



COACHS

Guide Technique n°1

Optimisation par modélisation numérique de l'évaluation du débit rejeté par un déversoir d'orage à partir de la mesure d'une ou plusieurs hauteurs d'eau

Auteurs : Matthieu Dufresne^{1,2,4}, José Vazquez^{1,2,4}, Claude Joannis^{3,4}, Martin Fischer^{1,2,4}, Sandra Isel^{1,2,4}, Charlotte Tingaud^{1,2,4}, Fanny Thenault^{1,2,4}, Marie Manceau⁵, Thierry Dauge⁶

¹ Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg (ENGEES)

² Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur, de l'Informatique et de l'Imagerie (ICube), Equipe Mécanique des Fluides

³ Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et Des Réseaux (IFSTTAR)

⁴ Groupement pour l'Evaluation des Mesures en Continu dans les Eaux et en Assainissement (GEMCEA)

⁵ Communauté Urbaine de Strasbourg

⁶ Clermont Communauté

Ce guide technique est un livrable du projet **COACHS** (COmputations and their Applications in Channel Hydraulics for Sewers) financé par le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement dans le cadre de la Convention de subvention n°10MGC S 004 notifiée le 1 avril 2010 obtenue en réponse à Appel à Projet C2D2 2009

Date : 27/05/2014

Contact : matthieu.dufresne@engees.unistra.fr, jose.vazquez@engees.unistra.fr

Remerciements à la participation de

- La Communauté Urbaine de Strasbourg
- Clermont Communauté

Le projet COACHS est un partenariat entre :

- l'IFSTTAR (Institut Français des Sciences et Technologies des Transports de l'Aménagement et des Réseaux - Laboratoire Eau et Environnement)
- l'INSA de Lyon (Laboratoire de Génie Civil et l'Ingénierie Environnementale)
- l'ICUBE (Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur, de l'Informatique et de l'Imagerie, Equipe Mécanique des Fluides)
- Le GEMCEA (Groupement pour l'Évaluation des Mesures en Continu dans les Eaux et en Assainissement)



Sommaire

1. INTRODUCTION	5
2. ETAT DE L'ART	5
2.1. PREAMBULE	5
2.2. MESURE DU DEBIT DEVERSE DANS LA CONDUITE DE DECHARGE	7
2.3. MESURE PAR DIFFERENCE ENTRE LES CONDUITES D'ENTREE ET DE SORTIE CONSERVEE	8
2.4. INSTRUMENTATION EN HAUTEUR(S) D'EAU	8
3. METHODE D'INSTRUMENTATION D'UN DEVERSOIR A PARTIR D'UNE OU PLUSIEURS HAUTEURS D'EAU	9
3.1. PREAMBULE	9
3.2. ETAPE 1 : ANALYSE HYDRAULIQUE	10
<i>Préambule</i>	10
<i>Analyse des données disponibles</i>	10
<i>Visite du site et relevé géométrique</i>	10
3.3. ETAPE 2 : MODELISATION PAR MECANIQUE DES FLUIDES NUMERIQUE	11
<i>Géométrie et type de conditions aux limites</i>	11
<i>Choix des valeurs de conditions aux limites appliquées aux simulations</i>	12
3.4. ETAPE 3 : ANALYSE DES RESULTATS	12
<i>Identification des zones potentielles de mesure de hauteurs d'eau</i>	12
<i>Loi hauteur(s) – débit</i>	13
<i>Incertitude sur le débit</i>	13
<i>Lois hauteur(s) – débit dégradées</i>	13
3.5. MODIFICATION DE L'OUVRAGE	13
4. EXEMPLES DE MISE EN ŒUVRE	14
4.1. PREAMBULE	14
4.2. CAS DU DEVERSOIR DE LA RUE DU CANAL A SOUFFELWEYERSHEIM	14
4.3. CAS DU DEVERSOIR HERBET A CLERMONT-FERRAND	17
4.4. CAS DU DEVERSOIR LA PRADELLE A CLERMONT-FERRAND	19
5. CONCLUSION	20
6. REFERENCES	21

1. INTRODUCTION

La mesure du débit rejeté par un déversoir d'orage est une contrainte réglementaire à laquelle un exploitant de réseau d'assainissement peut être soumis en fonction de l'importance de son réseau d'assainissement. Plusieurs méthodes existent pour parvenir à cette fin. Après un rapide passage en revue de ces différentes techniques (état de l'art), ce document présente une méthode fondée uniquement sur la mesure d'une ou plusieurs hauteurs d'eau au sein de l'ouvrage. Des exemples concrets d'application de cette méthode sont ensuite présentés, ainsi qu'un retour d'expérience sur la méthode.

