MODELISATION DE LA DECANTATION EN BASSIN : APPLICATION AU BASSIN DE LA MOLETTE EN SEINE-SAINT-DENIS

L. DOYEN, B. BREUIL
Conseil général de Seine-Saint-Denis

RESUME

L'expérience de la dépollution des eaux pluviales acquise depuis plusieurs années par le Conseil général de Seine-Saint-Denis, nous permet d'établir quelques constats : bon abattement de la pollution par décantation, données sur les vitesses de chute des particules, besoin d'outils pour la conception des avant-projets et problème de gestion des bassins pour la dépollution.

C'est pourquoi, nous avons élaboré deux modèles de décantation en bassin. Le premier, un modèle dit de « mélange parfait », le second est un modèle dit « piston ». Nous avons appliqué ces deux modèles sur le bassin de la Molette en Seine-Saint-Denis, où nous avons fait des mesures de bilan sur la dépollution par décantation des eaux par temps de pluie.

1. OBJECTIF

Le Conseil général de Seine-Saint-Denis s'est engagé depuis plusieurs années dans la lutte contre la pollution des eaux pluviales. De grands bassins de retenue ont été construits, pour à la fois, préserver l'aval contre les inondations mais aussi afin de piéger les matières en suspension par la décantation.

Nous avons longtemps pensé que le mélange d'eaux usées et pluviales avait un caractère organique trop important pour obtenir de bons abattements de la pollution par simple décantation. Or, l'étude sur la décantation d'eaux de surverses unitaires a montré que l'on pouvait attendre des abattements très importants sur de nombreux paramètres de pollution (87-94 % sur les MES) et rendre ainsi ces eaux compatibles avec un rejet au milieu naturel en référence aux normes imposées à un traitement en station d'épuration.

Par ailleurs, une thèse du CERGNE [1] en association avec plusieurs collectivités locales a montré qu'il était beaucoup plus intéressant de mesurer la répartition des matières transportées pendant la pluie en classes de vitesse de chute d'autant plus qu'elles ne sont pas reliées de manière claire à la répartition granulométrique.

Les mesures effectuées sur quatre sites (Bordeaux : eau pluviale, Marseille : unitaire, Seine-Saint-Denis : une surverse d'unitaire et une pluviale) ont montré une certaine similitude entre les courbes de répartition des classes de vitesse de chute en fonction du type de réseau étudié (unitaire — pluvial). Toutefois, il reste à étudier cette similitude en fonction du type de pluie, car il semblerait, que pour les pluies faibles, les vitesses de chute sont faibles (cf. figures 1 et 2).

C'est pourquoi, nous avons décidé d'exploiter ce paramètre dans l'approche de la décantation afin de comprendre les mécanismes globaux du fonctionnement des bassins.

Pour cela, nous avons développé deux modèles simples de fonctionnement hydraulique de bassin dans lesquels, interviennent comme variables de forçage, les classes de vitesse de chute (20 classes en tout ont été définies), les débits d'entrée et de vidange, les concentrations en MES à l'entrée du bassin

Figure 1 : Courbe moyenne de répartition des vitesses de chute pour des eaux pluviales.

Figure 2 : Courbe moyenne de répartition des vitesses de chute pour des eaux de type unitaire par temps de pluie.

et la relation hauteur-volume. Ces modèles n'utilisent aucun paramètre de calage et donne comme résultats l'évolution de la masse en MES sortant du bassin et l'efficacité de la décantation [2]. On essayera par la suite de comparer au cours des avant-projets, les rendements de décantation en fonction de différents profils de bassin.

2. CONCEPTS SIMPLES POUR LA MODELISATION DU COMPORTEMENT HYDRAULIQUE ET DE LA REPARTITION DES PARTICULES DANS UN BASSIN

2.1. MODELE DIT « MELANGE PARFAIT »

Le bassin se remplit en fonction de la courbe hauteur volume caractérisant son profil. Les particules sont, au début du pas de temps t donné, réparties uniformément sur la hauteur d'eau du bassin. Pendant le pas de temps, chaque particule d'une même classe décante d'une hauteur proportionnelle à la vitesse de chute associée à cette classe.

