

Evaluation des performances de décantation de bassins de stockage des eaux pluviales

Evaluation of settling performance of rainwater storage tanks

Matthieu DUFRESNE¹, Sandra ISEL¹, Angelika BENESCH², Dieter HILLIGARDT³

¹ 3D EAU, 21 rue Jacobi-Netter 67200 Strasbourg, France – matthieu.dufresne@3deau.fr

² Ingenieurbüro Angelika Benesch – Fließwechsel – Kurze Str. 28, 44137 Dortmund, Allemagne – benesch@fliesswechsel.de

³ Stadthydrologie – Markgrafenstr.15, 76437 Rastatt, Allemagne – hilligardt@stadthydrologie.de

RÉSUMÉ

Cet article présente la mise en œuvre d'un modèle hydraulique 3D pour évaluer les performances de décantation de plusieurs bassins de stockage des eaux pluviales situés dans le sud-ouest de l'Allemagne. Les particules en suspension ont été caractérisées par leurs vitesses de chute mesurées au moyen du protocole VICAS. Après la modélisation hydraulique 3D de l'écoulement, un suivi lagrangien des particules en suspension a été mis en œuvre afin d'évaluer l'abattement pour l'ensemble des vitesses de chute. Les résultats obtenus ont permis de quantifier précisément les performances de décantation des bassins. Ces éléments quantitatifs sont actuellement utilisés pour justifier des performances de ces bassins auprès des services du Land (région) et de l'Etat allemand.

ABSTRACT

This article presents the use of a 3D Computational Fluid Dynamics model to evaluate the settling performance of several rainwater storage tanks located in south-western Germany. Suspended solids have been characterized by their settling velocities measured using the VICAS protocol. After the 3D hydraulic modeling of the flow, a Lagrangian modeling of the suspended solids was carried out in order to evaluate the mass percentage of settled particles for the whole settling velocity distribution. The results obtained made it possible to precisely quantify the settling performance of the tanks. These quantitative elements are currently used to justify performances of these tanks with the services of the Land (region) and the German State.

MOTS CLÉS

Abattement, bassin, décantation, particules en suspension, mécanique des fluides numérique.

1 INTRODUCTION

La zone d'étude est située au sud-ouest de l'Allemagne. Plusieurs bassins de décantation ont été construits à l'exutoire de bassins versants d'environ une dizaine d'hectares (bâtiments + aires de stationnement) dans l'objectif de protéger le milieu récepteur de la partie de la pollution des eaux pluviales qui est portée par les particules en suspension. Ces bassins ne respectent pas tous les préconisations de la Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA, organisme similaire à l'ASTEE en France) qui recommande un certain nombre de dispositions constructives pour ce type d'ouvrage afin de garantir leur efficacité. Certains bassins présentent par exemple un ratio longueur sur largeur trop faible.



Vue d'un des bassins pour lequel le ratio longueur sur largeur est trop faible ($L/B = 1.5$).

Cette étude part du postulat que si les préconisations de la DWA sont des recommandations pertinentes pour garantir un certain niveau de performance, leur non-respect n'est pas nécessairement synonyme de mauvaises performances. Plutôt que de détruire et reconstruire ces ouvrages ou de prévoir des réaménagements lourds et coûteux pour respecter les critères de la DWA, cette étude se donne comme objectif de d'abord évaluer la performance en décantation de ces bassins (abattement des particules en suspension). Une discussion pourra alors lieu avec les services du Land (région) et de l'Etat allemand sur base de ce diagnostic afin de déterminer la suite à donner (bassins validés en l'état ou nécessité de les aménager afin d'en optimiser l'abattement).

Cette étude s'intéresse au cas des pluies pour lesquelles les bassins sont entièrement remplis et pour lesquelles le débit excédentaire est rejeté dans le milieu récepteur après avoir transité dans le bassin (cas d'un bassin de transit).

Cette communication présente dans un premier temps la méthodologie mise en œuvre ; elle présente ensuite quelques résultats obtenus ; elle dresse enfin un certain nombre de conclusions.