2. ETAT DE L'ART

2.1. Préambule

Un 'déversoir d'orage' est un ouvrage de limitation du débit conservé dans le réseau (en rouge sur la Figure 1). Pour cela, une partie du débit amont (en vert) est déversé (en bleu).

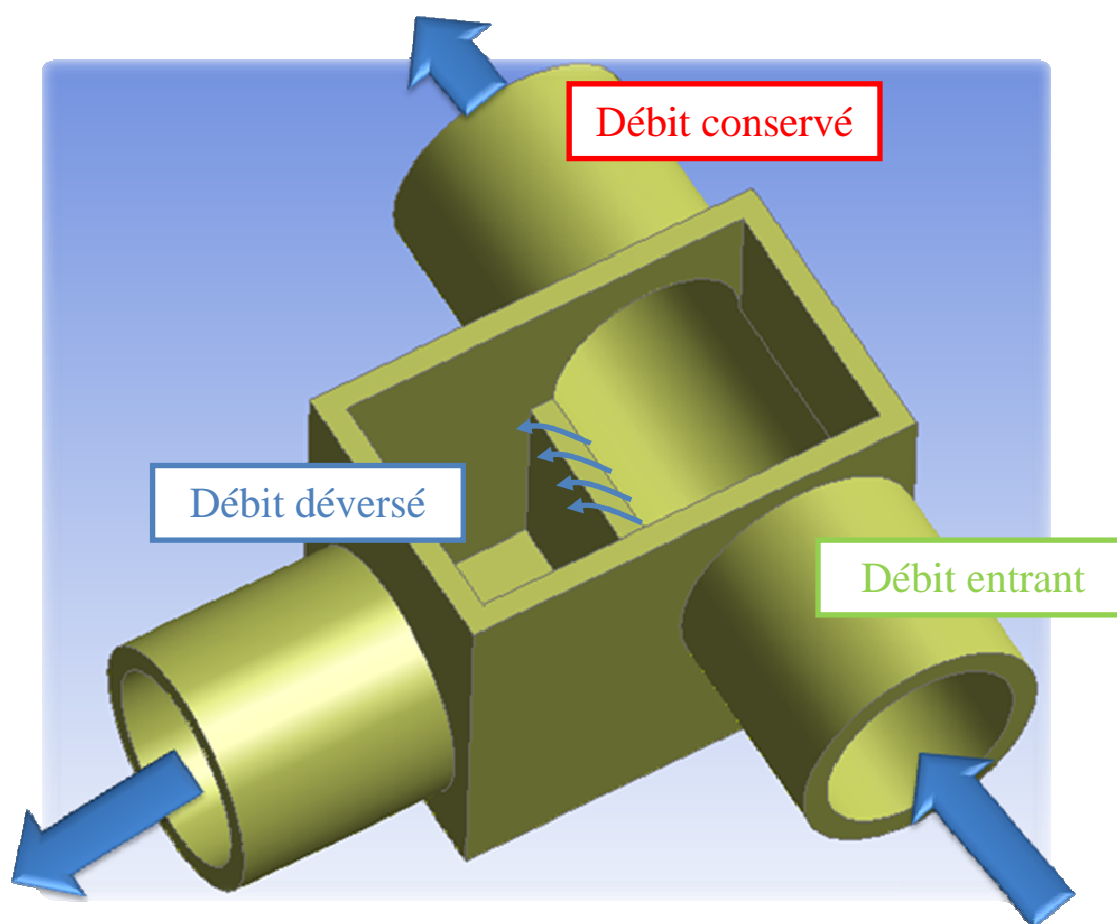


Figure 1. Vue en 3D d'un déversoir d'orage latéral

Les déversoirs peuvent être classés suivant la forme de l'ouvrage de dérivation (Joannis *et al.*, 2009). On peut distinguer les déversoirs avec et sans crête déversante comme les trop-pleins de bassin ou les 'leaping weir'. Concernant les déversoirs à crête, la Figure 2 illustre quelques formes d'ouvrage déversants.

