

RESUME

Les réseaux d'assainissement unitaires évacuent les effluents domestiques ou industriels, mais également les eaux du ruissellement urbains (chaussées et toitures). Dans la plupart des réseaux de ce type, on constate la formation de dépôts plus ou moins persistants. En période pluvieuse, les conditions d'écoulement sont telles qu'une partie de ces sédiments est remise en suspension et contribue à augmenter la charge des matières polluantes transportée par l'effluent. Il est, de ce fait, nécessaire de construire des ouvrages de stockage, destinés à retenir ces eaux pluviales, en attendant de les traiter dans les stations d'épuration qui ne peuvent recevoir directement qu'un débit limité.

L'objet de cette thèse est de mieux comprendre les conditions qui provoquent la remise en suspension de ces dépôts.

L'étude est menée sur le réseau d'assainissement unitaire de la commune d'Entzheim. Le sédiment comprend une fraction d'éléments fins (inférieurs à $100\ \mu\text{m}$) qui assure sa cohésion. Dès lors la teneur en eau du sédiment a une grande influence sur sa résistance à l'érosion.

Or, la concentration en matières solides est directement dépendante de la teneur en matières organiques. Cette dernière est très variables et sa répartition dans le réseau est liée aux conditions d'écoulement dans chaque tronçon. En un point donné, la teneur en matières organiques évolue en fonction des caractéristiques des écoulements pluviaux qui traversent le réseau.

La matière organique intervient d'une part, dans le tassement du sédiment et d'autre part, dans les caractéristiques cohésives de la vase (partie fine du sédiment). Elle a pour effet d'augmenter la résistance à l'érosion.

La définition du seuil d'érosion d'un tel matériau nécessite la détermination de la proportion de vase qu'il contient et la mesure de la rigidité initiale de cette dernière. Mais les expériences montrent qu'au-delà de ce seuil, seul une partie du sédiment sera mise en suspension, l'érosion ne pouvant mobiliser qu'une couche superficielle d'épaisseur déterminée.

Cette notion n'est en général pas prise en compte dans les modèles de simulation de réseaux qui schématisent le phénomène par la seule capacité de transport. Cette simplification est dommageable à la bonne compréhension des phénomènes qui sont occultés en partie par les paramètres de calage du modèle.

CHAPITRE I.

TRANSPORT SOLIDE EN RESEAU D'ASSAINISSEMENT UNITAIRE.

1. INTRODUCTION.	22
2. DEFINITION DES PARAMETRES HYDRAULIQUES.	24
2.1. LA CONTRAINTE DE CISAILLEMENT À LA PAROI.	24
2.2. LA VITESSE MOYENNE.	25
2.3. LA VITESSE DE FROTTEMENT.	26
3. LES TYPES DE SEDIMENTS.	27
3.1. LES SÉDIMENTS NON COHÉSIFS.	27
3.2. LES SÉDIMENTS COHÉSIFS.	27
3.3. PARAMÈTRES CARACTÉRISANT LES SÉDIMENTS.	28
3.3.1. Le diamètre des particules élémentaires.	28
3.3.2. La masse volumique des particules élémentaires.	28
3.3.3. La vitesse de chute en eau calme.	28
3.4. PARAMÈTRES SPÉCIFIQUES AUX SÉDIMENTS COHÉSIFS.	29
3.4.1. Limites d'Atterberg.	29
3.4.2. La capacité d'échanges en cations (C.E.C.).	30
3.4.3. La contrainte seuil ou rigidité initiale.	31
4. LES ETAPES DU TRANSPORT SOLIDE.	32
4.1. LA MISE EN MOUVEMENT DES PARTICULES.	32
4.2. LE DÉBIT D'ÉROSION.	36
4.3. LE TRANSPORT SANS REDÉPOSITION.	40
4.4. ASPECTS MACROSCOPIQUES DES PHÉNOMÈNES D'ÉROSION.	42
5. CONCLUSION.	44

CHAPITRE II.

LES DEPOTS DE RESEAU D'ASSAINISSEMENT UNITAIRE.

