Chapitre 8

ETUDE DES QUANTITES DE SOLIDES TRANSPORTES PAR L'ECOULEMENT DANS LE COLLECTEUR 13 PROPOSITION D'UNE NOUVELLE CONCEPTION DE LA CAPACITE DE TRANSPORT DANS LE CAS D'UNE GRANULOMETRIE ETENDUE

8.1. Introduction

Les caractéristiques des solides en dépôt et des solides transportés sont présentées et analysées dans les chapitres 2 et 4 de la première partie, et certains phénomènes et mécanismes de transport rencontrés dans le collecteur 13 sont étudiés dans les chapitres 6 et 7. Ces résultats d'analyse nous ont conduit à mieux appréhender la dynamique de dépôt et du transport en collecteur: par exemple, pourquoi les solides s'y arrêtent-ils et comment se forme le dépôt.

Mais ils ne permettent pas de découvrir le mécanisme de l'évolution du volume déposé et la relation quantitative entre les solides transportés et les dépôts. Pour cela, une autre analyse semble inévitable et fait l'objectif du présent chapitre. Ses résultats, avec ceux obtenus et présentés dans les chapitres précédents, jettent les bases nécessaires à la conception de notre modèle de transport solide.

8.2. Analyse des débits des solides déposés à partir des résultats des mesures de dépôt

8.2.1. Description

D. Laplace (1991) a essayé de décrire la relation entre l'évolution du volume de dépôt du collecteur et le fonctionnement de l'ensemble du système hydrologique situé à son amont (bassins versants et réseaux), à l'aide d'un modèle stochastique global. Celui-ci a été établi pour simuler le remplissage de chambre de dessablement (Dartus 1982, 1983). Dans son étude, D. Laplace a donné une concentration constante des solides (0.30 kg/m^3) pour les périodes de temps sec, et une autre (0.70 kg/m^3) pour les périodes de temps de pluies. Mais ce modèle sous-estime les débits des solides déposés pour la première période de temps sec, du jour 1 au jour 51, et sur-estime ceux-ci pour d'autres périodes de temps sec. Bien que plusieurs sortes d'améliorations proposées permettent d'obtenir une bonne similitude entre les valeurs calculées et mesurées pendant la période de calage du modèle, du jour 1 au jour 730, sa validité pour la prévision de l'évolution de remplissage du collecteur, pendant la période du jour 731 au jour 1095, pose encore problème. Le modèle tend à sous-estimer celle-ci. Bachoc (1992) trouve que ceci est dû seulement à la considération d'une valeur fixe pour asymptote maximale du volume déposé. En fait, ceci est plus particulièrement dû aux caractères du modèle lui-même (Dartus 1982).

Dans ce paragraphe, nous proposons une analyse des débits des solides déposés en collecteur en considérant les compositions de dépôt. Nous essayons de cerner l'influence de la zone de stockage (bassins versants et réseaux), qui se situe en amont du collecteur étudié, sur l'évolution du volume déposé, et de mettre en évidence la relation entre les solides entrant et ceux du dépôt.

8.2.2. Méthodologie

Considérons tout d'abord un groupe de mesures en m points (x_i avec $j = 1 \cdot m$) des compositions granulométriques et du profil de dépôt correspondant à l'instant t_j (figure 8.2.1-1). Nous pouvons reproduire la composition granulométrique du dépôt pour un point quelconque x, différent des x_i, pour cet instant t_j à partir de l'équation {5-9}. Les mêmes calculs peuvent être reconduits pour toutes les autres mesures réalisées aux différents instants, par exemple, pour l'instant t_{j+1}. On obtient ainsi, en tout x, le profil du dépôt et sa composition, à deux instants différents t_j et t_{j+1}.

Supposant que pour un instant t entre la période t_j et t_{j+1}, la composition granulométrique en un point quelconque puisse s'obtenir par interpolation temporelle et linéaire, ceci permet de cerner la distribution des compositions granulométriques de dépôt dans le temps ainsi que dans l'espace.

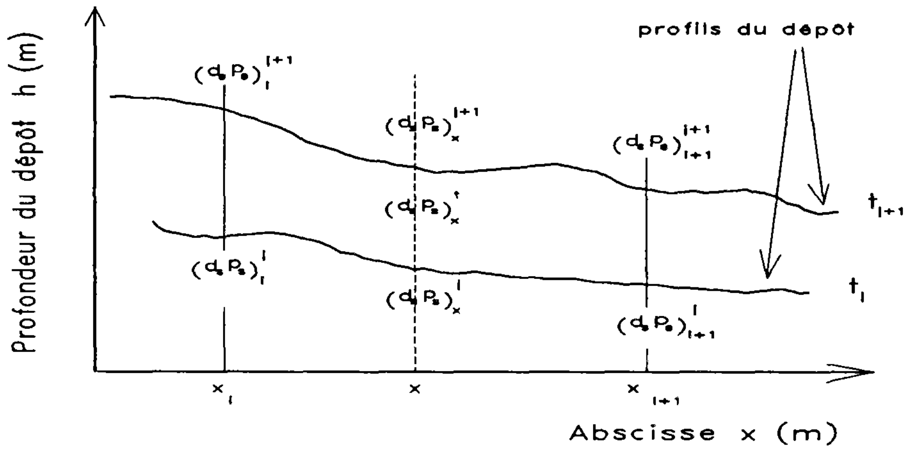

Figure 8.2.2-1 : Schématisation de la reproduction de l'évolution temporelle et spatiale des compositions granulométriques des solides en dépôt

Dans le voisinage d'un point quelconque, le volume net de l'ensemble de solides de tailles supérieures à d_{sk}, noté $\Delta v_{sk(x,t)}$, est alors calculé de la manière suivante:

$$\Delta v_{s,k(x,t)} = \epsilon_{dép(x,t)}(1 - P_{k(x,t)})\frac{\partial S_{(x,t)}}{\partial t}\Delta t \Delta x \qquad \{8-1\}$$

où $S_{(x,t)}$= surface occupée par le dépôt à la section x ; $\epsilon_{dép(x,t)}$= porosité du dépôt; $P_{k(x,t)}$= pourcentage cumulatif des solides des tailles inférieures à d_{sk}.