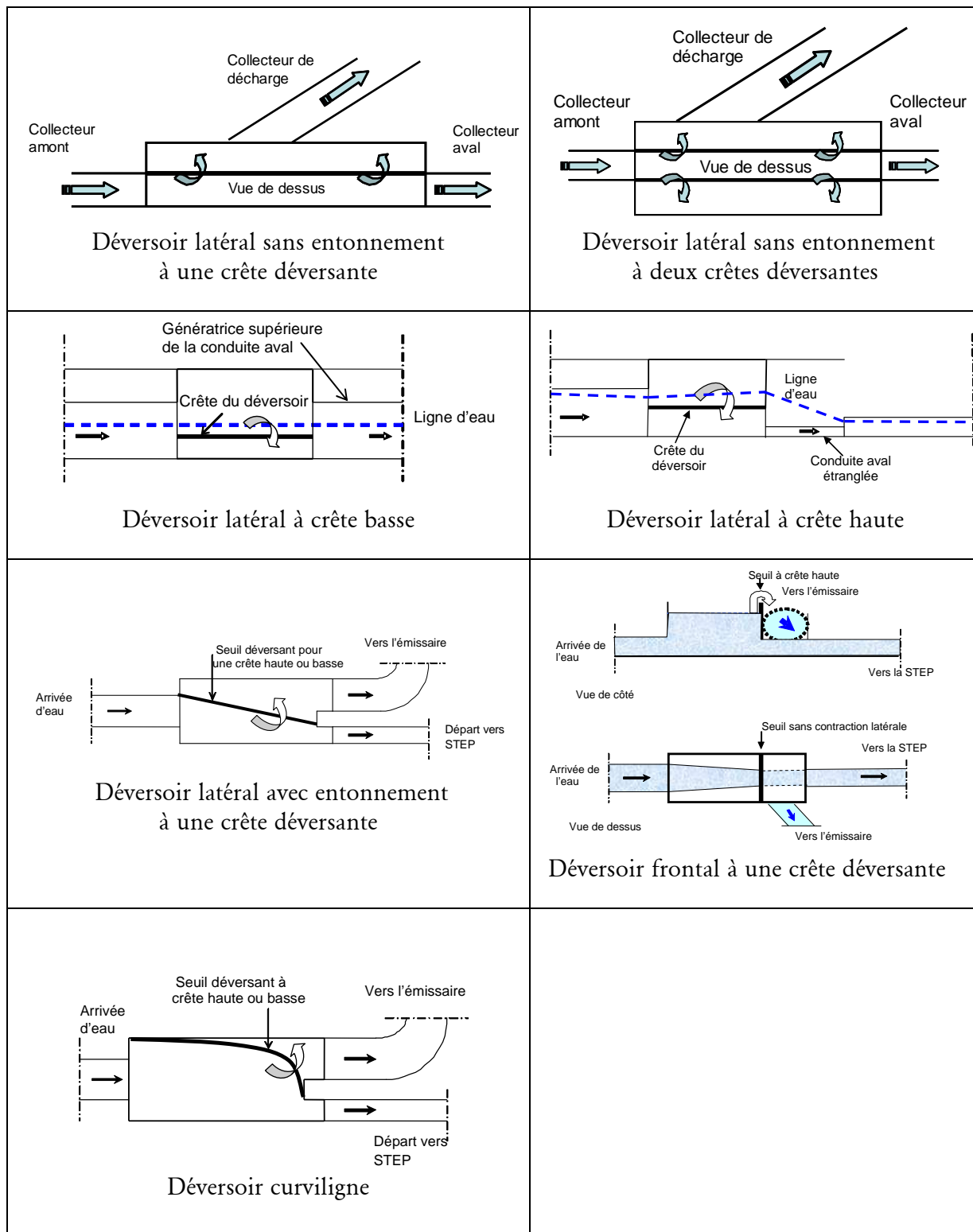


Figure 2. Illustration de quelques déversoirs d'orage

2.2. Mesure du débit déversé dans la conduite de décharge

Cette méthode est la plus naturelle si on s'intéresse essentiellement aux volumes déversés. Comparée à une mesure par différence amont-aval, elle permet de limiter les points de mesure à installer. Dans certains cas on peut même appréhender plusieurs déversoirs par une seule mesure, si les rejets sont rassemblés dans un même collecteur qui ne reçoit pas d'autres apports.

On a en général recours à une mesure de hauteur couplée à une mesure de vitesse, car cette technique permet de s'affranchir des influences aval fréquemment présentes dans ce type d'ouvrage.

La mesure de vitesse peut s'effectuer par la technique du temps de transit. On obtient alors une bonne représentativité spatiale à condition de s'éloigner suffisamment du seuil déversant pour que la mesure ne soit pas perturbée par les bulles. Sinon on peut avoir recours à un capteur à effet Doppler. Ce type de capteur nécessite une étude soignée de son implantation pour permettre une estimation fiable de la vitesse moyenne.

Le calcul d'incertitude sur le débit combine l'incertitude sur la mesure de vitesse et l'incertitude sur la section mouillée, cette dernière résultant de l'incertitude sur la géométrie de la section et de l'incertitude sur la mesure de hauteur.

L'incertitude sur la mesure de vitesse intègre :

- La précision intrinsèque du capteur, en général de l'ordre du cm/s ;
- La dispersion des valeurs instantanées, souvent importante (5 à 10 cm/s) mais pouvant être réduite par un échantillonnage temporel (par exemple un enregistrement de valeurs moyennes sur 1 à 5 min) ;
- La *relation* programmée (en général dans le transmetteur) et permettant de passer de la valeur de vitesse mesurée à la vitesse moyenne dans la section.

