d'abord pour la définition de l'ouverture de la fente du piège.

La longueur ainsi que la hauteur de bond d'une particule solide charriée dépendent de ses propres caractéristiques, de celles de l'écoulement et des aspects de la rugosité du fond. En raison du caractère aléatoire de la turbulence de paroi, cette longueur peut être variable d'un moment à l'autre. Nous définirons l'ouverture de fente L_f à partir de la valeur moyenne des bonds.

Dans la littérature, bien que peu nombreuses, les expressions de la longueur moyenne de bond des particules solides charriées L_{sm} sont très diverses. Certains chercheurs ne l'expriment qu'en fonction du seul diamètre des particules (Einstein 1950); d'autres en fonction du diamètre mais aussi de l'intensité d'écoulement (Bagnold 1968, Hayashi et Ozaki 1980); enfin certains auteurs la relient aux aspects de la rugosité du fond. Trois expressions sont présentées dans le tableau 3.3.3.2-1 et des résultats de calcul tenant compte des caractéristiques du dépôt dans collecteur 13 sont également donnés.

Auteur	Expression	d_s (mm) (figure 2.4-2)	L_{sm} (cm)	L_f (cm)
Einstein (1950)	$\frac{L_{sm}}{d_s} = \lambda \quad (= 100)$	$d_s = d_{s65} = 4.00$	40.0	60.0
Hayashi et Ozaki (1980)	$\frac{L_{sm}}{d_s} = 100\tau'$ pour $\frac{w_o u_o}{v} > 100$	$d_s = d_{s50} = 2.00$ ($< d_{sc} = 3.71$)	2.22	3.33
Van Rijn (1984)	$\frac{L_{sm}}{d_s} = 3D^{0.6}T^{0.9}$	$d_s = d_{s50} = 2.00$	5.40	8.10

* la vitesse de frottement d'écoulement au point 3 est prise en compte qui est environ égale à 0.06m/s

Tableau 3.3.3.2-1 : Détermination de l'ouverture de fente de piège selon les longueurs des sauts des particules charriées

On s'aperçoit que les valeurs de la longueur moyenne de bond calculée à partir des expressions de Hayashi et Ozaki et de Van Rijn sont inférieures à 0.10 mètre. Une très grande valeur est obtenue par l'expression d'Einstein. Ceci est d'origine dû à ce qu'elle ne dépend que des tailles des particules solides. Plusieurs chercheurs ont montré que la valeur du coefficient λ est négociable et variable selon l'intensité des écoulements (Phillips and Sutherland 1988). Imposée à λ de 50 et ramenée à d_s de $d_{s50} \approx 0.002$ mètre (figure 2.4-2), l'expression d'Einstein donne alors une valeur de la longueur moyenne de 0.10 mètre, qui paraît raisonnable.

Mais, il est probable que la présence du piège dans le dépôt peut modifier la longueur moyenne des bonds des particules solides charriées. Ainsi, Nous avons cherché une autre estimation basée sur la hauteur maximale de saut de la particule. Elle suppose qu'une particule peut être soulevée par un tourbillon de fond jusqu'à une hauteur maximale pendant une très courte durée, puis chute comme dans une eau au repos. En même temps, elle s'avance avec l'écoulement à une vitesse de l'ordre de celle de frottement de l'écoulement. Ainsi, l'ouverture de la fente du piège doit être égale ou supérieure à la distance horizontale parcourue par cette particule avant qu'elle ne touche le fond. Dans ce calcul, la hauteur de saut de la particule est supposée égale à celle de saltation. Une ouverture définie de telle manière est beaucoup plus petite que celle avec la méthode précédente (Lin et al. 1993).

3.3.3.3. Choix de l'ouverture de fente L_f

Les deux méthodes ci-dessus donnent une ouverture de fente L_f inférieure à 0.10 mètre. Si nous prenons de plus un coefficient de sécurité égal à $c_{fs}=1.5$, les résultats de calcul (tableau 3.3.3.2-1) montrent qu'une ouverture de fente $L_f=0.10$ mètre environ paraît suffisante. C'est cette valeur que nous avons décidé de prendre pour nos pièges de prélèvement.

