



HAL
open science

Evaluation de la performance des dispositifs de décantation des eaux de ruissellement

G. Isenmann, M. Dufresne, J. Vazquez, R. Mosé, M. Fischer, M. Trautmann,
P. François, C. Fagot, J. Boisson, X. Humbel

► To cite this version:

G. Isenmann, M. Dufresne, J. Vazquez, R. Mosé, M. Fischer, et al.. Evaluation de la performance des dispositifs de décantation des eaux de ruissellement. Novatech 2016 - 9ème Conférence internationale sur les techniques et stratégies pour la gestion durable de l'Eau dans la Ville / 9th International Conference on planning and technologies for sustainable management of Water in the City, Jun 2016, Lyon, France. hal-03167947

HAL Id: hal-03167947

<https://hal.science/hal-03167947v1>

Submitted on 12 Mar 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Evaluation de la performance des dispositifs de décantation des eaux de ruissellement

Evaluation of settling devices efficiency for runoff water

Gilles Isenmann¹; Matthieu Dufresne^{1,2}; José Vazquez^{1,2}; Robert Mosé^{1,2}; Martin Fischer^{1,2}; Maxime Trautmann¹; Pierre François^{1,3}; Cédric Fagot⁴; Jolanda Boisson⁵; Xavier Humbel⁵

¹ICube, Département Mécanique, Equipe Mécanique des fluides, 2 rue Bousingault 67000 Strasbourg, France (auteur correspondant : gilles.isenmann@engees.eu), ²Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg, 1 quai Koch 67000 Strasbourg, France, ³Université de Strasbourg, 4 rue Blaise Pascal 67000 Strasbourg, France, ⁴ACO, Département Marketing et R&D, Le Quai à Bois – BP 85 27940 Notre-Dame de l'Isle, France, ⁵IRH Ingénieur Conseil, 427 rue Lavoisier – CS 50155 54714 Ludres, France.

RÉSUMÉ

De nombreux dispositifs de décantation des eaux de ruissellement sont mis en place à l'exutoire des réseaux pluviaux en vue de protéger le milieu récepteur (décanteurs lamellaires ou alvéolaires, débourbeurs, séparateurs, etc.). Cependant il n'existe actuellement aucune méthode permettant d'évaluer les performances en décantation de tels dispositifs. Plusieurs solutions sont disponibles : une évaluation expérimentale sur site (possible mais avec un contrôle difficile des conditions du test), une évaluation expérimentale en laboratoire (possible mais coûteuse) ou une évaluation numérique. Cet article s'attache justement à présenter un outil numérique développé dans ce sens. Après une présentation du fonctionnement de l'outil de calcul, celui-ci est validé par confrontation avec des données expérimentales collectées sur modèle réduit. L'outil numérique développé est capable d'évaluer les performances d'un ouvrage de décantation avec une précision de l'ordre de 5% à 10%. Dans un second temps, l'outil est appliqué à un séparateur particulaire à l'échelle 1 afin d'évaluer l'efficacité de l'ouvrage et d'optimiser celui-ci pour y maximiser la décantation.

ABSTRACT

A large number of settling devices are installed in stormwater sewer systems in order to protect receiving watercourses against suspended solids' pollution (lamella settlers, hydrodynamic separators...). The efficiency of such devices can be defined as the ratio between the settled mass and the incoming mass. Nevertheless, no standard method exists for evaluating this efficiency. A number of solutions are available: on-site experiments, in-lab experiments or numerical evaluation. This article presents a numerical tool especially developed for this purpose; this tool is based on computational fluid dynamics. The first portion of the text is dedicated to the presentation of the numerical solver. The model is then validated against experimental data collected, first in a small-scale tank, then in a full-scale device. The precision of the model is between 5% and 10%. The model will then be used for maximising the settling in the device.