Le point le plus délicat concerne l'incertitude liée à la *relation vitesse mesurée - vitesse moyenne*. Dans des conditions hydrauliques favorables à un développement connu du champ de vitesses et avec un échantillonnage adapté des vitesses, Bertrand-Krajewski *et al.* (2000) citent des valeurs de 15 à 20 % comme ordre de grandeur de l'incertitude des méthodes utilisant une mesure de vitesse. Ces valeurs d'incertitude peuvent rapidement se dégrader et dépasser 30 % voire bien davantage si le contexte est moins favorable ou si les conditions de mise en œuvre et d'exploitation ne font pas l'objet d'un soin suffisant.

Du point de vue de l'exploitation, le capteur a l'avantage d'être accessible par temps sec, ce qui facilite sa maintenance. En contrepartie, il ne fournit des informations que lors des épisodes de déversement, ce qui ne permet pas de vérifier en permanence son fonctionnement (présence de signal, absence de dérive, d'encrassement).

2.3. Mesure par différence entre les conduites d'entrée et de sortie conservée

Cette méthode consiste à mesurer le débit à l'amont et à l'aval du déversoir. Le débit déversé est alors obtenu par différence. La méthode est applicable à tous les types de déversoirs, et en particulier à ceux dont le rejet s'effectue directement dans le milieu, ou par l'intermédiaire d'une conduite de décharge inadaptée à la mesure de débit.

Par temps sec les deux mesures sont redondantes et permettent une vérification du fonctionnement du dispositif d'instrumentation. En outre le système fournit en permanence des informations sur les débits amont et aval, qui peuvent être exploités pour analyser le fonctionnement du bassin-versant desservi et de l'ouvrage de déversement.

Cependant, cette méthode présente l'inconvénient d'augmenter les frais d'équipement et surtout d'augmenter l'incertitude sur la mesure du volume déversé, cette incertitude étant liée à l'incertitude sur l'amont et l'incertitude sur l'aval.

