

PARTIE V. Conclusions générales et perspectives

Les rejets urbains de temps de pluie sont chargés de particules ayant un impact négatif sur l'environnement. La contribution des dépôts situés dans le réseau d'assainissement à cette pollution est importante. Dans les réseaux unitaires, les stocks de matière organique situés à l'interface eau-sédiment ont été identifiés comme une source majeure de pollution pour les RUTP. Ces stocks se constituent par temps sec et sont érodés par temps de pluie.

Cette recherche vise à définir les critères pour l'existence de stocks de matière organique à l'interface eau-sédiment ainsi qu'à déterminer s'il existe différentes formes de stocks. Elle vise également à préciser les connaissances sur le comportement d'un type d'interface (la couche organique) par temps sec et par temps de pluie.

Pour cela deux dispositifs d'observation ont été mis au point : l'un est « portable » et permet de localiser et d'identifier l'interface eau-sédiment le long des collecteurs, du réseau d'assainissement, le second est « fixe » et permet de suivre en continu, sur un site, les évolutions de la couche organique.

1. Principaux résultats

1.1. L'évaluation du taux de cisaillement

Des expérimentations ont été réalisées afin de comparer différentes méthodes pour estimer le taux de cisaillement dans le but de sélectionner une méthode pratique pour l'estimation du taux de cisaillement en égout.

Dans le cas des tronçons de collecteurs sans dépôt, l'établissement d'un profil de vitesse avec 4 points de mesures (dont un près du fond) suffit à obtenir un résultat relativement précis.

L'étude menée dans les tronçons de collecteurs avec dépôt a mis en évidence les problèmes hydrauliques liés à la présence des sédiments. Les formes des dépôts créent des perturbations locales importantes de l'écoulement et les relations utilisées classiquement pour déterminer le taux de cisaillement pour un tronçon de collecteur se révèlent imprécises.

Dans le cadre de notre étude, une estimation précise du cisaillement aurait sans doute permis d'éclairer les phénomènes se produisant à l'interface eau-sédiment. L'évaluation du taux de cisaillement dans ce type de conditions passe probablement par une modélisation hydraulique tri-dimensionnelle de l'écoulement. Cependant, ce type d'analyse demande beaucoup de ressources en temps et en calculs. Nous avons donc opté pour une estimation du cisaillement basée sur la méthode des profils de vitesse pour préciser les caractéristiques de l'écoulement

dans les zones étudiées bien que les taux de cisaillement ainsi déterminés ne soient pas vraiment représentatifs des phénomènes locaux que nous cherchons à étudier.

1.2. L'interface eau-sédiment dans la bassin versant du Marais

Un nouveau système d'observation a été développé : il est basé sur un endoscope et il permet de visualiser l'interface eau-sédiment de manière ponctuelle et non-destructive.

L'utilisation de ce système permet de vérifier la présence et d'estimer le volume des stocks de matière organique à la surface des dépôts grossiers. Son encombrement limité permet de l'utiliser pour étudier rapidement des longueurs importantes de collecteurs.

Sur le bassin versant du Marais, l'interface eau-sédiment a été identifiée comme une couche organique immobile. Les critères pour l'existence de la couche organique sont les suivants : faible vitesse d'écoulement ($U < 0,15$ m/s), faible pente de radier ($j < 0,05$ %), présence de dépôts grossiers avec des « creux ». La couche organique se développe dans des zones où le taux de cisaillement est très faible (inférieur à $0,03$ N/m²).

Enfin, il semble que la couche organique ait une composition relativement homogène sur tout le bassin versant du Marais (MV/MS : 76 % ; DCO/MS : $1,5$ gO₂/g ; DBO₅/MS : $0,4$ gO₂/g).

La présence d'une couche « crémeuse » a également été mise en évidence au-dessus des dépôts existants à l'amont des collecteurs, dans les zones de fort ralentissement de l'écoulement. Elle semble être constituée de fines particules en suspension dans de l'eau stagnante et peut contenir des bulles de gaz.

1.3. L'interface eau-sédiment dans des bassins versants hors du Marais

Le système d'observation basé sur l'endoscope a été testé avec succès dans les collecteurs du Marais à Paris ainsi qu'à Marseille, à Dundee (G-B), à Hildesheim (Allemagne) et dans deux villes du Yorkshire (G-B). Ce travail en collaboration avec plusieurs équipes a permis d'observer deux types d'interface :

- des solides se déplaçant près du fond le long des collecteurs, des « NBS » (Hildesheim, Dundee)
- de la couche organique immobile (Paris, Marseille).