1. INTRODUCTION.	45
2. LE SITE.	46
3. CARACTERISTIQUES GENERALES DES DEPOTS.	47
3.1. GRANULOMÉTRIE DE LA PARTIE MINÉRALE.	47
3.2. GRANULOMÉTRIE DE LA PARTIE ORGANIQUE.	48
3.3. MISE EN ÉVIDENCE DU CARACTÈRE COHÉSIF.	49
3.4. PROBLÈMES SPÉCIFIQUES À L'ÉROSION DES SÉDIMENTS DE RÉSEAU D'ASSAINISSEMENT.	50
4. LA CONGELATION IN SITU DES ECHANTILLONS.	51
4.1. BUT DE LA CONGÉLATION.	51
4.2. LE PROCÉDÉ.	51
4.3. LE DISPOSITIF UTILISÉ À ENTZHEIM.	52
4.4. CONDITIONS DE PRÉLÈVEMENT.	53
5. TENEUR EN EAU ET MATIERES ORGANIQUES.	55
5.1. DÉFINITION DES PARAMÈTRES.	55
5.1.1. Paramètres de structure de la vase.	55
5.1.1.1. <i>Concentration en matières solides.</i>	55
5.1.1.2. <i>Teneur en eau.</i>	55
5.1.1.3. <i>La siccité.</i>	56
5.1.1.4. <i>L'indice des vides.</i>	56
5.1.1.5. <i>Relations entre ces paramètres.</i>	56
5.1.2. Taux de matière organique.	56

5.2. MASSE VOLUMIQUE DE LA MATIÈRE SÈCHE.	57
5.3. RÉSULTATS.	59
5.3.1. Tendances générales.	59
5.3.2. Répartition verticale et tassement.	62
6. LA FRACTION FINE DU SEDIMENT.	66
6.1. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES.	66
6.1.1. Teneur en matériaux fins.	66
6.1.2. Granulométrie.	66
6.1.3. Tassement.	67
6.2. RÉPARTITION VERTICALE.	69
7. INFLUENCE DES EVENEMENTS PLUVIEUX SUR LA STRUCTURE DU DEPOT	71
8. PARAMETRES INDICATEURS DE LA POLLUTION.	73
8.1. TENDANCES GÉNÉRALES.	73
8.2. RÉPARTITION VERTICALE.	74
9. CONCLUSION.	78

CHAPITRE III

ETUDE RHEOLOGIQUE DE LA PARTIE FINE DU DEPOT.

1. INTRODUCTION.	78
2. GENERALITES.	79
2.1. LE MODÈLE NEWTONIEN.	79
2.2. LE MODÈLE VISCOPLASTIQUE DE BINGHAM.	80
2.3. AUTRES MODÈLES VISCOPLASTIQUES.	80
2.4. LES MODÈLES PSEUDOPLASTIQUES.	81
2.5. LA VISCOSITÉ DYNAMIQUE.	81
2.5.1. La viscosité apparente μ_a .	81
2.5.2. Autres définitions.	81
2.6. LE VISCOSIMÈTRE DE COUETTE.	82
3. DETERMINATION DES RHEOGRAMMES.	82
3.1. LA PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS.	82
3.2. DIFFICULTÉS DE LA MESURE.	84
3.3. RÉSULTATS.	85
3.4. RIGIDITÉ INITIALE.	88
3.4.1. Influence de la concentration en matières solides.	88
3.4.2. Influence de la teneur en matière organique.	95
3.5. VISCOSITÉ DYNAMIQUE.	95
4. COMPORTEMENT AUX FAIBLES GRADIENTS.	98
5. EFFET DE THIXOTROPIE.	100
6. CONCLUSION.	102

CHAPITRE IV

ETUDE EXPERIMENTALE DE L'EROSION DES VASES DE RESEAU.