MOTS CLÉS

Eaux de ruissellement, évaluation des performances, dispositif de décantation, outil numérique

1 INTRODUCTION

Après avoir maîtrisé la collecte, le transport et le traitement des eaux usées, la poursuite des efforts de reconquête de la qualité des milieux aquatiques passe aujourd'hui par une meilleure gestion des eaux pluviales. En effet plusieurs études (Chebbo, 1992 ; Ashley et al., 2004) ont mis en évidence que les eaux de ruissellement véhiculent des concentrations parfois importantes de substances pouvant altérer les milieux aquatiques, en particulier les matières en suspension. Afin de limiter cette pollution particulière, la réglementation impose la mise en place de dispositifs de décantation à l'exutoire des réseaux pluviaux en vue de protéger le milieu récepteur. Parmi les plus utilisés, on trouve les décanteurs lamellaires ou encore les débourbeurs. Cependant, ces dispositifs présentent des lacunes importantes concernant : d'une part leurs règles de dimensionnement, souvent inadaptées car basées sur une équation de sédimentation utilisant la formule de Stokes (Jarrell-Smith & Friedrich, 2011) et une approche simpliste (vitesse de Hazen) supposant une distribution uniforme du débit, et d'autre part l'absence de normes ou de tests de performances reconnus pour ces appareils.

Plusieurs solutions sont disponibles pour évaluer les performances d'un tel dispositif. Une évaluation sur site est envisageable à travers l'instrumentation du dispositif (turbidimètre ou prélèvements d'échantillons en entrée et en sortie par exemple) mais les données d'entrée seront dépendantes du site et difficilement maîtrisables. L'évaluation de la performance d'un appareil en laboratoire est une solution alternative permettant une maîtrise complète des données d'entrée et l'utilisation d'un protocole identique pour l'ensemble des dispositifs. Ce type de méthodologie est par exemple utilisé pour l'évaluation de la performance des séparateurs à hydrocarbures selon la norme EN858 et est tout à fait applicable aux ouvrages de décantation de la pollution particulière (Schütz et al., 2013). Néanmoins la mise en place d'un tel dispositif expérimental peut s'avérer coûteuse et les expérimentations avec des particules fines (inférieures à 100 microns) peuvent se révéler difficiles du point de vue de la comptabilisation des particules en sortie. Une autre option pour évaluer les performances d'un dispositif de décantation est l'utilisation d'un outil numérique. Cet article s'attache justement à la présentation d'un outil de calcul développé dans ce sens.

2 DESCRIPTION DE L'OUTIL

La concentration en matières en suspension (MES) dans les eaux de ruissellement est la plupart du temps inférieure au gramme par litre. La phase particulaire n'influence donc pas l'écoulement de la phase liquide et une approche découplée peut être utilisée entre le fluide et les particules transportées (Graf & Altinakar, 2000). Dans un premier temps, une étude hydrodynamique de l'écoulement dans l'ouvrage par la modélisation 3D permet de calculer précisément l'ensemble des variables caractérisant l'écoulement (vitesse, pression, turbulence, etc.). Ces résultats servent ensuite de support à la détermination du comportement des particules solides dans cet écoulement.

2.1 Modélisation hydrodynamique

De manière générale, le mouvement d'un fluide peut être décrit par les équations de Navier-Stokes (Versteeg & Malalasekara, 2007). De plus, le modèle diphasique Volume of Fluid (Hirt & Nichols, 1981) est utilisé pour déterminer la position de la surface libre. L'utilisation de ce solveur permet de caractériser l'hydrodynamique de l'écoulement au sein d'un dispositif de décantation. Par exemple, la connaissance du champ des vitesses fournit des informations essentielles sur la présence de chemins préférentiels ou de zones mortes.

