

La modélisation RANS en 3D au service de la fiabilisation des données récoltées : une étude de cas pour un déversoir d'orage de l'Agglomération d'Annemasse

3D modelling with RANS for reliability of collected data: a case study for a sewer overflow chamber in Annemasse Agglomeration

Priscille Beguin, Adrien Momplot, Raphael Brand, Gislain Lipeme Kouyi

ÆGIR, 06 85 59 07 06, ÆGIR, 06 85 59 07 06, Annemasse Agglomeration, LGCIE-DEEP INSA de Lyon

RÉSUMÉ

Ce papier s'attache à présenter un cas concret de mise en œuvre de la modélisation 3D d'un ouvrage complexe en vue de l'instrumenter. Ce cas d'étude met en avant les difficultés de l'Agglomération d'Annemasse à obtenir des données fiables sur un déversoir d'orage. Afin de réagir au plus vite face à la pression réglementaire, l'Agglomération d'Annemasse a fait appel au laboratoire LGCIE-DEEP et à la société ÆGIR afin d'établir un diagnostic hydraulique de l'ouvrage, à l'aide de la modélisation RANS en 3D. Ce diagnostic hydraulique de l'ouvrage montre l'inadéquation de l'instrumentation actuelle vis-à-vis du comportement hydraulique du déversoir d'orage. Le diagnostic permet également de définir un nouvel emplacement pour les capteurs et d'établir les lois reliant les mesures des capteurs aux débits entrant, conservé et déversé. De plus, la compréhension du fonctionnement du déversoir et les perspectives de modifications pour sa mise en conformité ont amené les gestionnaires à questionner la gestion des eaux pluviales dans l'agglomération d'Annemasse. Les données apportées par le LGCIE-DEEP et ÆGIR permettent donc à l'Agglomération d'établir un plan d'action et de satisfaire les critères réglementaires en utilisant au mieux les ressources à disposition.

ABSTRACT

This paper is presenting a concrete case of the 3D modeling implementation of a sewer overflow chamber to instrument it. This case highlights the difficulties of Annemasse Agglomeration to obtain valuable data on this sewer overflow chamber. Annemasse Agglomeration worked with LGCIE-DEEP lab and ÆGIR to react quickly to the laws. LGCIE-DEEP lab and ÆGIR established a hydraulic diagnosis of the device by using RAND modeling in 3D. This diagnosis shows the disparity of the actual instrumentation compared to the hydraulic behavior of the device. Thanks to this diagnosis, a new implantation of the sensors was found. The modelling is used to establish the behavior laws between sensors and incoming, retained and discharged flows. Furthermore, the comprehension of the device's behavior and the future modifications brought the managers to consider storm-water management in the agglomeration.

MOTS CLÉS

Aide à la décision, diagnostic, eaux pluviales, gestion, politique de l'eau

1 INTRODUCTION : CONTEXTE ET OBJECTIF

Le métier de gestionnaire de réseaux d'assainissement est en constante évolution. Le changement de réglementation et les préoccupations environnementales ont complètement modifié les objectifs des gestionnaires. Pour les aider dans leurs démarches vers une ville durable et une gestion patrimoniale optimisée, les modélisations de flux et de réseaux sont devenues des outils efficaces. La révision du décret d'application de la Directive Cadre Européenne de 2007 en juillet 2015 encourage les gestionnaires à réviser les données d'autosurveillance qu'ils récoltent. Les restrictions de la nouvelle réglementation en termes de fréquences et de volumes de déversement amènent les opérationnels à réfléchir sur les actions à mettre en œuvre et leurs conséquences afin de mettre aux normes leurs réseaux d'assainissements. Les dernières techniques de modélisations des réseaux d'assainissement et l'expertise des bureaux d'études dans le domaine est un outil essentiel dans ce processus de remise en question et de modification du réseau d'assainissement.

L'objectif de l'intervention auprès de l'agglomération d'Annemasse était d'utiliser la modélisation en trois dimensions des écoulements au sein d'ouvrages clé du réseau afin de mieux comprendre leurs fonctionnements, déterminer le positionnement et le type d'instrumentation possible pour récolter des données de qualité et aiguiller les gestionnaires dans leur prise de décision pour améliorer le fonctionnement du réseau.

2 MATERIELS ET METHODES

La mise en place de l'autosurveillance des réseaux dans l'agglomération d'Annemasse a été faite très tôt. L'agglomération a donc amassé une base de données importante sur le réseau et le climat local auquel il est soumis. Pour les déversoirs d'orages les plus importants, des capteurs de hauteurs et de déversement sont en place. L'analyse des données de ces ouvrages permet de comprendre plusieurs choses. Tout d'abord certains d'entre eux ont un comportement de déverse excessive, ensuite l'instrumentation de plusieurs déversoirs est mal positionnée recueillant parfois des données erronées. Ces données de qualité discutable rendent l'analyse du fonctionnement des différents ouvrages difficiles voir impossible. L'agglomération possède notamment des données sur les volumes déversés annuellement aux milieux naturels.