1. INTRODUCTION.	103
2. LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL.	104
2.1. DESCRIPTION DU CANAL.	104
2.2. MESURE DU PROFIL DES VITESSES.	105
2.3. DÉTERMINATION DE LA CONTRAINTE TANGENTIELLE À LA PAROI.	107
2.3.1. La sous-couche laminaire.	107
2.3.2. La sous-couche turbulente.	108
2.3.3. La sous-couche de transition.	108
2.3.4. Relations adimensionnelles du profil de vitesse.	109
3. APPROCHE DU SEUIL D'EROSION.	111
3.1. CRITÈRES DE DÉBUT D'ÉROSION.	111
3.2. CONDITIONS DE L'ESSAI D'ÉROSION EN CANAL.	111
3.3. DÉROULEMENT DE L'EXPÉRIENCE.	112
3.4. CONTRAINTE DE CISAILLEMENT CRITIQUE.	113
3.5. DISCUSSION DES RÉSULTATS.	114
4. APPROCHE DU TAUX D'EROSION.	116
4.1. CONDITIONS DE L'ESSAI D'ÉROSION.	116
4.2. ÉVALUATION DU TAUX D'ÉROSION.	117
4.3. ÉVOLUTION DES PARAMÈTRES DE POLLUTION	119
4.4. DISCUSSION	119
4.4.1. Erosion et sédimentation simultanées.	120
4.4.2. Diminution de la contrainte de cisaillement τ_0 .	120
4.4.3. Augmentation de la rigidité du lit sédimentaire.	121
4.4.4. Modification de la structure du sédiment en surface.	123

4.5. ÉVOLUTION DE LA GRANULOMÉTRIE DE LA SUSPENSION.	127
4.5.1. Remarques préliminaires.	127
4.5.2. Comparaison des courbes granulométriques de la suspension brute et de la fraction minérale.	127
4.5.3. Evolution de la granulométrie de la fraction minérale en suspension.	128
4.5.4. Evolution de la granulométrie des floes en suspension.	130
5. CONCLUSION	135

CHAPITRE V.

L'ÉROSION DU DÉPÔT ET SA PRISE EN COMPTE DANS LA MODELISATION.

1. INTRODUCTION.	136
2. ÉRODABILITÉ DU DÉPÔT.	137
2.1. RIGIDITÉ ET SEUIL D'ÉROSION DE LA VASE.	137
2.2. RIGIDITÉ ET ÉRODABILITÉ DU DÉPÔT.	139
2.3. CONTRAINTE TANGENTIELLE DE FROTTEMENT DANS LE RÉSEAU.	141
3. PRISE EN COMPTE DE L'ÉROSION DU DÉPÔT PAR LES MODELES.	142
3.1. FINALITÉ DE LA MODÉLISATION.	142
3.2. LA GESTION EN TEMPS RÉEL.	143
3.3. LES MODÈLES DE SIMULATION DE RÉSEAU.	143
3.3.1. Les types de modèles.	143
3.3.2. Exemple de modèle statistique.	144
3.3.3. La prise en compte de l'érosion dans les modèles conceptuels.	145
3.3.3.1. <i>Le modèle FLUPOL.</i>	145
3.3.3.2. <i>Le modèle THALLA.</i>	146
3.3.3.3. <i>Le modèle MOSQUITO.</i>	148
4. CONCLUSION.	150

INTRODUCTION GENERALE.

Les réseaux d'assainissement urbains, de type unitaire, reçoivent, simultanément, les eaux usées, domestiques ou industrielles, et les eaux pluviales. A l'aval de l'agglomération ces eaux sont, soit dirigées vers une station d'épuration, soit rejetées directement vers le milieu naturel.

Le devenir des eaux (rejet direct ou traitement par la station) est déterminé par les déversoirs d'orage et les bassins de stockage des eaux polluées. Cette détermination qui devrait être liée à des considérations qualitatives (degré de pollution de l'eau) est en fait réalisée techniquement par des seuils de débit et des volumes de stockage; critères quantitatifs, souvent figés à la construction.

Une gestion approximative des eaux, à ce niveau, a deux conséquences dommageables:

- le rejet d'eaux fortement polluées vers le milieu naturel,
- le transfert d'eaux claires vers la station d'épuration, source de dysfonctionnement (impact sur le milieu naturel) et de surcoût d'exploitation.

Pour la conception des ouvrages, il est donc nécessaire de pouvoir relier les paramètres quantitatifs (débits et volumes écoulés) aux paramètres qualitatifs (degré de pollution de l'eau). Or, les éléments qui contribuent à la formation des flux de matières polluantes dans les réseaux sont multiples:

- eaux usées d'origine domestique ou industrielle,
- lessivage des chaussées et toitures par le ruissellement pluvial,
- remise en suspension des dépôts stockés dans le réseau.

Le seul moyen, pour prendre en compte l'ensemble de ces phénomènes, est de simuler, à l'aide d'un modèle exprimé dans un formalisme informatique, le fonctionnement d'un réseau dans diverses situations de précipitations. L'élaboration de tels modèles nécessite l'analyse préalable des phénomènes mentionnés plus haut.