2.2 Modélisation du transport solide

Dans l'approche lagrangienne, la trajectoire de chaque particule au sein de l'écoulement est calculée en résolvant l'équation du mouvement de Newton (équation (1)). En effet, connaissant les propriétés d'une particule (taille et densité) et l'ensemble des forces agissant sur celle-ci (Maxey & Riley, 1983), il est possible de déterminer sa position et sa vitesse à chaque instant, c'est-à-dire sa trajectoire.

$$m_p \frac{d\vec{u}_p}{dt} = \vec{F}_d + \vec{F}_g \quad (1)$$

Où m_p est la masse de la particule, \vec{u}_p est la vitesse de la particule, \vec{F}_d est la force de traînée et \vec{F}_g est le poids déjaugé. Une description complète des forces agissant sur la particule peut être trouvée dans Dufresne et al. (2009). Par ailleurs d'autres modèles viennent compléter le calcul des trajectoires, en particulier pour définir la répartition granulométrique des particules injectées ainsi que pour modéliser

la dispersion des particules du fait de la nature turbulente de l'écoulement.

Lorsqu'une particule rencontre une paroi, une condition spécifique doit être utilisée pour modéliser son comportement et déterminer si elle va se déposer ou être remise en suspension dans l'écoulement. Plusieurs études ont été menées sur ce sujet ces quinze dernières années (Adamsson et al., 2003 ; Dufresne et al., 2009 ; Lipeme Kouyi et al., 2010 ; Yan et al., 2011). S'appuyant sur ces travaux, une nouvelle condition, basée sur un seuillage de l'énergie cinétique turbulente, a été implémentée dans l'outil numérique. Cette nouvelle condition est détaillée dans Isenmann et al. (2015).

Au final, l'outil permet de calculer les trajectoires des particules solides dans l'écoulement et de déterminer leur devenir au sein du dispositif de décantation : dépôt sur le fond ou rejet par la sortie de l'ouvrage. Dit autrement, l'outil permet d'évaluer l'efficacité de l'ouvrage (taux d'abattement des MES) et est capable de prévoir les zones préférentielles de dépôts sur le fond de l'ouvrage.

3 VALIDATION SUR MODELE REDUIT

3.1 Données expérimentales

L'outil a été appliqué à quatre bassins pilotes pour lesquels des expériences sur l'efficacité de décantation ont été menées en laboratoire (Frey, 1993). Les bassins sont composés d'un canal d'arrivée rectangulaire, une paroi inclinée, un fond plat et un seuil frontal rectangulaire en sortie (Figure 1). Les côtés des bassins sont délimités par des parois parallèles verticales. Quatre géométries ont été étudiées faisant varier la longueur du fond plat, la hauteur du seuil et la pente de la paroi inclinée. Le détail des dimensions est disponible dans Frey et al. (1993). Les expériences ont été réalisées pour deux débits (1,1 l/s et 2,2 l/s). Pour chaque configuration, cinq échantillons de sable fin (densité 2,65) ont été injectés en entrée. Chacun d'entre eux est caractérisé par son diamètre médian d_{50} (51, 60, 70, 84 et 101 μm). Les auteurs ont mesuré le pourcentage massique de particules en sortie pour chaque expérience (débits, configurations géométriques et sables). Les résultats sont présentés sur la Figure 2. La précision sur le pourcentage massique en sortie a été évaluée à 5% (Frey, 1993).

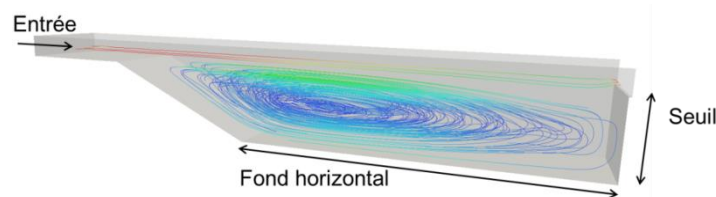


Figure 1 : Géométrie du bassin utilisé dans Frey (1993)