3.4. Description des pièges;

La faible largeur de l'écoulement nous permet de définir un protocole particulier pour envisager de piéger toutes les particules solides transportées dans la section. Les pièges que nous avons utilisés ont la forme de boîtes parallélépipédiques (figure 3.4-1). Leurs longueurs et leurs profondeurs varient selon la dimension de la partie de section occupée par le dépôt aux endroits choisis pour les emplacements des pièges. Mais les "largeurs" de leurs surfaces hautes sont toutes identiques et égales à 50cm. Cette surface haute est munie d'une "fente" de 0.10 mètre (mais il est possible d'obtenir une ouverture de fente de 0.20 et 0.30 mètre grâce à l'utilisation de couvercles différents). Enfin cette fente peut être obturée par un couvercle provisoire.

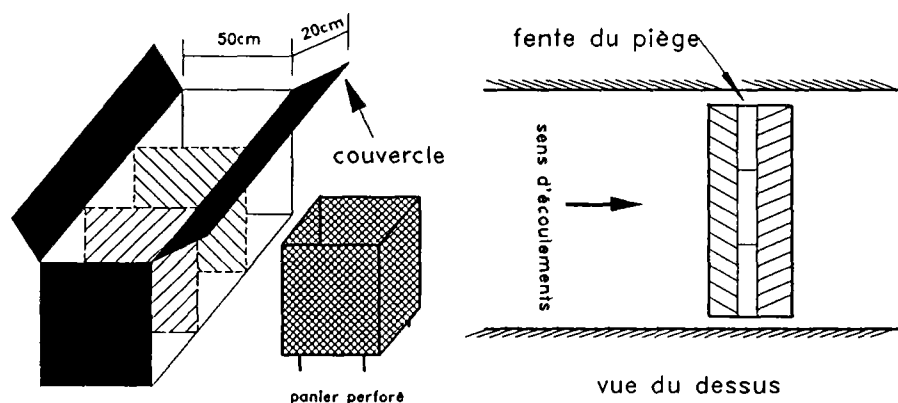


Figure 3.4-1 pièges utilisés pour les prélèvements des solides

De plus, ces pièges sont séparés à l'intérieur en trois compartiments (figure 3.4-1) où sont installés des paniers perforés muni de pieds qui facilitent la manipulation d'une part, et permettent d'étudier la répartition transversale de l'intensité de transport solide d'autre part.

3.5. Problèmes d'installation des pièges

Il faut prendre un soin particulier pendant l'installation des pièges pour éviter que leur présence ne modifie l'écoulement près du fond. Premièrement, il faut s'assurer que la face haute des pièges reste à la surface du dépôt (figure 4.1-1); deuxièmement, pour recueillir des données correctes, la longueur du piège doit être perpendiculaire au sens d'écoulement;

Le dépôt qui entoure les pièges est perturbé lors de leur installation. Une telle modification du dépôt provoque évidemment une modification des débits solides mobiles. Aussi faut-il attendre un certain temps, avant de commencer les prélèvements, pour que le dépôt se stabilise.

3.6. Processus d'un prélèvement

L'aménagement des eaux du réseau de collecteur 13 (voir chapitre 1) permet d'établir un processus de prélèvement spécifique. Voici le processus suivi pendant chaque prélèvement (voir figures 1.2-1 et 4.1-1):

-- Début de la manipulation;

- 1/ Détourner toutes les eaux amont pour pouvoir placer dans de bonnes conditions les paniers dans les pièges.
- 2/ Après la mise en place des paniers, fermer la fente et remettre les eaux à l'amont;
- 3/ Laisser les eaux s'écouler pendant un moment pour que l'écoulement se rétablisse, ouvrir la fente et noter le temps du début de la manipulation;
- 4/ Après l'essai, refermer la fente et noter le temps de fin de manipulation;
- 5/ Détourner les eaux amont, enlever les couvercles et sortir les paniers. Mesurer les volumes des particules solides piégées dans les paniers et prélever un échantillon dans chaque panier pour les mesures granulométriques;

-- Fin de la manipulation.

3.7. Test avec la méthode des prélèvements choisie et ses résultats

La validation de l'étude théorique sur l'ouverture de fente nécessitait un test spécifique sur le site. Le test de vérification consiste en l'utilisation de trois pièges de même format (avec bien sûr une ouverture

de fente identique) enfouis dans le dépôt l'un à côté de l'autre entre les points 3 et 4 (figure 4.1-1.a) où l'intensité de l'écoulement est la plus forte. Ils sont numérotés A1, A2, et A3 selon leurs emplacements de l'amont vers l'aval.