L'intégration de l'équation précédente dans un tronçon $[x_1, x_2]$ et pendant une période $[t_1, t_2]$ peut donner le volume total net des solides de tailles supérieures à d_{sk}, noté $V_{s,k}$:

$$V_{s,k} = \sum_{m=k}^{m=N} \Delta v_{s,m(x,t)} \qquad \{8-2\}$$

$$= \oint_v dv = \int_{x_1}^{x_2}\int_{t_1}^{t_2} \epsilon_{dép(x,t)}(1 - P_{k(x,t)})\frac{\partial S_{(x,t)}}{\partial t}dt\,dx$$

Dans cette équation, la porosité $\epsilon_{dép}$ est évaluée à partir de la figure 2.4–3 selon la composition granulométrique des solides du dépôt.

Ainsi, la composition moyenne des solides en dépôt dans un tronçon $[x_1, x_2]$ et pendant une période $[t_1, t_2]$, est calculée de la façon suivante:

$$\overline{P}_k = \frac{V_{s,k}}{V_{s,total}} = \frac{\int_{x_1}^{x_2}\int_{t_1}^{t_2} \epsilon_{dép(x,t)}(1 - P_{k(x,t)})\frac{\partial S_{(x,t)}}{\partial t}dt\,dx}{\int_{x_1}^{x_2}\int_{t_1}^{t_2} \epsilon_{dép(x,t)}\frac{\partial S_{(x,t)}}{\partial t}dt\,dx} \qquad \{8-3\}$$

$\overline{P}_k$= pourcentage des solides de tailles supérieures à d_{sk} en dépôt dans un tronçon $[x_1, x_2]$ et pendant une période $[t_1, t_2]$.

8.2.3. Résultats des calculs

En raison du manque de mesures granulométriques dans le tronçon entre les points 1 et 3, notre calcul ainsi que notre analyse (paragraphe suivant) concernent le tronçon entre les points 3 et 14, où nous allons établir et caler notre modèle de transport solide. Ceci permet également d'éviter le problème posé par le changement brutal de la pente du radier sur la composition de dépôt (figure 1.2–1).

Pour cette analyse, cinq groupes de mesures des compositions granulométriques, pour cinq instants t_j, sont utilisées. La méthodologie présentée au paragraphe précédent conduit à avoir les volumes de dépôt des solides de tailles supérieures à d_s en fonction du temps. Les résultats sont présentés dans la figure 8.2.3–1.

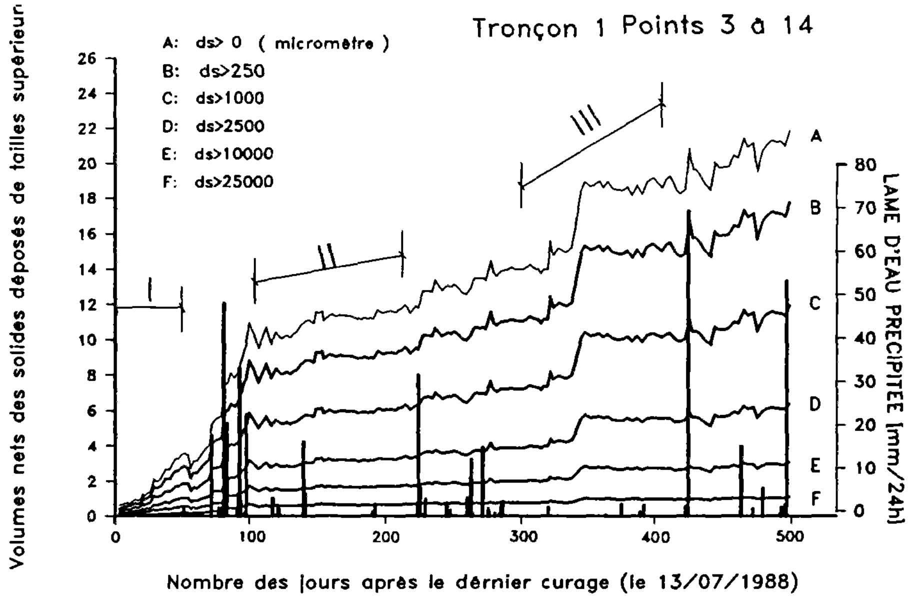

Figure 8.2.3-1 : Volumes des solides déposés de tailles supérieures à d_S en fonction du temps

Maintenant, nous divisons les tailles des solides de 0 à 50000μm en 14 classes dont les valeurs sont listées dans le tableau 8.2.3-1. Pour tous ces diamètres, nous pouvons reproduire une figure de même type que la figure 8.2.3-1. Nons considérons, maintenant, trois période de temps sec, du jour 1 au jour 51 (première période), du jour 105 au jour 210 (deuxième période), et du jour 301 au jour 405 (troisième période). Pour chacune de celles-ci, une régression linéaire est faite afin d'avoir les débits des solides de tailles supérieures à d_S déposés et la soustraction de deux débits voisins donne le débit des solides déposés d'une fraction considérée *k*, notés $q^n_{s,k}$ où *n* indique le numéro de la période de temps sec. Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau 8.2.3-1, et graphiquement par la figure 8.2.3-2.

d_S(μm)	0	100	250	400	630	1000	1400	2000	2500	4000	6300	10000	14000	25000	50000	Total
N°classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
$q^1_{s,k}$	4,65	3,80	5,89	7,02	6,28	5,95	5,75	5,27	5,43	5,02	4,50	2,59	3,71	4,15		70.01
$q^2_{s,k}$	1,11	0,74	1,06	1,45	1,46	1,39	1,39	1,29	1,41	1,29	1,12	0,65	0,74	0,75		15.85
$q^3_{s,k}$	3,57	2,38	3,60	4,53	4,54	4,68	4,89	5,06	5,96	6,15	5,31	3,05	3,66	2,70		60.08

$q^1_{s,k}$, $q^2_{s,k}$, $q^3_{s,k}$ = les débits des solides déposés respectivement pour les périodes du jour 1 au jour 51, du jour 105 au jour 210, et du jour 301 au jour 405.