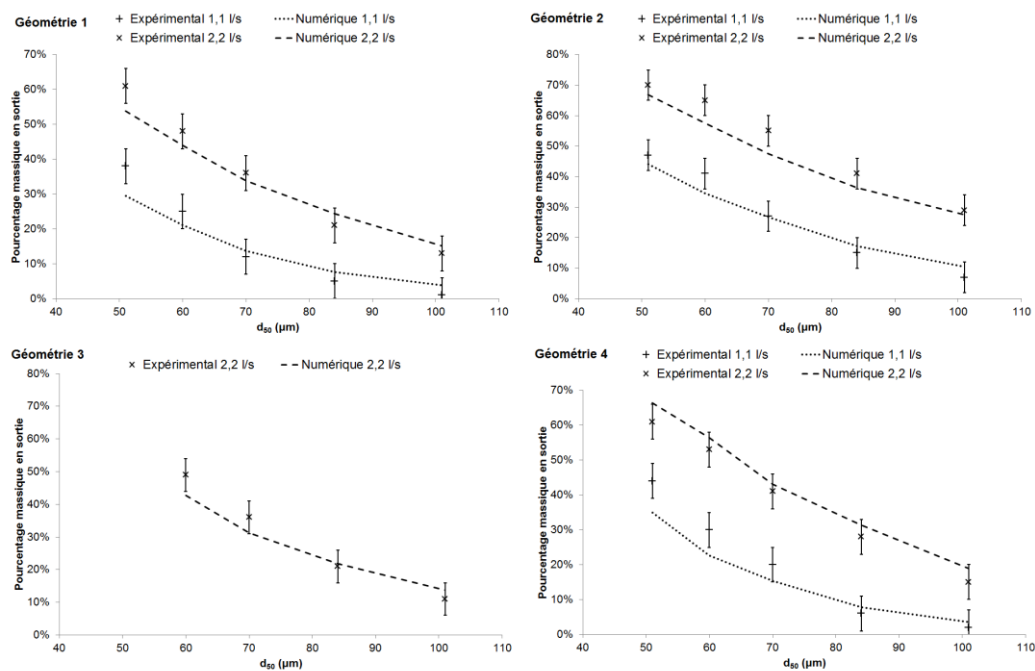


Figure 2 : Comparaison des résultats numérique et expérimentaux

3.2 Confrontation des résultats numériques et expérimentaux

L'hydrodynamique a été calculée pour l'ensemble des configurations (géométries et débits). Le modèle de transport solide a ensuite été appliqué à chacune d'entre elles pour les cinq échantillons de sable. Les répartitions granulométriques des particules injectées ont été interpolées à partir des courbes expérimentales. Les pourcentages massiques de particules en sortie sont présentés sur la Figure 2. Un graphique correspond à une configuration géométrique pour les deux débits (1,1 l/s et 2,2 l/s) et les cinq échantillons de sable. Les résultats numériques sont en bon accord avec les mesures expérimentales et la plupart du temps à l'intérieur des barres d'erreur. L'écart moyen est d'environ 4% entre les résultats numériques et expérimentaux et l'écart maximal est inférieur à 8% pour l'ensemble des trente-quatre expériences.

4 APPLICATION A L'ECHELLE 1

Le modèle a été appliqué comme outil de dimensionnement dans la conception d'un décanteur particulaire en poursuivant un double objectif :

- Etudier l'influence de la longueur de la cuve sur l'abattement des MES ;
- Aménager l'intérieur du décanteur pour y maximiser la décantation.

4.1 Influence de la longueur

Le décanteur étudié est une cuve cylindrique horizontale dont le diamètre est fixé. Afin de déterminer la longueur optimale du point de vue de l'efficacité mais aussi du volume de l'ouvrage, le modèle de transport solide est utilisé comme support de comparaison. Quatre longueurs, entre 2,8 et 6,3 m, ont été investiguées pour le débit de fonctionnement 30 l/s. La figure 3 montre l'évolution de l'abattement en fonction de la longueur de la cuve pour quatre vitesses de chute (1, 2, 5 et 10 m/h) correspondant à quatre types de particules. Le graphique met en évidence deux zones : une première où une augmentation de la longueur entraîne une augmentation significative de l'abattement (partie gauche), et une deuxième où l'augmentation de la longueur n'a quasiment plus d'influence sur l'augmentation de l'abattement (partie droite). Le point de fonctionnement optimal entre la longueur de la cuve (volume) et l'efficacité de décantation est évalué entre 4,5 et 5,5 m.