La présente étude se rattache à cette analyse et s'intéresse, spécialement, à la remise en suspension des dépôts par l'écoulement.

Les concepts de base de l'érosion et du transport solide sont étudiés dans un premier chapitre afin de mettre en évidence les paramètres qui habituellement sont pris en compte dans les nombreuses formulations empiriques existantes.

Par la suite, une observation in situ des sédiments tend à cerner les valeurs de ces paramètres et leur évolution dans les dépôts du réseau d'assainissement d'Entzheim.

Des expérimentations en laboratoire sont menées pour déterminer l'adéquation de ce matériau spécifique aux lois empiriques trouvées dans la bibliographie.

Enfin, une analyse de la façon dont les modèles prennent en compte l'érosion du dépôt est menée et confrontée aux constatations expérimentales et aux observations de terrain.

CHAPITRE I.

TRANSPORT SOLIDE EN RESEAU D'ASSAINISSEMENT UNITAIRE.

1. INTRODUCTION.

L'évaluation de l'impact des dépôts de réseaux d'assainissement sur la formation des flux de matières polluantes passe par l'étude de leur l'érodabilité. Mais avant d'examiner les caractéristiques spécifiques de ces sédiments, il faut analyser le phénomène du transport solide dans son ensemble, afin d'en dégager les paramètres pertinents.

Les lois du transport solide permettent de déterminer le comportement d'un matériau soumis aux forces hydrodynamiques d'un fluide en mouvement. Les nombreuses recherches menées dans ce domaine n'ont cependant pas permis de dégager, à ce jour, de loi générale.

Des comportements très différents sont observés en fonction des matériaux étudiés ou des conditions géométriques de l'écoulement. NOVAK et NALLURI [1984], par exemple, n'obtiennent pas les mêmes relations en canal rectangulaire qu'en conduite circulaire.

Ces divergences proviennent de l'incapacité de traduire avec exactitude un écoulement ou le comportement d'un matériau.

Les grandeurs moyennes de l'écoulement peuvent en général être déterminées par le calcul; mais les valeurs locales des paramètres ne sont pas toujours accessibles, même par l'expérimentation. Or dans le cas de l'érosion les interactions entre le matériau et le fluide se situent précisément à l'interface des deux éléments, dans la couche limite où les fluctuations de vitesse et de pression sont les plus importantes. Pour le transport en suspension, c'est la fluctuation verticale de la vitesse qui est déterminante.

Pour ce qui est du sédiment, il faut distinguer les matériaux non cohésifs des matériaux cohésifs, les seconds faisant intervenir des forces d'interactions beaucoup plus complexes.

Les relations établies à ce jour tentent toutes de décrire les différentes étapes du transport à partir de paramètres moyens dont les valeurs sont déterminées par l'expérimentation. Une approche nouvelle semble, cependant, avoir vu le jour ces dernières années. Elle s'appuie sur les phénomènes constatés à l'interface fluide-

sédiment, et notamment sur l'existence d'une structure cohérente et répétitive de la turbulence.

Après un examen des paramètres hydrauliques caractérisant l'écoulement et des paramètres physiques relatifs aux sédiments, nous dégagerons les tendances générales des nombreuses relations de transport existantes.

5. CONCLUSION.

Etant donné l'impossibilité de mener l'étude du transport solide au niveau des interactions entre le fluide et les particules solides, nous sommes contraints de mener une étude expérimentale. Celle-ci ignore en général les phénomènes locaux pour ne s'intéresser qu'aux grandeurs moyennes globales. Elle nous oblige à considérer séparément l'érosion, et le transport.

Lorsqu' on s'intéresse à des particules grenues isolées, les relations empiriques existantes sont satisfaisantes dans la plupart des cas.

Pour les couches sédimentaires, dans lesquelles existent de fortes interactions particulières, les problèmes deviennent plus complexes. Lors de l'étude de l'érosion, il faut tenir compte de ces forces cohésives, au travers d'un paramètre spécifique. Pour les vases, le paramètre couramment employé dans les formules est la rigidité initiale. Ce paramètre est très sensible à l'état du sédiment (concentration en matières solides).