Dans le cas où le déversoir présente plusieurs entrées et sorties, ce type d'instrumentation n'est plus pertinent, l'incertitude pouvant très rapidement devenir beaucoup trop importante au regard des objectifs recherchés et des coûts à consentir.

2.4. Instrumentation en hauteur(s) d'eau

Le principe de base de cette méthode est de mesurer une hauteur d'eau par rapport au seuil déversant et de calculer le débit déversé par l'intermédiaire d'une loi hydraulique. À la différence des seuils qui sont souvent des ouvrages standardisés (ISO 2008), les déversoirs présentent des géométries plus ou moins complexes échappant à toute standardisation, l'ouvrage étant conçu pour un rôle hydraulique de limitation et de contrôle du débit et non-pas dans un objectif de mesure. Par exemple, sur un déversoir latéral, la hauteur d'eau et le débit déversé varient le long du seuil déversant et ne peuvent être représentés que par une modélisation relativement complexe (au minimum 1D). En général il existe bel et bien un lien entre hauteur d'eau et débit déversé mais sa formulation n'est pas immédiate. D'autres cas de figure sont encore plus complexes et font intervenir le niveau d'eau dans la canalisation de décharge. Il existe néanmoins quelques déversoirs de forme simple (déversoir frontal par exemple) pour lesquels le lien hauteur-débit peut être déterminé à partir de formules de la littérature, qu'il est cependant utile de calibrer.

3. MÉTHODE D'INSTRUMENTATION D'UN DÉVERSOIR À PARTIR D'UNE OU PLUSIEURS HAUTEURS D'EAU

3.1. Préambule

L'organigramme de la méthode est présenté dans la Figure 3. Chacune des étapes est décrite par la suite. On pourra se reporter pour plus de détails à Isel *et al.* (2013).