2 METHODOLOGIE

L'évaluation des performances en décantation de chaque bassin est évaluée au moyen d'une modélisation hydraulique 3D (de type CFD pour Computational Fluid Dynamics ou mécanique des fluides numérique). Cette approche se compose de deux étapes :

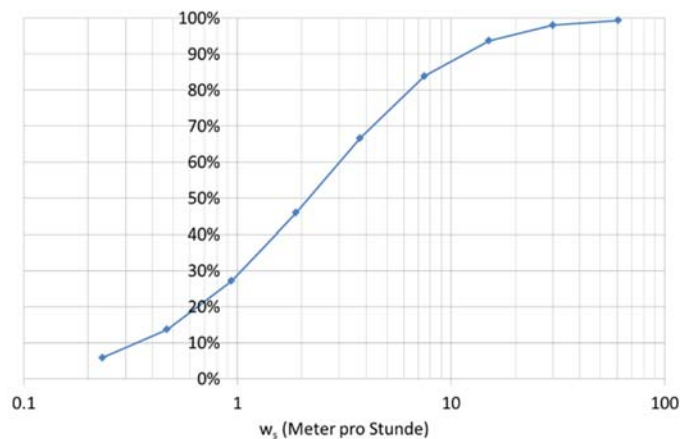
- La modélisation hydraulique 3D de l'écoulement,
- La modélisation du transport et du dépôt des particules.

Concernant la modélisation hydraulique 3D de l'écoulement, la géométrie des bassins, représentée en 3 dimensions, est décomposée en cellules élémentaires de calcul au sein desquelles les équations de la mécanique des fluides sont résolues. Les équations résolues sont les équations de Navier-Stokes complétées d'un modèle de turbulence (ici le modèle k-omega SST). La surface de l'écoulement est un résultat du modèle déterminé en considérant la frontière entre la phase eau et la phase air (modèle à deux phases non miscibles). Cette approche est déterministe et ne nécessite donc aucun calage (Isel 2014).

Concernant la modélisation du transport et du dépôt des particules, les trajectoires d'un grand nombre de particules sont calculées de façon lagrangienne au sein de l'écoulement simulé lors de l'étape précédente (Stovin 1996, Torres 2008, Dufresne 2008, Yan 2013). La trajectoire de chaque particule est conditionnée par les forces agissant sur celle-ci, les principales étant son poids, la Poussee d'Archimède et la force de traînée. Lorsqu'une particule atteint une paroi, une condition de dépôt

dépendant de l'angle de la paroi et des caractéristiques hydrodynamiques locales (agitation turbulente) permet de déterminer si la particule se dépose ou si elle est remise en suspension. Cette approche est également déterministe (pas de calage) et permet de déterminer l'abattement des particules avec une précision de l'ordre de 5%. Cette précision a été validée par confrontation avec des données expérimentales collectées dans des bassins en laboratoire pour des caractéristiques variées de particules (Isenmann 2016, Isenmann et al 2017). Cette approche permet aussi de déterminer les zones préférentielles de dépôt.

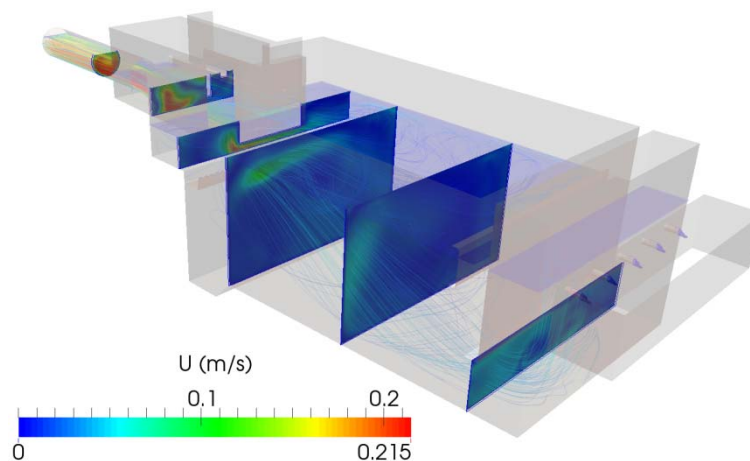
Les données d'entrée indispensables à ce type de modèle sont les caractéristiques des particules, à savoir leur masse volumique ainsi que leur granulométrie (on suppose que les particules ont une forme sphérique). Pour cette étude, le choix a été fait de mesurer les vitesses de chute selon le protocole VICAS et de calculer la granulométrie correspondante en considérant une masse volumique de 2200 kg/m^3 , valeur typique pour les particules rencontrées dans les eaux pluviales. Ce calcul repose sur la loi de Stokes, valide sur cette plage de vitesses de chute (écoulement laminaire avec un nombre de Reynolds particulaire inférieur à 1). La figure suivante présente un exemple de distribution de vitesses de chute mesurées par le protocole VICAS : le w_{10} est égal à 0.36 m/h , le w_{50} à 2.2 m/h et le w_{90} à 12.2 m/h .