Tableau 8.2.3-1 débits des solides par fraction déposés pendant diverses périodes de temps sec dans le tronçon entre les points 3 et 14 du collecteur 13 de Marseille

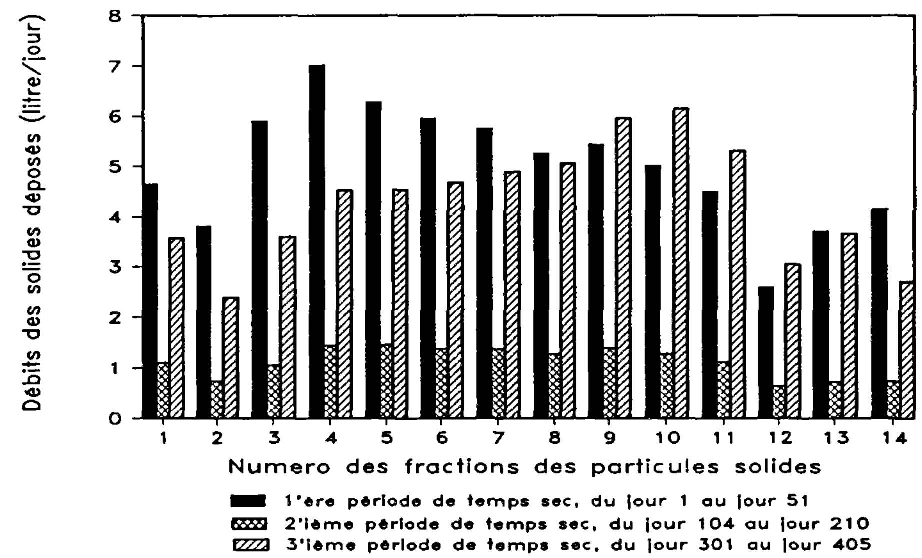

Figure 8.2.3-2 : débits des solides déposés pendant les périodes de temps sec dans le tronçon amont

8.2.4. Analyses

Selon la figure 8.2.3-1, on s'aperçoit que toutes les classes des solides augmentent leurs volumes de dépôt avec une tendance quasi identique. La première période de temps de pluie, succédant à une très longue période de temps sec, ramène non seulement beaucoup de grosses particules dans le dépôt, mais aussi une quantité très importante de solides fins. Elle permet de nettoyer les solides stockés dans les bassins amont du collecteur 13 pendant la période de temps sec. C'est pourquoi pendant la deuxième période de temps sec étudiée, du jour 105 au jour 210, l'augmentation du dépôt est très modérée. Ce phénomène traduit le fait qu'il existe une relation forte entre les débits des solides déposés et les apports solides entrant. Ceci est également prouvé par notre expérimentation sur les solides charriés (chapitre 4).

Mise à part la deuxième période de temps sec qui succède à la première longue période de temps de pluies, les phénomènes de dépôt pendant les deux périodes de temps sec étudiées, du jour 1 au jour 51 et du jour 301 au jour 405, ont la même logique. A partir de ceux-ci, nous pouvons décrire le mécanisme de dépôt en période de temps sec.

Supposant que la quantité des solides entrant dans le tronçon entre les points 3 et 14 du collecteur 13 est la même chaque jour des périodes de temps sec, et que les solides de tailles supérieures à celle correspondant au seuil critique de mise en mouvement sont arrêtés dans ce tronçon, alors les débits des solides de très grandes tailles devraient être invariants. Mais, les résultats du calcul montrent que ceci n'est pas vrai. Ainsi, les apports solides entrant dans ce tronçon, ainsi que leurs compositions, sont différents d'une période de temps sec à une autre. Ceci peut être dû aux rôles de la zone de stockage qui se situe en amont du point 3 du collecteur (*tronçon entre les points 1 et 3 ou/et des bassins de stockage en amont du collecteur*). Les débits des solides de grandes tailles (>2500μm, figure 8.2.2-2) déposés dans ce tronçon, pour la troisième période de temps sec comme pour la première, deviennent plus importants, mais c'est le contraire pour les solides fins. Ceci signifie, d'une part que la capacité de stockage des gros solides diminue dans le temps et que de plus en plus de "gros" solides vont entrer dans le tronçon; d'autre part que la capacité de transport des solides fins dans le tronçon entre les points 3 et 14 augmente. C'est pourquoi que les granulométries des solides déposés s'accentuent dans le temps quelques soient leurs débits.

8.2.5. Conclusion

L'analyse faite ci-dessus permet de constater que:

1/ Sur la base des résultats des mesures pendant 550 jours, utilisés pour cette analyse, on s'aperçoit que les variations des volumes des solides déposés de toutes fractions présentent une même tendance dans le temps (figure 8.2.3-1). Elles dépendent fortement des apports solides entrant. Il y a une augmentation brutale pour les solides fins quand il y a une augmentation brutale des grosses particules.