Cela revient donc, à calculer le trajet de la particule la plus haute ($H1$ correspondant au volume de bassin $V1$) qui atteint une nouvelle hauteur $H2$, à laquelle correspond un volume du bassin $V2$. Comme la concentration de chaque classe reste constante pendant la phase de décantation, nous avons la formule suivante :

$$M1/V1 = M2/V2$$

D'où :

$$dM = M1 - M2 = M1 - M1 \cdot \frac{V2}{V1} = M1 \cdot \frac{V1 - V2}{V1}$$

$$dM = \frac{M1}{V1} \cdot dV \quad (1)$$

A chaque pas de temps où le débit qui entre ou qui sort n'est pas nul, et une fois que les particules présentes dans le bassin ont décanté, on simule le brassage des particules en homogénéisant la répartition des masses de chaque classe de vitesse de chute dans tout le volume du bassin. La concentration de chaque classe est ainsi modifiée.

Pour la surverse et la vidange, on applique la formule (1), avec dV le volume déversé ou vidangé et dM la masse de particules déversée ou vidangée. La masse totale est obtenue par sommation de toutes les classes de vitesse de chute (cf. figure 3).

2.2. MODELE DIT « PISTON »

Ce modèle est basé sur le principe suivant : les particules les premières entrées sont les premières vidangées. Pour cela, on associe à chaque volume entrant pour un pas de temps donné, un groupe de particules (selon le pollutogramme de la crue). Ce groupe de particules subit les différences de hauteurs d'eau liées aux débits entrants ou sortants et pour chacune des classes de vitesse au sein de ce volume, les particules décantent de $V_i \cdot dt$. La masse décantée est toujours égale à :

$$dM = \sum \frac{M_{ti}}{V} \cdot dV$$

avec :

- t_i : date d'injection de chaque volume et dV égal à la différence des volumes correspondant aux hauteurs maximums des particules d'une même classe aux temps t et $t + dt$ (cf. figure 4) ;
- $H_{max, i(t)}$: hauteur maximum des particules de la i ème classe de vitesse de chute au temps t ;
- i : représente le numéro de la classe de vitesse de chute ;
- $H_{max, i(t + dt)}$: hauteur des particules de la i ème classe de vitesse de chute au temps $t + dt$.

En travaillant ainsi sur les volumes et non-directement sur les hauteurs, le profil de bassin est pris en compte, et donc :

$$dV = V[H_{max, i(t)}] - V[H_{max, i(t + dt)}]$$

Ainsi, pour la i ème classe de vitesse de chute, c'est-à-dire pour les particules entrées au même pas de temps i , on a comme masse décantée :

$$M = \frac{M(t)}{V[H_{max, i(t)}]} \cdot (V[H_{max, i(t)}] - V[H_{max, i(t + dt)}])$$

Par ailleurs, pour simuler l'influence des débits d'entrée ou de vidange, on tient compte d'une dilatation ou diminution des hauteurs des classes de particules. Pour cela, on multiplie le volume sous la particule la plus haute, de la classe considérée, par le taux d'accroissement du volume et on calcule alors la nouvelle hauteur maximum de cette particule à partir de la relation hauteur-volume du bassin.

Figure 3 : Représentation graphique des volumes entrés aux différents pas de temps.

Figure 4 : Illustration.

Pour la simulation de la vidange, sur le principe du premier entré, premier sorti, on soustrait du bassin les volumes les plus anciens jusqu'à obtenir la totalité du volume vidangé dans le pas de temps considéré (cf. figure 5).

3. ESSAI DE REPRODUCTION D'EVENEMENTS SUR LE BASSIN DE LA MOLETTE EN SEINE-SAINT-DENIS

3.1. DESCRIPTION DU SITE

Il s'agit d'un bassin revêtu, placé sur le collecteur E.P. Bondy/Blanc-Mesnil (BBM). Ce collecteur de 2,5 m de diamètre décharge par temps de pluie, au moyen de deux surverses et de 4 siphons, le réseau unitaire du centre du département de la Seine-Saint-Denis qui reçoit, en plus, par une station de pompage les eaux usées du bassin séparatif du Nord-Est du département ($Q_{max} = 1 \text{ m}^3/\text{s}$).