L'érosion doit être définie par les conditions de début de mouvement mais également par un taux d'érosion, fixant la quantité de matière arrachée au sédiment par unité de temps, pour des conditions hydrauliques données.

Les relations empiriques, donnant la capacité de transport d'un écoulement, sont déterminées, en général, à partir d'expérimentations faites sur des particules sableuses de taille et densité connues. L'érosion d'un sédiment cohésif, en réseau d'assainissement, contribue à la mise en suspension de floccs, (plusieurs particules agglomérées par de la matière organique) de taille et densité inconnues, rendant l'application des relations précédentes délicates.

Dans la suite, nous allons étudier les caractéristiques des dépôts de réseau d'assainissement afin d'en dégager les paramètres en rapport avec leur érosion.

CHAPITRE II.

LES DEPOTS DE RESEAU D'ASSAINISSEMENT UNITAIRE.

1. INTRODUCTION.

La partie précédente nous a permis de dégager les caractéristiques fondamentales du sédiment qui interviennent dans son érosion et son entraînement par l'écoulement. Nous allons maintenant examiner ces paramètres sur les dépôts de réseaux d'assainissement unitaires afin de définir leur érodabilité.

ARTIERES [1987] a étudié l'origine des dépôts en suivant leur granulométrie, depuis les toitures et les chaussées, jusque dans l'égout. Dans la présente, étude nous nous intéressons uniquement aux dépôts du réseau dont nous tenterons de préciser la nature et surtout la structure in situ.

9. CONCLUSION.

L'analyse des profils verticaux, sur des carottes de sédiments congelés, s'avère une méthode très intéressante pour caractériser les dépôts et étudier leur évolution.

Elle nous a permis de mettre en évidence le rôle primordial de la matière organique dans la structure du dépôt. La concentration en matière solide est directement liée à ce paramètre et le profil de tassement peut s'en trouver masqué.

La répartition verticale de la matière organique et de la vase, dans la couche sédimentaire, est étroitement liée aux conditions de sédimentation et constitue une empreinte de l'évènement pluvial qui a provoqué le dépôt ou son remaniement.

A la lumière de ces profils, le dépôt semble se constituer par couches de plusieurs centimètres d'épaisseur. La hauteur totale du dépôt reste constante mais la partie supérieure est remaniée lors des pluies importantes.

Par la suite, il semble intéressant de coupler une telle campagne d'observations avec une campagne de mesure des hydrogrammes et pollutogrammes. Cependant, le prélèvement d'échantillons de sédiment est une méthode d'analyse destructive pour la couche sédimentaire. Il sera donc difficile d'obtenir de nombreuses informations successives, sur l'évolution du dépôt dans une même zone.

La présence de la matière organique a deux effets contraires sur le sédiment. De par sa nature, elle lui apporte de la cohésion au même titre qu'une argile; mais par ailleurs en empêchant le tassement, elle limite également cette cohésion. L'effet global sur l'érodabilité du sédiment reste donc à déterminer.

L'étude rhéologique nous permettra de mieux cerner cet aspect sur la fraction granulométrique fine du dépôt.

CHAPITRE III

ETUDE RHEOLOGIQUE DE LA PARTIE FINE DU DEPOT.

1.INTRODUCTION.

Au chapitre I, nous avons vu qu'il semble exister une loi unique, reliant les conditions d'érosion d'un sédiment cohésif à la rigidité initiale τ_y .

Par ailleurs, certaines propriétés de la vase, caractéristiques des argiles, sont imputables en partie à la présence de la matière organique.

Celle-ci intervient déjà fortement dans la structure du sédiment. Dans le présent chapitre nous allons chercher à mettre en évidence son influence sur le comportement rhéologique de la vase.

A cet effet, nous allons mesurer la viscosité et la rigidité initiale sur une série d'échantillons, pour différentes concentrations de la vase et différents teneurs en matières organiques.

6. CONCLUSION.

Nous avons mis en évidence, dans ce chapitre, la difficulté à obtenir une mesure précise et unique de la rigidité initiale au vu des problèmes liés à la préparation des échantillons, à l'appareillage ainsi qu'à la méthodologie utilisée et à la thixotropie du matériau.

Néanmoins, les mesures effectuées sur des échantillons préparés de façon similaire, en utilisant un appareillage et une méthodologie déterminée, ont une valeur comparative.