2/ Pour différentes périodes de temps sec, les débits des solides déposés dans le tronçon entre les points 3 et 14 ne sont pas constants. Ils deviennent plus importants pour les fractions de grandes tailles et plus faibles pour les fines (figure 8.2.3-2). Supposant que les débits des solides entrant en réseau sont constants, ceci est dû à l'ensemble de la zone de stockage (collecteurs en amont) qui se situe en amont du tronçon d'une part, et à l'augmentation de la capacité de transport solide du tronçon lui même d'autre part. Pour la zone de stockage, au fur et à mesure de son remplissage, l'intensité de ses écoulements augmente, de sorte que les solides sortant de celle-ci deviennent de plus en plus gros et se déposeront en collecteurs avals. L'augmentation de la capacité facilite le transport des solides fins dans le collecteur lui même, et il y a de moins en moins de ces particules fines qui se déposent.

Ainsi, il n'est certainement pas logique d'assigner une valeur de débit unique et une seule granulométrie aux solides entrant dans le collecteur ou dans un tronçon spécifique pour différentes périodes de temps sec.

3/ Quelques soient les débits des solides entrant ou déposés en collecteur, la granulométrie du dépôt devient toujours plus en plus importante dans le temps. Ceci est dû à l'augmentation de la pente du dépôt. Celle-ci permet à l'écoulement d'accentuer sa capacité de transport solide.

8.3. Analyse des débits des solides entrant à partir des résultats des prélèvements

8.3.1. Description

Les analyses faites dans les chapitres précédents mettent en évidence les relations entre les caractéristiques des solides déposés et transportés (ou charriés). Dans ce paragraphe, nous nous intéressons à la relation en quantité de ces deux phases. Nous essayons de découvrir les rôles des différentes parties des solides transportés: suspension, charriage, ou l'ensemble, sur l'évolution du volume de dépôt. Ceci est très important pour la conception de notre modèle de transport solide.

8.3.2. Evaluation des apports totaux des solides entrant

Pendant la première phase des prélèvements (prélèvements N°1~N°9, voir chapitre 4), si nous supposons que tous les solides sont arrêtés par les trois pièges en série A1, A2, A3 (figure 4.1-1), les débits des solides piégés à l'emplacement-A décrivent les apports totaux des solides entrant. Ces débits sont représentés en traits pleins sur la figure 8.3.2-1, par leurs valeurs moyennes sur les différentes durées des prélèvements. A partir de ces résultats, nous avons reconstitué la variation temporelle des apports solides entrant (moyenne sur le nombre de résultats obtenus), représentée par la courbe en pointillés dans la même figure.

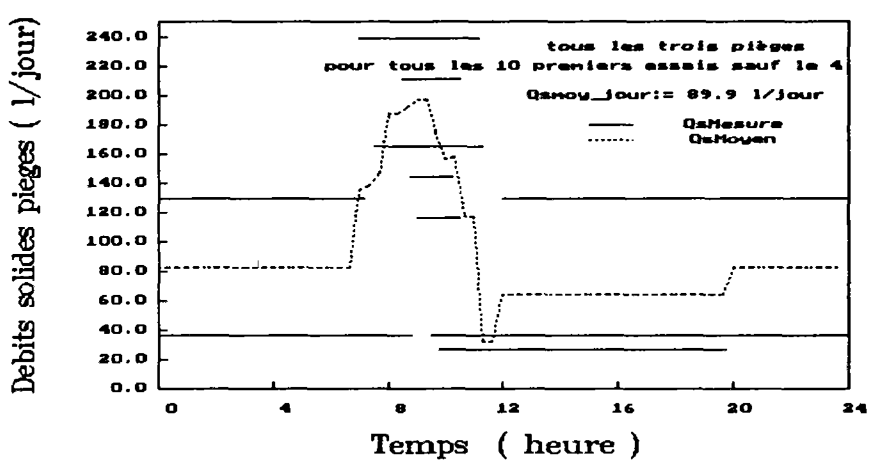

Figure 8.3.2-1 : Apports totaux des solides entrant à l'amont du collecteur 13

Nous pouvons remarquer que cette courbe en pointillés des apports solides entrant évalués présente une allure identique à celle des apports liquides entrant (figure 1.4-1). Ceci signifie qu'en moyenne, malgré l'aspect aléatoire des débits des solides pour chaque prélèvement (traits pleins), les apports solides suivent les mêmes variations quotidiennes que les apports liquides. Par intégration de la courbe en pointillés sur toute une journée, nous obtenons *le débit moyen brut des solides entrant* par l'amont du collecteur 13, qui est égal à *Qs=89 litres/jour.*

8.3.3. Evaluation des apports des solides charriés au point 3

La méthode de prélèvement ayant été validée, les solides interceptés dans le premier piège A1 sont des solides charriés. De la même manière que précédemment pour l'évaluation des apports totaux, nous pouvons évaluer la variation temporelle des débits solides charriés, sur la base des résultats des prélèvements du seul piège A1. Elle est présentée par la courbe en pointillés de la figure 8.3.3-1 et présente la même allure de variation que les apports liquides (figure 1.4-1) et les apports totaux des solides entrant (figure 8.3.2-1).