Exemples d'une distribution de vitesses de chute : pourcentage massique des particules de taille inférieure à la valeur indiquée en abscisse.

3 RESULTATS

La figure suivante illustre un exemple d'écoulement obtenu dans un bassin pour lequel le ratio longueur sur largeur est jugé trop faible selon les préconisations de la DWA. On y constate un écoulement préférentiel sur la droite dû à la dissymétrie du mur déflecteur en entrée d'ouvrage.



Exemple de distribution du champ de vitesse dans différents plans verticaux et de lignes de courant.

La figure suivante illustre quant à elle les zones de dépôts obtenues à l'issue de la phase de modélisation du transport et du dépôt des particules. On peut constater que pour cet ouvrage, l'ensemble de la surface du fond est propice au dépôt des particules et que celles-ci sont réparties de façon relativement homogène sur le fond du bassin.



Exemple de dépôts sur le fond de l'ouvrage.

Le tableau suivant indique quant à lui les performances de décantation d'un des bassins étudiés pour différentes vitesses de chute ainsi que l'efficacité globale pour l'ensemble de la courbe granulométrique. Les performances varient pour cet ouvrage entre 58% pour le w_{10} et 92% pour le w_{90} . L'abattement global est égal à 73%.

Abattement des particules en suspension pour les différentes vitesses de chute.

	w_s (m/h)	Abattement
W₁₀	0.36	58%
W₃₀	1.1	65%
W₅₀	2.2	70%
W₇₀	4.5	78%
W₉₀	12.2	92%
Abattement global		73%

4 CONCLUSION

Cette étude a présenté la mise en œuvre d'une modélisation hydraulique 3D pour évaluer l'abattement des particules dans des bassins de décantation des eaux pluviales dans le sud-ouest de l'Allemagne. Le principal avantage de cette méthode est qu'elle ne requiert aucun calage, ce qui lui confère un caractère déterministe. En plus des caractéristiques géométriques des ouvrages et des données hydrauliques (débit de dimensionnement), cette méthode requiert une caractérisation précise des particules. Dans cette étude, celles-ci ont été caractérisées par des mesures de vitesse de chute selon le protocole VICAS. Pour cette étude, l'objectif était de déterminer les performances de décantation des bassins afin de disposer d'éléments factuels pour discuter avec les services du Land (région) et de l'Etat allemand sur les suites à donner. Ces discussions sont en cours. Pour les ouvrages les moins performants, des optimisations par modélisation hydraulique 3D ont d'ores et déjà été menées afin de déterminer les aménagements qui permettront de maximiser l'abattement des particules.

BIBLIOGRAPHIE

- Dufresne M (2008). La modélisation 3D du transport solide dans les bassins en assainissement : du pilote expérimental à l'ouvrage réel. Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, France.
- Isel S (2014). Développement de méthodologies et d'outils numériques pour l'évaluation du débit en réseau hydraulique à surface libre. Thèse de doctorat, Université de Strasbourg.
- Isenmann G (2016). Approche Euler-Lagrange pour la modélisation du transport solide dans les ouvrages de décantation. Thèse de doctorat, Université de Strasbourg.
- Isenmann G, Dufresne M, Vazquez J, Mosé R (2017). *Bed turbulent kinetic energy boundary conditions for trapping efficiency and spatial distribution of sediments in basins*. Water Science and Technology 76.8.
- Stovin V R (1996). The prediction of sediment deposition in storage chambers based on laboratory observations and numerical simulation. PhD thesis, University of Sheffield, United Kingdom.
- Torres A (2008). Décantation des eaux pluviales dans un ouvrage réel de grande taille : éléments de réflexion pour le suivi et la modélisation. Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, France.
- Yan H (2013). Experiments and 3D modelling of hydrodynamics, sediment transport, settling and resuspension under unsteady conditions in an urban stormwater detention basin. Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées (INSA) de Lyon, France.