La qualité des données étant remise en cause, elles ne sont pas utilisées pour la validation de la modélisation en amont de la mise en place de la nouvelle instrumentation.

2.1 Démarche de modélisation

Trois modélisations en trois dimensions ont été faite sur les déversoirs d'orages 1, 3 et 4 de l'agglomération. Cet article s'attachera à l'étude du DO1 (Figure 1). Ce déversoir latéral est constitué de deux chambres de déversement consécutives. La canalisation d'amenée est constituée d'une cunette à banquettes. La canalisation de départ est un circulaire de \varnothing 500 mm en forte pente.

La modélisation en trois dimensions c'est attachée à décrire la géométrie de l'ouvrage le plus fidèlement possible.

Le site présente une pente comprise entre 1 et 2 % (selon les tronçons). Il présente trois ruptures, agissant comme des rétrécissements brusques, à la sortie de la première zone déversante, à l'entrée de la seconde partie déversante et en sortie de la deuxième partie déversante (avec la canalisation aval). En dehors de ces points particuliers, aucune rupture brusque de l'écoulement n'est à craindre.

Le logiciel Ansys Fluent v15 est utilisé pour faire les modélisations avec méthode RANS. On utilise la méthode RANS pour son coût de calcul raisonnable et parce que ses résultats sont en général de bonne qualité (Kim et al. (1999)). Les modélisations sont faites avec le modèle de turbulence k- ϵ RNG, loi de paroi Standard, algorithmes de couplage pression-vitesse SIMPLE et schéma de discrétisation de second ordre, sauf pour la pression qui est discrétisée en Body Force Weighted pour améliorer la stabilité des calculs.

2.2 Paramétrage / maillage

En s'appuyant sur l'analyse hydraulique du site et de sa géométrie, on sélectionne l'approche adaptée aux conditions d'écoulement. On choisit de modéliser les débits allant de 0,25 m³.s⁻¹ à 3 m³.s⁻¹, de 0,25 m³.s⁻¹ en 0,25 m³.s⁻¹. Cette gamme de débit devrait couvrir un taux important d'événements observables.

Le maillage retenu est composé de 5 220 000 mailles hexaédriques, de tailles variables (entre 2 et 8 cm pour la longueur, entre 2 et 4 cm pour la largeur, entre 2 et 4 cm pour la hauteur). On vérifie que les calculs sont indépendants du maillage.

L'écoulement dans l'ouvrage est torrentiel, sauf quand la canalisation aval se met en charge, imposant alors une contrainte très forte à l'aval, générant un régime fluvial et un ressaut hydraulique dans la seconde partie déversante de l'ouvrage. Le **débit de référence** est observé lors de nos simulations à $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

2.3 Convergence

La convergence des calculs est considéré lorsque trois paramètres sont réunis :

- Les résidus de calculs normalisés sur toutes les variables inférieurs à 10^{-p} , p étant l'ordre du schéma de discrétisation (Celik et al. 2008)
- Le suivi des valeurs d'une variable d'intérêt au cours des itérations montre une stabilisation de cette variable : champs de vitesse, bilan de masse
- Le bilan de masse entre l'entrée et les sorties du domaine de calcul est inférieur à 2 %

2.4 Incertitudes

Pour chacune des 4 lois de fonctionnement du DO1 (débit entrant en fonction de la hauteur d'eau, débit conservé en fonction de la hauteur d'eau et les deux débits déversés en fonction de la hauteur d'eau), on étudie les incertitudes à l'aide de régression linéaire ou de la méthode de Williamson.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Détermination du fonctionnement du DO1

L'ouvrage commence à déverser avant que la canalisation avale soit mise en charge. La forme de la canalisation à banquette et la faible hauteur du seuil favorisent un déversement rapide. L'analyse des modélisations a permis de définir le débit de référence de l'ouvrage. Il est trouvé à $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$. L'écrêtage du débit conservé confirme que le déversoir est fonctionnel.