Ce bassin est composé de trois compartiments, un premier revêtu (capacité de 45.000 m^3), un second en herbe (capacité de 45.000 m^3) recevant les eaux du premier et un troisième en eau (capacité de 110.000 m^3). La modélisation s'est centrée uniquement sur le 1er compartiment. Deux campagnes de mesures ont pu être exploitées et ont servi aux essais de modélisation. Ce sont les campagnes du 7 août 1989 et 30 juin 1992 (cf. figure 6).

3.2. MODELISATION

Le compartiment revêtu possède deux exutoires, un premier vers le bassin en herbe et un second servant de collecteur de vidange et pouvant être alimenté par une vanne seuil. Pour les deux campagnes de mesures, ces surverses ont fonctionné. Nous avons mesuré les concentrations en MES à l'entrée du bassin, au niveau des deux surverses, et à l'aval de la vanne de vidange (les fréquences d'échantillonnage sont de 10 ou 20 minutes selon les cas). Les débits ont été calculés à un pas de temps de 5 minutes.

Pour simuler les flux rejetés par les deux surverses et la vidange, nous avons dû regrouper les mesures en une seule, en considérant un seul exutoire. Les deux modèles ont été testés sur les deux campagnes de mesures.

Les déversements se sont produits pour les deux crues en deux étapes. Le débordement par les deux surverses constitue la première étape, la vidange la seconde. C'est pourquoi, dans la suite du document, nous distinguons ces deux étapes par l'appellation respective de surverse et vidange.

Shéma du bassin de la Molette

Figure 6 : Schéma du bassin de la Molette.

3.3. RESULTATS

3.3.1. Mesures sur le terrain

Pour la campagne du 7 août 1989, nous avons intercepté une crue bimodale, pour laquelle le bilan sur les flux en matières en suspension fait apparaître un rendement de la décantation de 87 % pour le compartiment revêtu. En fait, celui-ci n'a été que de 84 %, car la fin de vidange a entraîné une grande quantité de matières et ce phénomène n'est pas pris en compte par le modèle. Pour la seconde campagne le rendement est de 94 % [3].

Le tableau 1 fait apparaître les différents rendements mesurés sur le compartiment revêtu, pour certains paramètres de pollution mesurés durant deux événements.

3.3.2. Résultats des modélisations de la décantation des matières en suspension

Les tableaux 2, 3 et 4 récapitulent les différentes masses modélisées et mesurées pour les deux crues étudiées.

Ces tableaux montrent que, globalement, le modèle « piston » reproduit bien le bilan en masse des différents rejets, alors que les résultats du modèle « mélange » sont plutôt médiocres (cf. figures 7 à 12 et tableau 5).

La comparaison entre les évolutions des concentrations en MES modélisées et mesurées sont assez satisfaisantes pour le modèle « piston », et médiocres pour le modèle « mélange ». Les moyennes des erreurs sont comprises entre 40 % et 70 % pour le modèle « piston », alors qu'elles varient entre 50 et 300 % pour le modèle « mélange ».

Figure 5 : Modèle « piston ».

Tableau 1 : Divers rendements mesurés sur le compartiment revêtu pour certains paramètres de pollution mesurés durant deux événements.

	Pluie du 7 août 1989	Pluie du 30 juin 1992
M.E.S.	87,5 %	93,5 %
D.C.O.	84,5 %	82,4 %
D.B.O.5	71 %	93,7 %
NH ₄ ⁺	16 %	11,3 %
Fe	91 %	91 %
Zn	81,3 %	87 %

Tableaux 2 à 4 : Récapitulation des différentes masses modélisées et mesurées pour les deux crues étudiées.

	Surverses Mesures	Surverses Modèle Piston	Surverses Modèle Mélange
crue du 07/08/89	2,9 T	2,5 T	3,0 T
crue du 30/06/92	0,11 T	0,29 T	1,4 T

	Vidange Mesures	Vidange Modèle Piston	Vidange Modèle Mélange
crue du 07/08/89	0,3 T	0,4 T	1,1 T
crue du 30/06/92	1,78 T	1,67 T	3,6 T

	Rendement Mesures	Rendement Modèle Piston	Rendement Modèle Mélange	Masse Totale de la crue
crue du 07/08/89	87,5 %	88,7 %	84,0 %	25,7 T
crue du 30/06/92	93,5 %	93,3 %	82,9 %	29,2 T

Des deux modèles, le « piston » est celui qui reproduit le mieux le fonctionnement du bassin. Il est vrai que pour toutes les caractéristiques globales (rendement, masses rejetées, moyenne de concentration), celui-ci colle assez bien à la réalité. Cependant, tout n'est pas expliqué, comme certains pics obtenus au cours des mesures ou l'apparition de certains lors des modélisations. Ceci pourrait être résolu, en partie, par la combinaison des deux modèles (« piston » et « mélange ») liée à des caractéristiques hydrauliques (telles que débit d'entrée sur surface de bassin).