Nous avons donc ici encore mis en évidence l'influence prédominante de la matière organique qui, dans le cas de la vase étudiée, augmente la rigidité initiale. Pour ce matériau spécifique qu'est la vase de réseau d'assainissement, la rigidité initiale n'est donc pas uniquement fonction de la concentration en matières solides; mais il convient de tenir compte de ce paramètre supplémentaire qu'est la matière organique.

CHAPITRE IV

ETUDE EXPERIMENTALE DE L'EROSION DES VASES DE RESEAU.

1. INTRODUCTION.

L'étude expérimentale des conditions d'érosion de la vase est menée en complément de la partie rhéologique, dans le but de vérifier la relation existant entre la rigidité initiale et la contrainte de cisaillement critique. Elle permettra aussi de préciser les mécanismes d'érosion de ces vases cohésives et la valeur du taux d'érosion pour la gamme de vitesses de frottement disponibles dans notre canal. Enfin, quelques remarques seront faites sur l'évolution des paramètres physico-chimiques de l'eau et du sédiment durant l'érosion.

Cette expérimentation est menée dans un canal de dimensions modestes, dans lequel on ne peut prétendre reproduire les conditions d'écoulement des réseaux d'assainissement. Cependant, la mesure précise du profil de vitesse dans la couche limite, à l'aide de la vélocimétrie laser, nous permet de rapporter nos constatations à des conditions hydrauliques bien définies.

L'extrapolation de ces résultats aux conditions de terrain posera, par la suite, le problème de la connaissance exacte des conditions d'écoulement en réseau et de la représentativité du dépôt remanié que nous avons utilisé.

5. CONCLUSION

La mesure du seuil d'érosion de la vase confirme son caractère cohésif. La relation entre la rigidité initiale de la vase et sa vitesse de frottement critique est conforme à la loi établie par le L.C.H.F. Cette vérification n'étant faite que sur un point, des expérimentations complémentaires, sur des vases à des teneurs en matières organiques plus élevées, sont souhaitables.

Cette contrainte critique ne doit pas être considérée comme un seuil au-delà duquel la totalité du dépôt serait entraînée. Un certain nombre d'expérimentations ont, en effet, mis en évidence que pour des conditions hydrauliques données, l'érosion n'affectait qu'une couche déterminée du sédiment. Les mécanismes qui interviennent dans ce blocage de l'érosion sont pour le moment encore mal connus et peu étudiés.

Le gradient vertical de teneur en matière sèche qui est lié au tassement et provoque une augmentation de la rigidité initiale est une des explications avancées. Dans ce cas le phénomène est lié à une caractéristique intrinsèque du sédiment en place.

Mais on constate également que l'écoulement et l'érosion contribuent à modifier la structure de l'interface eau-sédiment; ces modifications étant susceptibles d'inhiber l'érosion. Dans ce cas le phénomène n'est pas seulement lié aux caractéristiques initiales du sédiment, mais également aux transformations que subit ce dernier durant l'érosion.

Cette constatation est primordiale dans l'estimation de la contribution des dépôts à la formation des flux de matières polluantes dans un réseau d'assainissement. Dès lors, il ne suffit pas de déterminer les conditions hydrauliques qui provoquent la remise en suspension du sédiment mais il faut également connaître l'épaisseur de la couche qui sera sollicitée.

CHAPITRE V.

L'ÉROSION DU DEPOT ET SA PRISE EN COMPTE DANS LA MODELISATION.

1. INTRODUCTION.

Nous tenterons, ici, de faire la synthèse des principales observations relevées aux chapitres précédents, afin de déterminer les modalités de l'érosion des dépôts dans les réseaux d'assainissement. Cependant, les expérimentations menées ne sont pas suffisantes pour pouvoir proposer des lois d'érosion pour ce type de sédiment.

La connaissance de telles lois est nécessaire pour l'élaboration de modèles de simulation du fonctionnement des réseaux d'assainissement. L'intérêt de ces modèles est présenté brièvement, puis nous examinerons plus en détail comment ils prennent en compte, actuellement, les problèmes d'érosion des dépôts.

4. CONCLUSION.

Si on considère les seules caractéristiques physiques que la présence de la matière organique induit dans la consolidation du sédiment, il apparaît que l'effet de cohésion reste faible, du moins au regard des quelques expérimentations existantes dans ce domaine.