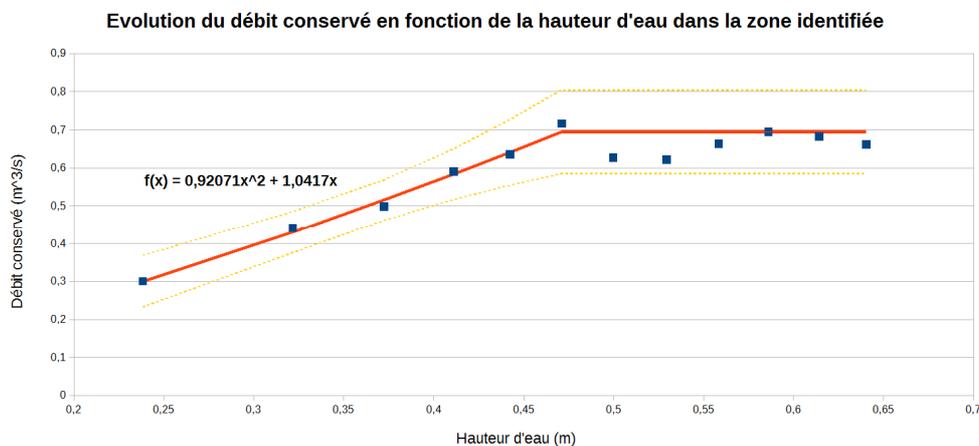


Figure 1: Evolution du débit conservé en fonction de la hauteur d'eau amont. On peut voir l'écrêtage du débit. Les incertitudes sont délimités par les deux courbes en pointillées jaunes.

3.2 Instrumentation et campagne de mesures

Les modélisations ont permis de définir une zone propice à la mesure à l'amont des deux chambres de déversement. On définit le critère suivant pour identifier cette zone : si le gradient sur la composante Z de la surface libre (élévation de la surface libre) est inférieur à 10 % dans toutes les directions, alors la zone présente une surface libre stable, propice à la mesure. Nous établissons ensuite une loi reliant cette hauteur au volume déversé. L'établissement de la loi repose sur 11 simulations, pour des débits allant de $0,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ à $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, de $0,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en $0,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

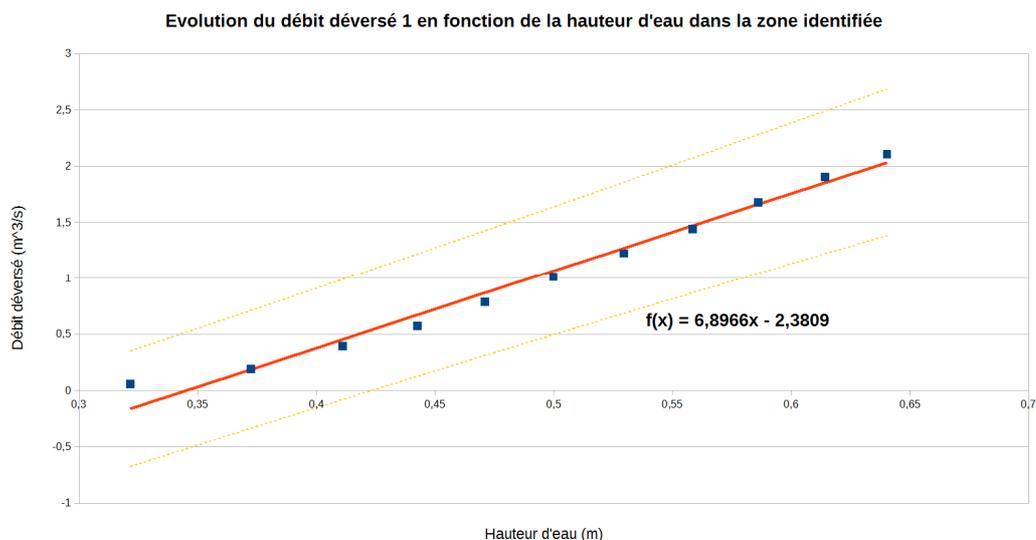


Figure 2: Loi de fonctionnement de la première chambre de déversement du DO 1

Les gestionnaires ont décidé de modifier l'ouvrage pour réduire l'impacte environnemental du déversoir d'orage. Les modélisations permettent de définir les débits qui doivent être maîtrisés et absorbés par le réseau dans le futur.

Cependant, une campagne de mesure de plusieurs mois est nécessaire pour définir l'occurrence statistique des débits en jeux et la dynamiques des pluies qui en sont la cause ainsi que pour valider la loi de fonctionnement grâce à de la mesure manuelle.

3.3 Discussion

Plusieurs solutions techniques sont envisageables pour réduire les débits déversés.

- Tout d'abord le relèvement de la crête de l'ouvrage qui impose à la canalisation de départ une mise en charge plus rapide. Cette solution implique que le réseau à l'aval, et donc la station d'épuration, soit capable d'absorber les volumes supplémentaires mis en jeu.
- L'utilisation d'une partie de l'ouvrage de déversement comme futur ouvrage de stockage restitution afin de réduire la fréquence des déversements. La catégorisation des pluies et la fréquences des événements à absorber sont des données nécessaires pour l'analyse de cette solution.
- Enfin le délestage d'une partie des effluents aiguillés vers le DO1 peut s'avérer efficace. Notamment si les volumes en jeux sont trop important pour mettre en place les solutions précédentes. Ici, il est possible de mettre en œuvre de la rétention à la sources, des nouvelles techniques d'assainissement ciblé sur des zones très productrices. Un travail important sur l'élimination des eaux claires parasites et la réduction de raccords de canalisations d'eaux pluviales dans le collecteur peut être envisagé.