Tableau 5 : Statistiques sur les erreurs entre concentrations.

	C moyen mg/l 1	écart moyen par rapport aux C mesurées 2	% erreur 2/1 mesuré
Mesures surverse 07/08/89	92	-	-
Modèle Piston	102	44 mg/l	44/92 48 %
Modèle Mélange	125	50 mg/l	50/92 54 %

Mesures Vidange 07/08/89	14	-	-
Modèle Piston	16	10 mg/l	10/14 71 %
Modèle Mélange	56	41 mg/l	41/14 293 %

Surverse Mesures 30/06/92	46	-	-
Modèle Piston	24	29 mg/l	29/46 65 %
Modèle Mélange	91	57 mg/l	57/46 124 %

Vidange Mesures 30/06/92	49	-	-
Modèle Piston	47	19 mg/l	19/49 39 %
Modèle Mélange	115	66 mg/l	66/49 135 %

De plus, la configuration du bassin semble intervenir. En effet, lorsque l'eau surverse par la vanne seuil du collecteur, un courant préférentiel pourrait s'établir via le collecteur de guidage qui prolonge celui d'alimentation. D'ailleurs ces pics ne sont pas ou peu observés durant les vidanges, où l'alimentation du bassin est plus calme, et durant la seconde campagne qui n'a surversé que via le déversoir latéral.

Ainsi, si cet effet d'accélération est confirmé, cela implique des temps de séjour plus lents dans le bassin avec, cependant, des rendements de décantation tout à fait comparables. Il en résulte alors deux possibilités :

- la première, étant que les vitesses de chute sont plus rapides. Or, les vitesses de chute recueillies ont montré une certaine similitude pour des sites de mesures différents ;
- la seconde, qui paraît plus probable, est que la répartition des particules à l'entrée du bassin soit non-uniforme et plutôt graduée. Si des études [5],[6] ont montré, que pour le temps sec, les concentrations de MES ne sont pas influencées par la hauteur d'eau, elles montrent aussi que des différences existent entre le fond et la surface du collecteur par temps de pluie.

C'est donc aussi dans cette voie que les recherches doivent se poursuivre et être entreprises, afin d'élaborer un profil de la répartition de ces MES lors du transport des eaux pluviales dans les collecteurs.

En outre, la fréquence d'échantillonnage des MES n'est peut être pas suffisante (1 tous les quarts d'heure en moyenne), car on voit que pour le modèle « mélange » l'évolution des MES est très lissée, alors que pour le modèle « piston » celle-ci est plus sensible et présente parfois des variations brutales. Il serait intéressant, pour confirmer un fonctionnement de type « piston » du bassin, de resserrer la fréquence d'échantillonnage des MES et, ainsi, mieux approcher leur fluctuation.

Figures 7 et 8 : Evolution dans le temps des différents flux déversés.

CONCLUSIONS

Si de nombreux modèles existent, peu d'entre-eux ont été calés et validés [2]. Certes, ce n'est pas avec les bons résultats d'un modèle sur deux crues que l'on peut définir l'outil idéal, pour répondre aux divers problèmes posés par la pollution des eaux par temps de pluie ; cependant, la simplicité du modèle qui ne fait intervenir aucun paramètre de calage nous permet, en attendant mieux, des hypothèses de travail sur les avant-projets en cours. Mais cela demande, bien entendu, de continuer les mesures et de les améliorer afin de mieux comprendre les phénomènes mis en jeu. Des essais seront fait en complément sur un autre bassin départemental (Les Brouillards à Dugny), et permettront de mieux cerner les données liées à la dépollution des eaux par temps de pluie.