La couche organique a été observée dans les creux des dépôts grossiers, à l'amont des réseaux d'assainissement, dans des zones où la vitesse d'écoulement est inférieure à $0,15$ m/s tandis que les « NBS » ont été observés au-dessus des dépôts grossiers, à l'aval des réseaux d'assainissement, dans des zones où la vitesse d'écoulement oscillait entre $0,2$ et $0,4$ m/s. Ces

différences de conditions hydrauliques suffisent sans doute à expliquer le caractère mobile/immobile des interfaces observées.

1.4. La dynamique de la couche organique

Un second système d'observation a été mis au point, il est basé sur une boîte vitrée, encastrée dans une paroi de l'égout, à l'intérieur de laquelle un système de prise de vue automatisé a été installé. Les expériences réalisées avec la boîte d'observation en continu sur le Marais ont permis de mettre en évidence la complexité de la structure et du comportement de la couche organique.

La couche organique n'est pas un élément homogène : elle est composée de plusieurs matériaux et elle est vraisemblablement stratifiée.

Par temps sec, des phénomènes d'expansion et de tassement ont pu être observés, ainsi que des processus d'érosion par « morceaux » suivis du remplissage rapide des « trous » ainsi réalisés : la surface de la couche organique est donc remaniée fréquemment. Enfin, la couche organique semble atteindre rapidement un palier, un état stable en volume sur le tronçon de collecteur étudié.

Durant les augmentations de débit, nous avons pu constater que les phénomènes d'érosion ne se produisaient pas de manière homogène à la surface du sédiment et que le charriage faisait partie des processus importants pour l'érosion de la couche organique. Il semble donc que des notions telles que le « hasard » ou les phénomènes de pression internes à la structure de la couche doivent être pris en compte pour caractériser le comportement de la couche organique.

2. Perspectives de recherche

2.1. Localisation de la couche organique

La couche organique est la principale source de pollution des eaux transitant dans le réseau du Marais par temps de pluie. Les observations menées sur le bassin versant du Marais ont montré que l'existence de la couche organique est liée à des conditions hydrauliques particulières. On peut se demander si elle est toujours la principale source de pollution à l'échelle d'un grand bassin versant.

Dans le cadre du programme de recherche « évolution spatiale des caractéristiques et des origines des polluants dans les réseaux d'assainissement unitaires » sur le site de l'OPUR, il

serait intéressant d'évaluer le linéaire de réseau dans lequel les conditions d'écoulement sont favorables à la formation de la couche organique afin d'estimer les masses de particules disponibles. Une campagne d'observations avec l'endoscope sur certains des sites ainsi identifiés hors du Marais permettrait par ailleurs de vérifier si les critères d'existence déterminés ici sont suffisants.

2.2. Caractérisation de la couche organique

Les observations réalisées avec la boîte fixe ont montré que la couche organique est un matériau complexe. Plusieurs questions restent en suspens et pourraient trouver une réponse dans une nouvelle série d'expérimentations.

- Y a-t-il une évolution physico-chimique et biologique de la couche organique avec le temps ?

pour étudier le « vieillissement » de la couche organique, on peut imaginer de curer entièrement un tronçon de collecteur afin d'obtenir une couche organique « fraîche », puis d'effectuer des prélèvements à différents âges ;

- Existe-t-il une stratification de la couche organique ?

pour réaliser une étude de la couche suivant son épaisseur, on peut proposer de réaliser des carottages cryogéniques qui permettraient une analyse des variations de la composition, de la densité et de la teneur en eau de la couche organique ainsi que de paramètres biologiques.

2.3. Dynamique de la couche organique

Le suivi que nous avons réalisé sur le collecteur Saint-Gilles durant deux années a montré que la couche organique avait atteint une hauteur « d'équilibre ». Le suivi d'un tronçon de collecteur à partir de sa date de curage permettrait d'étudier la cinétique de formation de la couche organique à partir d'un état « 0 ».

Nous avons également pu observer des phénomènes internes à la couche organique, du type expansion/tassement et des phénomènes d'érosion par « morceaux ». Un suivi de la pression interstitielle de la couche organique, au moyen de capteurs de pression placés sur le fond du collecteur ou contre une paroi latérale, permettrait d'apporter des éléments de compréhension de ces phénomènes.