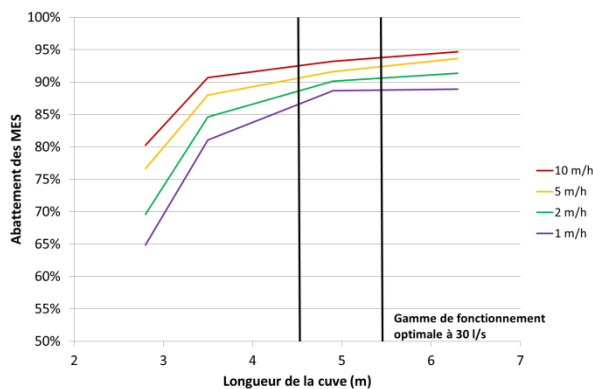


Figure 3 : Evolution de l'abattement en fonction de la longueur et de la vitesse de chute des particules

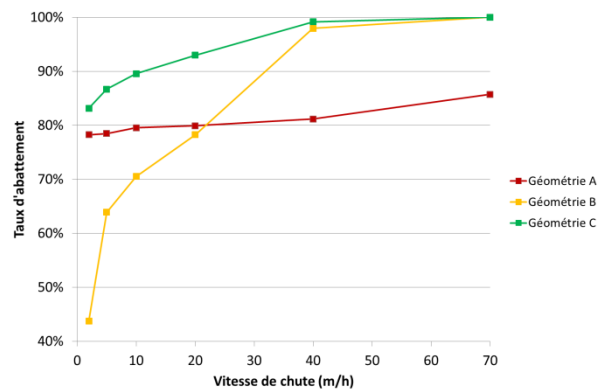


Figure 4 : Evolution de l'abattement en fonction de la vitesse de chute des particules pour plusieurs géométries

4.2 Aménagement d'un décanteur

Le modèle de transport solide a également été utilisé afin d'étudier différentes configurations pour l'intérieur de la cuve et évaluer leur influence sur l'abattement des matières en suspension. Un des avantages du modèle numérique est la possibilité d'une utilisation intensive pour tester un grand nombre de géométries. La figure 4 montre un exemple de comparaison d'abattement entre trois dispositifs de répartition du flux en entrée de décanteur (géométries A, B et C), tous les autres paramètres étant identiques (longueur, diamètre, débit, particules). L'abattement est présenté en fonction de la vitesse de chute des particules injectées, la gamme étudiée allant de 2 à 70 m/h. L'outil de modélisation du transport solide permet ainsi de comparer les efficacités des trois dispositifs et d'identifier la configuration maximisant la décantation des MES.

5 CONCLUSION

La modélisation numérique 3D a connu un important développement au cours des dernières années rendant ce puissant outil utilisable en ingénierie, en particulier dans le domaine de l'hydraulique urbaine. Le modèle numérique développé et présenté dans cet article s'appuie sur la modélisation numérique 3D pour évaluer l'abattement des matières en suspension dans les ouvrages de décantation. La confrontation des résultats numériques avec des données collectées sur modèle physique en laboratoire montre la bonne capacité du modèle à reproduire le taux d'abattement des MES, la précision sur la valeur de l'abattement étant de l'ordre de 5% à 10%. L'outil a ensuite été appliqué dans la phase de conception d'un décanteur particulière préfabriqué avec le double objectif d'optimiser la longueur de celui-ci et d'aménager l'intérieur de l'ouvrage afin d'y maximiser la décantation. Le modèle numérique a permis la comparaison de différentes configurations (géométries et volumes) et l'identification de celle maximisant l'abattement des MES.