Par ailleurs, nous avons établi des abaques [7] grâce aux courbes de répartition des vitesses de chute ; celles-ci nous permettent, pour plusieurs hauteurs d'eau, d'évaluer des temps de séjour théoriques pour un rendement souhaité. Ces temps de séjour, pour les ouvrages profonds projetés [8], [9] sont très longs et les volumes à traiter très importants. C'est pourquoi, il faut envisager la combinaison de différentes techniques, afin de réduire les volumes d'ouvrages et augmenter l'efficacité de traitement de certains [10].

Le développement d'outils numérique plus précis nécessitera certainement l'usage d'un modèle hydraulique plus complexe (en 2D ou 3D), auquel serait associé un module sur la décantation. Cela permettra d'affiner nos connaissances sur la décantation en bassins profonds et enterrés, type de bassin le plus souvent projeté actuellement, et sur la conception judicieuse de la forme de l'ouvrage et de ses accessoires [11].

Figures 9 à 12 : Evolution des concentrations en MES rejetées.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] CHEBBO G. — Solide et rejet urbain par temps de pluie : caractérisation et traitabilité. Thèse de doctorat de L'Ecole Nationale des Ponts-et-Chaussées, 1992.
- [2] LUCAS E. — Synthèse bibliographique : les modèles simulant la décantation dans les ouvrages de pollution des rejets urbains par temps de pluie. Rapport CERGREN / Conseil général de Seine-Saint-Denis, janvier 1993.
- [3] CHEBBO G., FLORES J., DOYEN L. — Dépollution par

décantation : caractérisation des solides et des métaux de surverse de réseau unitaire. Rapport CERGREN, LABAM / Agence de l'Eau Seine-Normandie / Conseil général de Seine-Saint-Denis, 1991.

[4] PAITRY A. — Echantillonnages des MES en réseau d'assainissement : quelques réflexions. Conseil général de Seine-Saint-Denis, février 1986.

[5] HESS C., CHOPARD P. — Collecteur du Nord et son déversoir : qualité des eaux par temps sec et temps de pluie. Conseil général de Seine-Saint-Denis, décembre 1992.

[6] DOYEN L., BREUIL B. — Modèles de décantation en bassin. Conseil général de Seine-Saint-Denis, décembre 1992.

[7] S.I.A.A.P. — Schéma directeur d'assainissement des secteurs amont et aval de l'agglomération parisienne. Rapport PROLOG / HYDRATEC, 1992.

[8] Proposition pour un Schéma d'Assainissement. Conseil général de Seine-Saint-Denis, septembre 1992.

[9] TANGERINO C. — Recherche des techniques physiques et chimiques d'abattement des MES dans les eaux pluviales. Rapport de stage MST de l'Environnement de l'Université de Paris VII / Conseil général de Seine-Saint-Denis, sept.-déc. 1992.

METHODOLOGIE POUR AMELIORER LES PERFORMANCES DE DECANTATION DANS UNE RETENUE D'EAUX PLUVIALES : APPLICATION AU BASSIN DES BROUILLARDS

E. BOURNEAUD *, L. DOYEN *, G. JACQUET **,
D. JOHAN **, P. RIZAND **, A. MARES **, G.
CHEBBO ***

* D.E.A. / Conseil général de Seine-Saint-Denis

** Société RHEA

*** CERGRENE

RESUME

Dans un bassin de retenue d'eaux pluviales, un modèle de décantation a été établi par RHEA et le CERGRENE : on le valide sur une crue mesurée et on peut l'utiliser ensuite, pour prévoir l'efficacité de la décantation pour d'autres crues, et avec d'autres débits traversiers.

Une expérimentation sur la crue du 04/12/92 a été effectuée, afin de mesurer les paramètres influençant la décantation du bassin des Brouillards : coefficient de diffusion, répartition des principaux tubes de courant, distribution des vitesses de chute.

Cette nouvelle méthodologie d'étude peut s'intégrer dans les projets d'amélioration de gestion des ouvrages de retenue d'eaux pluviales.