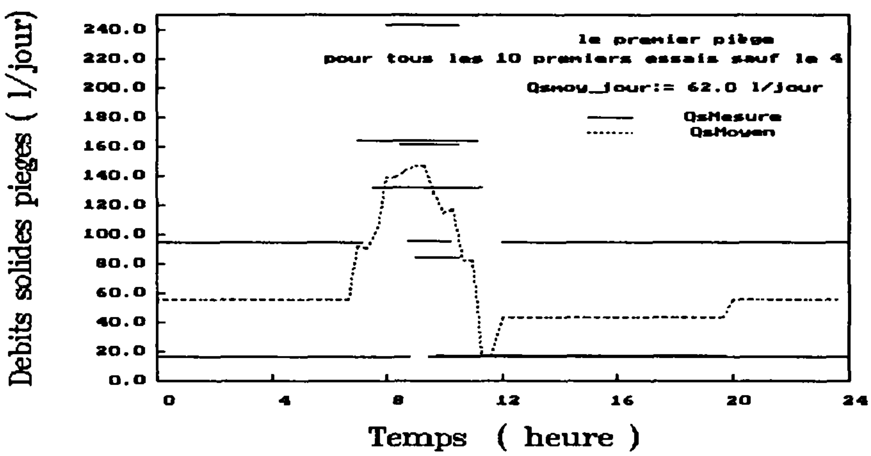

Figure 8.3.3-1 : Débits des solides charriés entre les points 3 et 4

L'intégration sur une journée donne *le débit moyen brut des solides charriés* entre les point 3 et 4 qui est de *62 litres/jour.*

8.3.4. Comparaison du débit des solides charriés avec celui des solides déposés

Nous allons comparer, maintenant, le débit moyen des solides charriés entre les points 3-4 avec le "débit" de dépôt dans le tronçon amont du collecteur 13.

Ce dernier est calculé à partir de l'évolution des volumes de dépôt dans le tronçon amont (figure 2.3−1). Il est égal à la pente de cette courbe d'augmentation du volume et sa valeur brute est de 54.38 litres/jour pendant la période des prélèvements. Excluant la partie des solides déposés en amont du point 3 qui vaut à peu près 15% du total, alors, le débit brut des solides déposés entre les points 3 et 14 est de 46.22 litres/jour. En considérant une porosité pour le dépôt égale à 0.2 (Laplace 1991), c'est−à−dire, $\epsilon_{dep} = 0.2$, alors le débit moyen net des solides déposés entre le point 3 et le point 14 est égal à $46.22 \times (1 - \epsilon_{dep}) = 37.00$ litres/jour.

Mais le débit moyen de solides charriés, égal à 62.0 litres/jour (paragraphe précédent) était calculé en débit brut, sans tenir compte de la porosité des prélèvements. Cette porosité ϵ_{ch}, est certainement plus grande que celle du dépôt ϵ_{dep} car les solides piégés n'ont pas le temps de se tasser. Elle vaut environ entre 0.35 et 0.40. Le débit moyen net des solides charriés au point 3 est alors de 40.30 litres/jour pour $\epsilon_{ch} = 0.35$ et 37.2 litres/jour pour $\epsilon_{ch} = 0.40$.

Nous nous apercevons alors que les débits charriés et "de dépôt" coïncident très bien, et nous pouvons en conclure que les solides dans le dépôt entre les point 3 et 14 proviennent pratiquement tous des solides charriées au point 3. Ceci prouve encore une fois que le charriage à l'entrée du collecteur joue un rôle prédominant sur la formation de dépôt.

8.4. Etude de la capacité de transport solide de l'écoulement par temps sec

Nous pouvons comparer les débits solides mesurés par temps sec [les débits de solides piégés par le piège A1 qui sont présentés au chapitre 4] avec les prédictions établies à l'aide des modèles de transport solide par charriage classiques, [Einstein 1950 (homogène), Meyer−Peter 1948 (homogène), et de Wang 1977 (hété−rogène, utilisé par Gludki 1981)] (voir chapitre 10 pour la formule de Meyer−Peter et celle de Wang), sur la base du modèle hydrodynamique présenté au chapitre 5, et en utilisant les granulométries et les densités des solides prélevés dans les dépôts. La figure 8.4−1, qui consigne les résultats, permet de constater que le transport solide dans le collecteur 13 est, d'après ces modèles, en état de sous−régime; il devrait théoriquement y avoir de l'érosion. Ceci est en contradiction avec les résultats de l'observation de l'évolution dans le temps des volumes déposés (Laplace 1991), qui montrent une tendance générale à l'augmentation. Ceci montre les limites de ces modèles qui ne sont que des modèles établis pour les rivières. La spécificité du transport solide en collecteur d'assainissement réclame donc des développements particuliers en matière de modélisation pour bien rendre compte des phénomènes observés. Aussi pensons nous qu'il est nécessaire de proposer une autre conception plus efficace de la capacité de transport de l'écoulement.

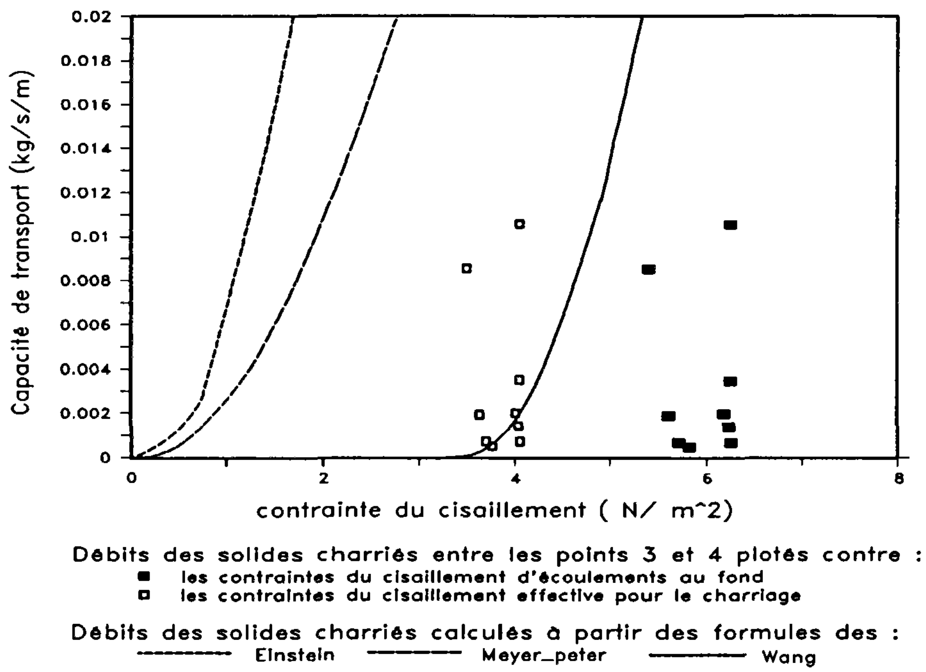

Figure 8.4-1 : Comparaison des débits solides mesurés avec les capacités de transport calculées par des modèles classiques (emplacement 1 entre les points 3 et 4)