Plus largement, l'outil de modélisation du transport solide peut être utilisé pour évaluer le taux d'abattement des matières en suspension dans d'autres ouvrages de décantation tels que les bassins de rétention des eaux pluviales, les décanteurs lamellaires ou encore les débourbeurs. Il est alors possible d'établir des courbes d'abattement en fonction du débit d'entrée et des caractéristiques des MES entrant dans l'ouvrage. L'outil peut également être employé en phase de conception d'un ouvrage de décantation pour optimiser son efficacité et son volume. En effet différents volumes, formes et aménagements peuvent être testés afin d'identifier la configuration optimale du point de vue de la décantation mais aussi du coût, directement lié au volume de l'ouvrage.

BIBLIOGRAPHIE

- Adamsson A., Stovin V.R. and Bergdahl L. (2003). *Bed shear stress boundary condition for storage tank sedimentation*. J. Env. Eng, 129(7), 651-657.
- Ashley R.M., Bertrand-Krajewski J.-L., Hvitved-Jacobsen T. and Verbanck M. (2004). *Solids in Sewers*. London (UK): IWA Publishing, Scientific and Technical Report n° 14, May 2004, 360 p. ISBN 1900222914.
- Chebbo G. (1992). *Solides des rejets pluviaux urbains. Caractérisation et traitabilité*. Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 413 p.
- Dufresne M., Vazquez J. and Terfous A. (2009). *Experimental investigation and CFD modelling of flow, sedimentation and solids separation in a combined sewer detention tank*. Computer & Fluids, 38, 1042-1049.
- Frey P., Morel R., Champagne J.Y., Gay B. (1993). *Hydrodynamics fields and solid particles transport in a settling tank*. Journal of Hydraulic Research, 31(6), 763-776.
- Graf H. and Altinakar M.S. (2000). *Hydraulique fluviale: écoulement et phénomènes de transport dans les canaux à géométrie simple*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne.
- Hirt C.W. and Nichols B.D. (1981). *Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries*. Journal of Computational Physics, 39, 201-225.
- Isemann G., Dufresne M., Vazquez J., Trautmann M. and Mosé R. (2015). *CFD modelling of particles transport and deposition in a cylindrical settling tank*. Proceedings of the 10th Int. Urban Drainage Modelling Conf., 20-23 September, Mont-Saint-Anne, Québec, Canada.
- Jarrell-Smith, S. and Friedrich, C.-T. (2011). *Size and settling velocities of cohesive flocs and suspended sediments aggregates in a trailing suction hopper dredge plume*. Cont. Shelf Res., 31, 550-563.
- Lipeme Kouyi G., Arias L., Barraud S. and Bertrand-Krajewski J.L. (2010). *CFD modelling of flows in a large stormwater detention and settling basin*. Proceedings of the 7th NOVATECH Int. Conf., 27 June-1 July 2010, Lyon, France.
- Maxey M.R. and Riley J.J. (1983). *Equation of motion for a small rigid sphere in a nonuniform flow*. Phys. Fluids, 26(4), 883-9.
- Norme NF EN 858. (2002). Installations de séparation de liquides légers.
- Schütz M, Kiessling F. and Pery J. (2013). Evaluation and feedback of rainwater treatment efficiency based on fined particles and associated pollutants by decantation. Proceedings of the 8th NOVATECH Int. Conf., 23-27 June 2013, Lyon, France.
- Versteeg H.K. and Malalasekera W. (2007). *An introduction to computational fluid dynamics, the finite element method*. Prentice Hall, England.
- Yan H., Lipeme Kouyi G., and Bertrand-Krajewski J.L. (2011). *3D modeling of flow, solid transport and settling processes in a large stormwater detention basin*. Proceedings of 12th Int. Conf. on Urban Drainage, 11-16 September 2011, Porto Alegre, Brazil.