1. INTRODUCTION

L'utilisation des bassins de stockage a eu, pendant de longues années, l'objectif unique d'écrêtement des crues, afin de lutter contre les débordements de réseaux ou l'inondation à l'aval. Les tonnes de poissons morts observés en 1990 et 1992 dans la Seine, ainsi que les dégâts subis par d'autres cours d'eaux ou par les eaux littorales, ont sensibilisé l'opinion au problème aigu de la pollution des cours d'eau récepteurs consécutive à des événements orageux brutaux.

Il est devenu évident que la protection du milieu doit impliquer, en dehors de la maîtrise des déversements de temps sec, également une prise en considération des rejets d'eaux pluviales.

Par ailleurs, les recherches ont permis de mettre en évidence le fait que la décantation était un moyen efficace de traiter les eaux pluviales, car on pouvait retenir dans les décanteurs des pourcentages importants des polluants de toute nature.

En ce qui concerne les capacités nécessaires pour une décantation statique efficace, on trouve dans la bibliographie des valeurs de l'ordre de 100, 200 voire 300 m³/ha imperméabilisé. Si pour des raisons liées aux contraintes d'occupation des sols, le choix porte sur des bassins enterrés, on constate que, dès que les bassins versants desservis sont assez importants, les volumes nécessaires conduisent à la réalisation d'ouvrages à prix très élevé, véritables cathédrales souterraines.

Afin de réduire les volumes de stockage nécessaire, sans perte significative d'efficacité, on s'est posé la question d'utiliser, à la place de la décantation extensive, avec un débit traversier faible ou nul, des bassins de décantation dynamique, avec un débit traversier significatif par rapport au débit de pointe de la crue.

Les problèmes posés par le comportement d'un bassin existant, dans le cas où il est géré avec débit traversier, ont intéressé la Direction de l'Eau et de l'Assainissement du Conseil général de Seine-Saint-Denis, qui a confié cette étude à RHEA. Le bassin expérimental choisi est celui des Brouillards (2 compartiments) présenté sur la figure 1.

2. PRESENTATION SUCCINCTE DU MODELE

Pour cette étude, RHEA et le CERGRENE ont mis au point un modèle de décantation conceptuel, qui tient compte d'un débit traversier. Ce modèle reste volontairement assez simple, mais introduit la turbulence, qui ne peut être négligée dans le cas d'un débit traversier.

Les données d'entrée sont les vitesses de chute des particules en eaux calmes (cf. figure 2).

La modélisation consiste à appliquer, à des classes assez étroites de vitesses de chute mesurées en eaux calmes, une dispersion gaussienne de variance 3s, identique pour toutes les classes. s représente la turbulence et est, théoriquement, proportionnelle à la vitesse d'écoulement horizontal dans le bassin.

Egalement, si jusqu'à maintenant l'écoulement dans le bassin a été considéré uniforme, il devient nécessaire de décrire les hétérogénéités du champ des vitesses horizontales.

La description retenue considère la décomposition de l'écoulement en tubes de courant ; les échanges entre tubes suivent, ici, une loi type loi de FICK, le paramètre clef étant le coefficient de diffusion entre tubes de courant.

Deux programmes ont résulté de ce modèle : TURBGLOB, qui permet de calculer l'efficacité d'un bassin, avec éventuelle prise en compte des inhomogénéités de vitesse, et CREFF, qui ne prend en compte que la turbulence, mais qui permet de tester diverses gestions du bassin à partir des hydrogrammes et pollutogrammes d'entrée.

Par calcul sur le double bassin des Brouillards, il est ressorti théoriquement que dans la plupart des cas de crues enregistrées dans le passé, l'utilisation d'un débit traversier présente un réel intérêt. Le débit de fuite devrait être de 3 à 5 m³/s.

De manière à vérifier les résultats de l'étude théorique, un calage du modèle s'avère nécessaire.

Les paramètres à caler pour une crue réelle sont :

— s/u, ou paramètre de dispersion, qui définit la turbulence par rapport à la vitesse d'écoulement horizontal ;

— D, coefficient de diffusion entre tubes de courant.

En fait, l'étude de sensibilité théorique, réalisée à l'aide de TURBGLOB sur la crue du 04/12/92 et pour des écoulements théoriques (cf. figure 3), a montré que la variation de D ne change pratiquement pas l'efficacité globale du bassin (cf. figures 4 et 5). Par contre, cette variation joue sur la répartition des dépôts au fond du bassin.