Par ailleurs, si nous supposons que le modèle de Wang est acceptable pour les collecteurs d'assainissement, la prise en compte du "rendement" de la contrainte du fond sur le transport du charriage est nécessaire. Selon les résultats des mesures (figure 8.4-1), ceci nous amène à une contrainte effective pour le transport des solides charriés qui est égale à 65% de la contrainte totale. Ce phénomène a toute possibilité d'exister lors de la présence de particules solides de tailles particulières qui augmentent la résistance des écoulements.

8.5. Nouvelle conception de la capacité de transport

8.5.1. Introduction

Dans le chapitre 9, nous faisons une analyse globale de certains modèles mathématiques existants, pour nous apercevoir qu'ils accordent plus d'attention au calcul lui même qu'à la connaissance du mécanisme de transport solide. Ils utilisent des formules empiriques pour la capacité de transport (ou le débit de transport) sans approfondir la validité de leur application aux cas spécifiques.

Par exemple, le code CARICHAR et le code FCM ont été appliqués à la simulation de l'évolution de profil de dépôt dans les cas où le phénomène de pavage peut se produire. Supposons qu'à l'instant $t = t_k$, le pavage soit fait, c'est-à-dire le lit couvert par de très grosses particules solides. A ce moment, si nous calculons la capacité de transport à partir de la composition du dépôt, nous obtenons une valeur nulle ce qui signifie que l'écoulement ne peut transporter aucune particule. Ce résultat de calcul est contradictoire avec ce qui se passe dans la réalité. En fait, le lit étant pavé, l'écoulement ne peut transporter les solides du dépôt, mais il est capable de transporter les solides provenant de l'amont.

La capacité de transport d'un écoulement ne dépend donc pas seulement de la composition du dépôt, mais aussi de celle des solides provenant de l'amont. Egiazaroff (1965) a tenté de résoudre ce problème et de calculer la capacité de transport à partir d'un diamètre représentatif d_r. Ce diamètre représentatif est calculé de la manière suivante :

$$d_r = \sqrt{d_{50}^{mov} \cdot d_{50}^{dép}} \qquad \{8-4\}$$

où d_{50}^{mov} , $d_{50}^{dép}$ sont respectivement le diamètre médian des solides mobiles et des solides dans le dépôt. Bien que la prise en considération de ce diamètre moyen puisse améliorer les résultats de calcul, elle reste néanmoins trop simple. Entre autres, elle ne peut pas résoudre le problème posé par l'exemple que nous venons de donner.

8.5.2. Proposition

Considérons une section d'un écoulement où la concentration des solides mobiles est de C_{vs}^{mov} et leur composition $(d_j p_j)^{mov}$, tandis que la composition du dépôt est $(d_j p_j)^{dép}$, et analysons le phénomène de transport. Considérons les solides de la fraction j. Nous avons la possibilité de rencontrer trois états de transport :

1/ Sédimentation des solides si la concentration des solides de cette fraction est supérieure à une certaine capacité de transport ;

2/ Transport si C_{vsj}^{mov} est égale à la capacité de transport ;

3/ Erosion du dépôt si C_{vsj}^{mov} est inférieure à la capacité du transport .

Le problème clé est de définir les capacités de transport .

En fait, bien que des échanges existent entre les solides mobiles et les solides déposés, ils peuvent malgré tout être considérés comme deux éléments indépendants. L'écoulement se charge tout d'abord de transporter ceux qui sont mobiles, il peut ensuite éroder des solides du dépôt si les solides mobiles ainsi que les solides du dépôt le permettent. Ainsi, nous pouvons penser que la capacité de transport d'un écoulement possède deux valeurs : la capacité de transport de solides mobiles, notée C_{vsj}^{*mov}, qui est liée à la composition des solides mobiles, et la capacité de transport des solides du dépôt, notée $C_{vsj}^{*dép}$, liée à la composition des solides du dépôt.

Considérons un canal au fond duquel sont placés des solides de tailles hétérogènes. En supposant que la composition du lit puisse être maintenue constante, dans le cas où l'apport des solides entrant est nul, l'écoulement commence à éroder les solides du fond. La quantité de ces solides devenus mobiles croît et arrive à une valeur constante pour la fraction j. Cette valeur est égale à $C_{vs.j}^{*dép}$. Cette valeur $C_{vs.j}^{*dép}$ définit en fait la capacité des solides qui peuvent être fournis par le dépôt pour un écoulement donné.

Le phénomène de transport suit alors la logique suivante :

Il est évident que la sédimentation des solides ne dépend que des solides mobiles et n'a aucune relation avec les solides dans le dépôt. Autrement dit, la sédimentation se produit dans le cas où $C_{vs.j}^{mov} > C_{vs.j}^{*mov}$, quelle que soit la valeur $C_{vs.j}^{*dép}$.