Ces différentes solutions techniques pour réduire l'impact écologique de l'ouvrage sont radicalement différente dans la politique de l'eau qu'elles impliquent et dans l'impact sur le réseau et les travaux nécessaires à leurs réalisations.

L'utilisation de la modélisation en trois dimensions de cet ouvrage permet de mieux comprendre le fonctionnement du réseau. Mais l'analyse des résultats permet aussi d'entrer profondément dans les questionnements de la gestion de l'eau en milieu urbain et de ces impacts économiques, écologiques et sociaux.

4 CONCLUSION

Les réseaux dont les gestionnaires ont la charge aujourd'hui ont été construit avec une vision de la gestion de l'eau radicalement différente de celle d'aujourd'hui. Cela implique de très grandes disparités entre la fonction actuelle d'un ouvrage et son fonctionnement réel. Par exemple pour un

déversoir, on veut que l'ouvrage déverse les volumes critiques pour lesquels la station d'épuration serait en défaut de fonctionnement alors qu'il a souvent été conçu pour déverser régulièrement afin de limiter au maximum les débits allant vers la STEP.

Ces disparités sont mises au jour avec le changement de réglementation. La mise aux normes de ces ouvrages, situés à des points clé du réseau, remet en question l'intégralité du fonctionnement du système qui fut conçu dans une optique peu convergente avec les objectifs d'aujourd'hui : préservation du milieu naturel, traitement du maximum d'effluent, séparation des eaux claires...

La modélisation en 3D apporte des données uniques. Grâce à une bonne connaissance de la météo locale et de la réponse du réseau aux pluies (transformation pluie / débit) on peut déterminer les débits à partir desquels on voudrait que les déversoirs fonctionnent, les débits à partir duquel le réseau est mis en défaut et on peut simuler les différentes méthodes de modification structurelle du réseau pour que les débits e références soient les débits choisis par le gestionnaire.

Le diagnostic d'un ouvrage au regard de la réglementation ouvre donc la voix à une réflexion profonde sur la gestion du réseau et sur la gestion de l'eau. L'analyse de ces déversoirs d'orage met en exergue les défis que doivent relever les gestionnaires de réseaux. Ils doivent réinventer leur discipline face aux attentes aujourd'hui formalisées à travers la réglementation. (Matzinger and al. (2012), Marzion and al. (2013)).

L'exploration des solutions techniques à mettre en place soulève un certain nombre de questions au sein de l'agglomération d'Annemasse. En effet si on modifie ces ouvrages :

- Quid du débit à l'aval et de la gestion des effluents par la station d'épuration ?
- Peut-on augmenter les volumes traités par la station d'un point de vue réglementaire et technique ?
- Le bassin versant est-il capable de stocker le surplus d'effluent lors de certain événements ?
- Peut-on définir des solutions d'assainissement alternative ?
- A-t-on du foncier pour les mettre en place ?
- A-t-on des marges réglementaire pour faire de la rétention à la parcelle ?
- Sépare-t-on les eaux pluviales et les eaux usées ? Peut-on mieux faire ?
- Un contrôle en temps réel d'une partie du réseau permettrait-il d'optimiser son fonctionnement ?

L'ensemble de cette réflexion est en cours au sein de l'agglomération. De nombreuses villes sont engagées dans des processus similaires et leurs expériences et méthodes permet de guider l'ensemble des acteurs dans sa prise de décision.

BIBLIOGRAPHIE

- Kim, D. Choudhury and B. Patel. (1990). *Computations of comple turbulent flows using the commercial code Fluent*. Modeling complex turbulent flows, Manual D. Salas; p 259-276.
- Celik, U. Ghia and P.J. Roache. (2008). Procedure for estimation and reporting of uncertainty due to discretization in CFD applications. *Journal of fluids Engineering-Transactions of the ASME*, 130(7)
- Marzion, G. M. Kondolf, J. McBride and L. Mazingo. (2013). *Stormwater Management in Quito, Ecuador: Recommended Strategies and Applications of International Precedents*. Novatech 2013; 5 pages.
- Matzinger, P. Rouault, M. Riechel, N. Caradot, H. Sonnenberg, B. Heinzmann and D. von Seggern. (2012). *Une grande rivière urbaine sous pression – Recherche et mesures visant à atténuer les impacts des déversoirs d'orage à Berlin, Allemagne*. IS. RIVERS 2012; 3 pages.