Enfin, le charriage semble tenir une part importante dans les processus d'érosion durant les augmentations de débit. La disposition de pièges à charriage à l'aval des zones où se

développe la couche organique permettrait sans doute de savoir si ces particules charriées sont désagrégées et remises en suspension ou bien si elles continuent à se déplacer près du fond, comme des « NBS ».

2.4. Modélisation des stocks de matière organique à l'interface eau-sédiment

Les modèles de qualité proposés actuellement sur le marché utilisent des modules de transport de sédiment basés sur l'érosion de dépôts constitués par un matériau granulaire homogène (Tait *et al.*, 2002). De plus, ils sont très sensibles au terme de « stock initial » des sédiments (Kanso, 2001). Il n'existe pas de modèle d'ensablement qui donne entière satisfaction : les modèles déterministes sont insuffisants et les modèles conceptuels n'ont pas encore fait leur preuve dans le cas d'applications systématiques (Gérard, 1999).

Dans ce cadre, l'interface eau-sédiment qui est un élément cohésif et hétérogène n'est pas simple à mettre en équations. Il a également été mis en avant qu'un facteur important pour décrire la couche organique pourrait bien être l'« aléa », ce qui amène à des modélisations de type stochastique.

Les pistes les plus plausibles à l'heure actuelle concernent l'établissement de modèles de localisation de la couche organique, basés sur les critères déterminés durant ce travail, qui permettraient de déterminer les zones à risque dans le réseau.

2.5. Gestion de la couche organique

L'expérience à laquelle nous avons participé dans le collecteur Tobelem de Marseille a montré que l'utilisation de vanes Hydrass permet d'éroder les stocks de couche organique (Laplace *et al.*, 2002 – cf. Annexes). En effet, les chasses d'eau induites par ce type de vanne provoquent une augmentation du cisaillement au fond à laquelle l'interface eau-sédiment ne résiste pas. Cependant, la zone d'action de la vanne Hydrass n'est pas vraiment définie : l'utilisation du système d'observation avec l'endoscope permettrait d'étudier l'impact de la vanne Hydrass sur des longueurs importantes de collecteur.

Les observations que nous avons menées sur Le Marais ont montré que les zones touchées par le développement de la couche organique sont relativement limitées. L'implantation de vanes Hydrass dans ce type de réseau ne paraît pas judicieuse : les pentes de radier sont peu favorables à l'installation d'une vanne, les débits sont faibles, etc. On peut alors proposer des

aménagements dans les zones sensibles du type rectification de la pente du radier, couverture avec des revêtements glissants ou modification des sections d'écoulement.

3. Perspectives méthodologiques

Durant cette thèse, deux systèmes d'observation de l'interface eau-sédiment ont été mis au point et testés sur site.

Le premier système basé sur un endoscope permet de visualiser l'interface eau-sédiment de manière ponctuelle. Des améliorations pourraient être apportées à ce système afin d'en faciliter l'usage dans les collecteurs circulaires de diamètre réduit. On peut suggérer, par exemple, l'utilisation d'un endoscope de taille plus réduite (il existe des endoscopes à partir de 40 cm de long). L'utilisation d'un endoscope ne semble cependant pas indiquée dans le cas des collecteurs de grande taille. En effet la puissance et la largeur des écoulements dans les grands collecteurs ne permettent pas de procéder suivant la méthodologie qui a été utilisée sur les petits collecteurs.

Enfin l'utilisation de l'endoscope ouvre des perspectives au niveau de l'analyse de l'interface eau-sédiment. En effet, un système de reconnaissance et de traitement de l'image pourrait être adapté pour faire une analyse granulométrique des dépôts à partir des clichés obtenus avec l'endoscope. Ce type de caractérisation a été réalisé avec succès par Breuil (1999) avec un fibroscope pour effectuer une reconnaissance des milieux granulaires dans des sols et de la neige.

Le second système est basé sur l'encastrement d'une boîte d'observation dans une paroi de l'égout à l'intérieur de laquelle on installe un système de prise de vue automatisé. Les résultats obtenus sur Le Marais sont très encourageants. Des améliorations pourraient être apportées à ce système afin de limiter les reflets (sur le système ou par traitement numérique des images) et d'asservir le système de prise d'images à un débitmètre, afin de déclencher automatiquement la prise d'image durant des pluies.