Quant à l'érosion, elle dépend à la fois des solides mobiles et des solides du dépôt.
Normalement, l'érosion se produit si $C_{vs.j}^{mov} < C_{vs.j}^{*dép}$.

Dans le cas où $C_{vs.j}^{mov} > C_{vs.j}^{*mov}$ et $C_{vs.j}^{mov} < C_{vs.j}^{*dép}$, il y a aussi sédimentation. Lors de présence simultanée de la sédimentation et de l'érosion, le transport solide est proche de l'état d'équilibre. Nous synthétiserons donc les phénomènes de transport solide par catégorie de la manière suivante :

1/ Sédimentation si $C_{vs.j}^{mov} > C_{vs.j}^{*mov}$

2/ Erosion si $C_{vs.j}^{mov} < C_{vs.j}^{*dép}$ en respectant $C_{vs.j}^{mov} < C_{vs.j}^{*mov}$

3/ Transport dans les autres cas

La quantité maximum de solides sédimentés ou érodés dépend de l'état d'équilibre que l'écoulement rencontre après ces échanges.

8.6. Critique de la nouvelle conception

Les solides du dépôt constituant la rugosité du fond provoquent toujours une perte d'énergie. Quant aux solides mobiles, ils peuvent soit augmenter la perte d'énergie (selon Vélikanov), soit diminuer celle-ci (selon Zhang). (Ce mécanisme fondamental est encore discuté par les spécialistes du transport solide, voir Yang 1989).

Vélikanov a déjà constaté qu'il y avait plusieurs capacités de transport, selon la valeur du coefficient η intervenant dans la relation

$$C_v^* = \eta \cdot \frac{V^3}{ghw} \qquad \{8\text{-}5\}$$

établie pour calculer la capacité de transport.

η appartient à l'intervalle $[\eta_{min}, \eta_{max}]$ dans les conditions d'écoulement telles que C_v^* appartienne alors à l'intervalle $[C_{v,min}^*, C_{v,max}^*]$.

Selon Vélikanov, si la concentration des solides transportés de la section se trouve entre ces deux valeurs, il n'y a ni sédimentation ni érosion. La sédimentation se produit lorsque $C_v > C_{v,max}^*$, l'érosion si $C_v < C_{v,min}^*$.

Selon la nouvelle interprétation de la capacité de transport, nous pouvons également arriver à une conclusion similaire:

En général, les solides du dépôt sont plus gros que les solides transportés. Aussi, $C_{vs}^{*;dép} < C_{vs}^{*;mov}$. En comparant ces deux valeurs avec celles de Vélikanov, nous voyons que $C_{vs}^{*;dép}$ correspond à $C_{vs,min}^*$ et $C_{vs}^{*;mov}$ à $C_{vs,max}^*$.

En fait, si nous considérons avec un peu d'attention les formules de capacité de transport publiées dans la littérature, nous pouvons découvrir, lorsqu'il s'agit d'une granulométrie étendue, que le diamètre représentatif des solides du dépôt est souvent égal ou inférieur à d_{50}. Ce genre de traitement est peut être la façon déguisée de prendre en compte les solides mobiles.

Cette nouvelle approche de la capacité de transport, distinguant solides déposés et mobiles, peut aider à comprendre et à modéliser certains mécanismes du transport solide tels que le pavage. Néanmoins, elle ne peut pas prendre en considération l'échange entre les solides mobiles et les solides immobiles qui est un phénomène réel du transport solide.

Pour un écoulement défini, certaines particules se remettent en mouvement, tandis que d'autres sédimentent. Les fonctions qui décrivent ces deux mécanismes se nomment respectivement fonction d'érosion E_0 et fonction de sédimentation D_0 (voir §9.6).

En raison de la complexité du mouvement de l'ensemble des solides, il est très difficile de définir ces deux fonctions, sauf dans le cas d'un transport solide si faible qu'on puisse l'évaluer grain par grain. Mais les fonctions définies dans cette condition ne semblent pas applicables au cas où le transport solide est assez important, notamment en collecteurs d'assainissement (Kleijwegt 1992).

8.7. Calcul de la capacité de transport

Le paragraphe précédent a défini une nouvelle conception de la capacité de transport et mis en évidence que cette capacité de transport possède un intervalle $(C_{vs,min}^*, C_{vs,max}^*)$ au lieu d'une valeur unique. Cet intervalle peut s'exprimer autrement par $(C_{vs}^{*;dép}, C_{vs}^{*;mov})$ qui sont liées respectivement à la composition du dépôt et à la composition des solides mobiles.

Dans la littérature, il est difficile de trouver une formule qui permette de calculer cet intervalle de la capacité de transport en tenant compte à la fois de la composition des solides mobiles et de celle des solides immobiles. Les formules existantes sont établies soit uniquement à partir de la composition du dépôt (ex : les formules établies avec des grains de taille uniforme, qui ont été modifiées pour s'adapter au cas des grains de tailles hétérogènes), soit uniquement à partir des solides mobiles prélevés (ex : celles établies à partir des données obtenues in situ). Pour les établir, leurs auteurs n'ont pas distingué l'influence de chaque phase solide. Ceci nous pose des problèmes dans la sélection des formules existantes pour le calcul de l'intervalle de la capacité de transport.

Dans un écoulement naturel, la concentration des solides mobiles est généralement très faible, aussi les interactions des solides de différentes fractions peuvent elles être négligées. Ainsi, toutes les formules établies sur les résultats expérimentaux en laboratoire avec des grains de taille uniforme et sur les résultats mesurés in situ avec les solides mobiles prélevés peuvent alors être choisies pour le calcul de la valeur $C_{vs,j}^{*,mov}$.

Le calcul de la valeur $C_{vs,j}^{*,dép}$ est beaucoup plus compliqué en raison du fait qu'on est obligé de considérer les interactions des différentes fractions dans le dépôt.