La méthode des prélèvements est validée et l'ouverture de fente acceptable si, (1) l'essentiel des particules solides grosses et lourdes est arrêté par le piège A1; (2) les deux pièges aval A2 et A3 ne recueillent que quelques solides fins ou de densité plus faible. Pour éviter des courants de ré-circulation à l'intérieur des pièges, susceptibles de reprendre des particules piégées, parmi les ouvertures acceptables, on retiendra celle dont la valeur est minimale.

Les résultats des prélèvements pendant ce test sont présentés dans le tableau 3.7-1, et un exemple des décantabilités des solides piégés dans les trois pièges pendant le deuxième prélèvement est donné par la figure 4.1-1.b. On s'aperçoit que la quantité ainsi que la décantabilité des solides interceptés par le piège A1 est beaucoup plus importante que celles des solides piégés par les deux autres pièges en aval.

N° (1)	Type (2)	temps du début du prélèvement	temps de la fin du prélèvement	largeur fente (cm)	Piège A1 (litre)	Piège A2 (litre)	Piège A3 (litre)	Vp2 / Vp1 (%)	Vp3 / Vp1 (%)	Vp1 / Vtotal (%)
1	N	07h30/18/07	11h20/18/07	10	21.2	4.8	0.4	22.74	1.89	80.24
2	N	07h00/19/07	11h10/19/07	30	28.5	7.0	6.2	24.46	21.79	68.38
3	N	12h00/19/07	07h10/20/07	10	76.2	16.7	11.2	21.97	14.66	73.19
4	N	08h30/20/07	10h30/20/07	10	52.6	5.7	3.6	10.82	6.90	84.94

les significations de deux premières colonnes (1) et (2), sont données dans le tableau 4.2-1

Tableau 3.7-1 : Résultats des prélèvements en volume pendant le test

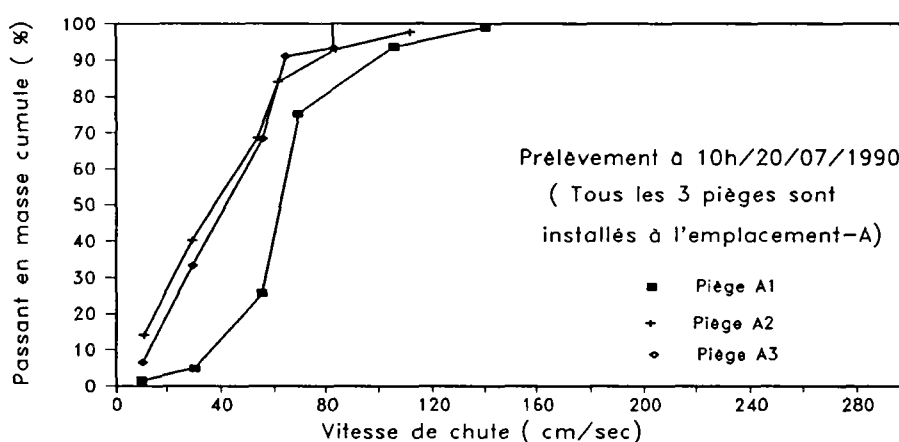


Figure 3.7-1 : Vitesses de chute limites des solides piégés calculées à partir de la formule {6-6}

Ainsi, la méthode des prélèvements est valable et le piège (le premier) ainsi constitué intercepte efficacement le charriage. Une ouverture de fente de 0.10 mètre est suffisante, une trop grande ouverture (0.30 mètre) autorise des ré-circulations dans les pièges.

Notons enfin que la faible quantité des solides interceptés par le piège A3 signifie que tous les solides entrant dans le collecteur sont presque tous arrêtés par les pièges. Nous avons ainsi une bonne estimation des apports solides entrants par charriage.

3.8. Conclusion

Les études et les résultats des essais permettent de tirer les conclusions suivantes:

- 1/ La méthode spécifiquement choisie pour les prélèvements des solides charriés dans le collecteur 13 est efficace. Une ouverture de fente des pièges égale à 0.10 mètre est satisfaisante;
- 2/ Le test montre que cette méthode fonctionne très bien malgré la présence des particules solides de tailles particulières (les boîtes, les chiffons, les barres, etc) qui ne posent pratiquement pas de problèmes.
- 3/ Les pièges ainsi construits facilitent la manipulation pendant les prélèvements. Parce qu'ils occupent toute la largeur de la surface du lit, les prélèvements donnent de bonnes informations sur les apports solides entrant par charriage.