La prise en compte d'un facteur biologique, lié à la présence de matière organique, conduit à des effets de consolidation plus élevés qui pourraient expliquer la pérennité de certains dépôts.

L'importance de la prise en compte du dépôt dans les modèles de simulation de réseau est incontestable. Le problème de la consolidation peut y être résolu par le calage du modèle en introduisant des paramètres plus ou moins en rapport avec des caractéristiques physiques du sédiment.

L'introduction de paramètres physiques mesurables, pour décrire la consolidation du sédiment garantit le fait que le modèle soit transposable. Les modèles conceptuels sont, à ce point de vue, supérieurs aux modèles statistiques et sont par ailleurs les seuls utilisables dans la conception de projet. Il faut cependant que leur calage repose sur des paramètres vérifiables dans la nature.

CONCLUSION GENERALE

La complexité des écoulements (turbulence) et des interactions des particules d'un sédiment cohésif, nous oblige à aborder les phénomènes d'érosion et de transport solide de façons expérimentales et de les traduire par des lois empiriques.

Cette approche nous conduit à distinguer les trois concepts suivant, dont chacun sera traduit par une loi expérimentale propre:

- le seuil d'érosion
- la cinétique de l'érosion
- la capacité de transport du fluide.

L'adaptation de ces lois au sédiment de réseaux d'assainissement, doit tenir compte de la spécificité de ce matériau qui est caractérisé par une teneur en matière organique élevée et très variable.

La répartition de cette matière organique, dans le réseau, est liée aux conditions d'écoulement dans chaque tronçon; mais elle évolue dans le temps en fonction des caractéristiques des écoulements pluvieux qui traversent le réseau.

La matière organique conditionne la structure même du sédiment. Sa présence masque le phénomène de tassement qui, sur des vases plus homogènes, conduit à des profils de concentration en matière solides caractéristiques (concentrations croissantes avec la profondeur).

Présente dans la vase, qui constitue la substance cohésive du dépôt, elle en modifie le comportement rhéologique. Elle entraîne une augmentation de la rigidité initiale et de la viscosité.

L'effet global de la matière organique est un accroissement de la résistance du dépôt, à l'action érosive de l'écoulement.

Le seuil d'érosion de la vase peut s'exprimer en fonction de la rigidité initiale de ce matériau; mais la quantité de matières entraînées semble limitée et fonction des caractéristiques de l'écoulement. Cependant cette limitation n'est pas liée à la capacité de transport de l'effluent. Il semble que l'entraînement d'un sédiment par un écoulement fluide soit régi par une capacité érosive et une capacité de transport; chacun de ces termes pouvant être, séparément, un facteur limitant du phénomène global. Les lois gouvernant le transport sont assez bien définies, du moins quant aux paramètres significatifs. Pour ce qui est de la cinétique de l'érosion et des conditions de son arrêt, on en est au stade des hypothèses.

Il semble qu'à ce niveau, il serait intéressant de développer un modèle qui par un formalisme informatique prenne en compte, de façon plus réaliste, les interactions entre l'écoulement (structures de la turbulence) et le sédiment.

En ce qui concerne l'étude immédiate du sédiment de réseau il convient de poursuivre les études expérimentales en canal sur des mélanges de vases et de sable.

Les modèles de simulation du fonctionnement de réseaux d'assainissement prennent, en général, en compte l'érosion du sédiment au travers de la capacité de transport qui constitue le seul facteur limitant. Cette simplification conduit à traduire le phénomène de l'érosion par les paramètres de calage du modèle. Une telle approche peut être suffisante pour connaître le fonctionnement global d'un réseau; mais elle n'apporte que peu d'informations sur les phénomènes à l'origine des flux de matières polluantes. Elle risque au contraire de les occulter.

Un seul des modèles introduit la notion de seuil d'érosion; mais il ne tient pas compte de façon claire d'une cinétique d'érosion (au travers par exemple d'un taux d'érosion).

Les modèles qui essaient de traduire l'érosion par des mécanismes réalistes, en introduisant des paramètres physiques mesurables, sont certes plus complexes; ils permettent cependant de progresser dans la connaissance des phénomènes intervenant dans les réseaux et ainsi, d'adapter les stratégies de gestion de ces ouvrages.