Ces interactions interviennent non seulement sur les conditions critiques de la remise en mouvement des solides par l'écoulement, mais aussi sur leurs débits. Jusqu'à présent, les seuls résultats publiés traitent de l'influence des interactions de solides de différentes fractions sur les conditions critiques de remise en mouvement des solides. Les formules permettant de calculer la capacité $C_{vs,j}^{*,dép}$ dans le cas d'une granulométrie hétérogène sont établies à partir des données obtenues avec des grains uniformes et modifiées par des considérations sur les interactions des différentes fractions. Bien que cette manière de procéder ne recouvre pas l'ensemble des mécanismes du transport, elle est la méthode la plus facile pour approcher la réalité.

En outre, beaucoup de formules pouvant être utilisées pour le calcul de $C_{vs,j}^{*,mov}$ et de $C_{vs,j}^{*,dép}$ ont besoin de la connaissance des conditions critiques. Dans notre conception des capacités de transport, le calcul de $C_{vs,j}^{*,mov}$ doit utiliser les conditions critiques d'arrêt des particules solides, mais celui de $C_{vs,j}^{*,dép}$ doit faire appel aux conditions critiques de remise en mouvement des particules. Elles sont toutes les deux presque identiques pour de grosses particules.

Par exemple, si la formule de Meyer–Peter (équation {10–6}) est utilisée pour le calcul de $C_{vs,j}^{*,mov}$ et la formule de Meyer–Peter modifiée par Wang (équation {10–8}) pour le calcul de $C_{vs,j}^{*,dép}$, lorsque $d_{max}/d_m = 2$, nous avons les conditions critiques de la remise en mouvement des solides de diamètre d_{max} :

$$\tau_{*cr} = \frac{0.047}{\left(\frac{d_{max}}{d_m}\right)^{0.316}} = 0.037 \qquad \{8-6\}$$

Cette valeur $\tau_{*cr} = 0.037$ peut être utilisée pour décrire les conditions critiques pour toutes les particules solides mobiles au lieu d'utiliser $\tau_{*cr} = 0.047$. Elle est très proche de celle de Hayashi et Ozaki (1980)

($\tau_{*cr} = 0.036$) lors de l'étude théorique à partir des données d'Einstein. Basé sur le critère de Neil et Yalin (1969), une même valeur a été déterminée par Phillips et Sutherland (1988) et incorporée dans le code UWASER.

Ackers et White ont découvert une valeur plus petite avec $\tau_{*cr} = 0.029$ alors qu'ils établissaient leurs formules à partir des solides mobiles prélevés. Aussi, la sélection de la formule d'Ackers-White pour le calcul de $C^{*,mov}_{vs,j}$ est raisonnable.

En conclusion, les formules directement établies à partir des prélèvements des solides mobiles in situ et les formules établies en laboratoire avec des grains uniformes peuvent être choisies pour le calcul de $C^{*,mov}_{vs,j}$. Les formules sélectionnées pour le calcul de $C^{*,dép}_{vs,j}$ sont des formules qui tiennent compte des interactions des solides des différentes fractions.

Il faut bien noter que dans les cas où les formules exigent des conditions critiques, des conditions critiques d'arrêt et de remise en mouvement des particules solides doivent être considérées respectivement pour le calcul de $C^{*,mov}_{vs,j}$ et $C^{*,dép}_{vs,j}$.

Dans le code <MEDCA>, parce qu'il ne s'intéresse qu'au charriage, la formule d'Ackers-White (équation {10-2} à {10-5}) et la formule de Meyer-Peter (équation {10-6}) modifiée avec condition critique $\tau_{*cr} = 0.036$ ont été implantées pour le calcul de $C^{*,mov}_{vs,j}$. La formule de Meyer-Peter modifiée par Wang (équation {10-8}) a été choisie pour le calcul de la valeur $C^{*,dép}_{vs,j}$.

8.8. Conclusion du chapitre

L'analyse faite ci-dessus complète celle faite dans le chapitre 6. Elle nous a amenés à une meilleure compréhension du mécanisme de dépôt. Nous résumons les résultats de ces analyses ci-dessous:

* les ressources en solides pour le dépôt dans le tronçon du collecteur 13 sont essentiellement les solides transportés par charriage à son entrée.

* Bien que par temps sec, la production des solides soit supposée constante, les apports entrant en collecteur sont variables d'une période à l'autre. Ceci est dû à la zone de stockage (bassins versant et collecteurs amont) qui peuvent conserver des solides. Ainsi, la reconstitution de l'évolution temporelle des apports solides entrant, notamment de leurs compositions granulométriques, est très difficile. Mais on peut toujours constater qu'ils sont plus importants le matin que le soir.

* On s'aperçoit que la contrainte de cisaillement au fond ne participe pas à 100% à l'entraînement des solides charriés. Une contrainte effective égale à 65% de la contrainte totale doit être considérée pour le calcul de leur débit. Selon Ackers (1977) et Kleiwegt (1992), ce phénomène est plutôt dû à l'influence de la présence des particules solides de tailles particulières qu'à l'influence de la forme géométrique des sections du collecteur.

* Une nouvelle conception de la capacité de transport d'un écoulement à deux valeurs, l'une liée aux solides mobiles et l'autre aux solides en dépôt, est proposée à partir des résultats des mesures. La critique de la nouvelle conception montre qu'elle est beaucoup plus sophistiquée que la conception classique à une valeur unique, et bien meilleure que celle de Vélikanov. Celle-ci est aussi à deux valeurs mais elles sont toutes les deux liées aux seuls solides immobiles. La nouvelle notion que nous proposons est mieux adaptée à la simulation du transport solide lorsqu'il y a une granulométrie très entendue.