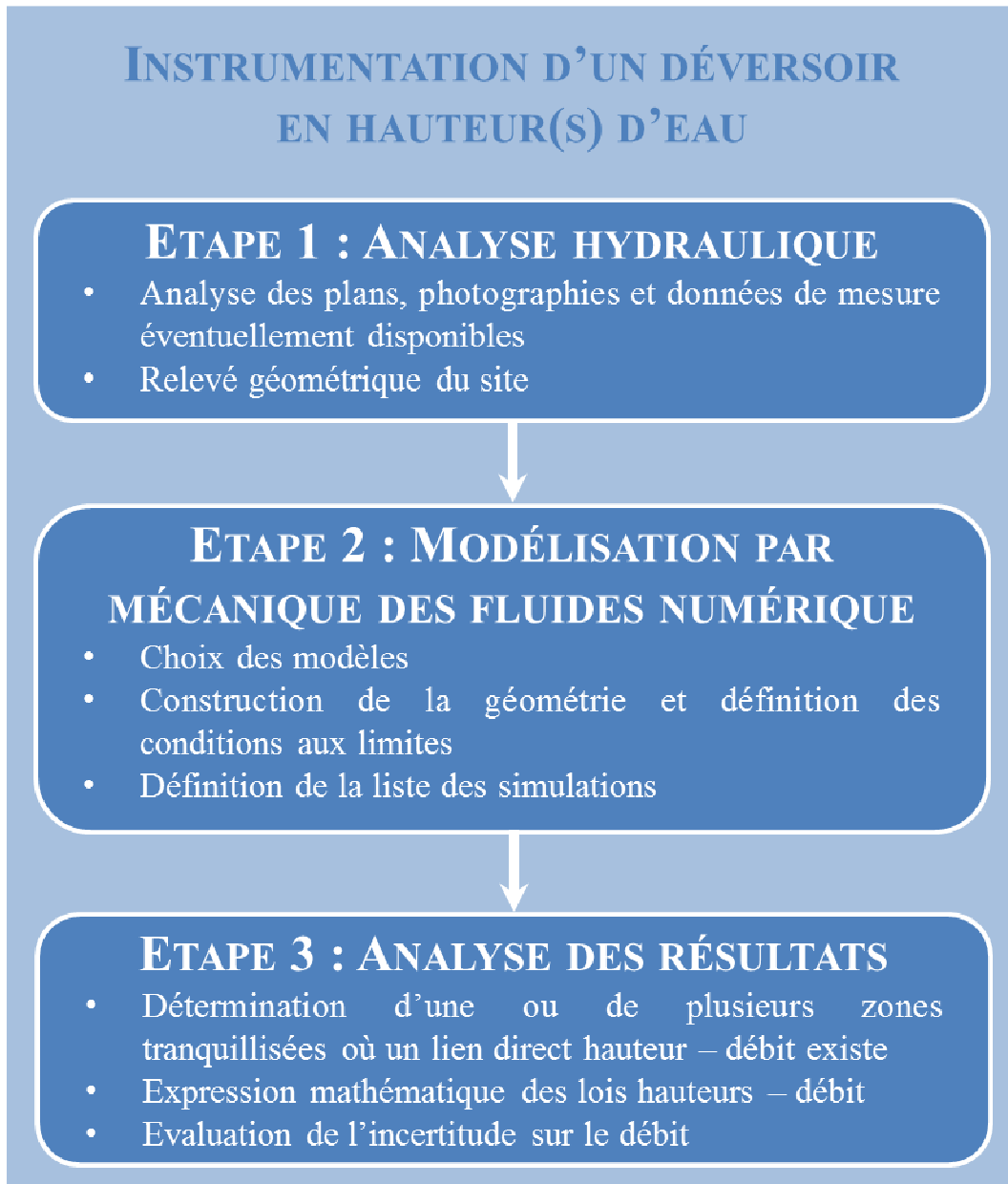


Figure 3. Organigramme de la méthode d'instrumentation d'un déversoir d'eau excédentaire uniquement à partir de hauteurs d'eau

3.2. Etape 1 : Analyse hydraulique

Préambule

Si la mécanique des fluides numérique est un outil d'usage relativement peu aisé, la principale difficulté d'application de la méthode proposée ici est l'analyse hydraulique préalable à l'utilisation de la mécanique des fluides numérique. En effet les résultats produits par un modèle hydraulique dépendent de quelques paramètres (par exemple, de rugosités de parois) mais surtout de données d'entrée fournies sous forme de *conditions aux limites*. Celles-ci décrivent la géométrie des ouvrages, et fixent en fonction du temps des valeurs de hauteurs d'eau et de vitesses aux frontières du modèle. Certaines d'entre elles pourront être fournies par des capteurs lorsque le site sera en phase d'exploitation, mais il est impossible de tout mesurer, et il faut en outre fixer les gammes de variations des conditions aux limites lors de la construction du modèle.

Analyse des données disponibles

La première phase de cette étape consiste à collecter et à analyser l'ensemble des documents et données disponibles sur l'ouvrage :

- Plan de recollement et photographies du déversoir ;
- Profils en long amont et aval ;
- Eventuelles données de mesure collectées par des stations situées à proximité de l'ouvrage (niveau d'eau, débits) et de modélisation hydraulique du réseau. A défaut, on peut estimer des débits maximaux à partir de la capacité d'écoulement des ouvrages.

Plus ces informations seront nombreuses et précises, plus le fonctionnement hydraulique de l'ouvrage sera *a priori* connu avec précision au moment de la modélisation. Le modèle pourra alors être construit avec d'autant plus de justesse par rapport au comportement hydraulique réel de l'ouvrage.

Visite du site et relevé géométrique

Une fois cette analyse effectuée, une visite du site est nécessaire pour :

- Confirmer et compléter les informations collectées, par exemple par des relevés de laisses de crue, d'indices de vitesse d'écoulement... ;
- Faire quelques mesures permettant de valider les modèles par rapport aux conditions de temps sec ;
- Relever la géométrie précise de l'ouvrage : ce travail peut être confié à un géomètre mais il est important que le cahier de charges précise les éléments-clés vis-à-vis du comportement hydraulique et des contraintes pratiques de la mesure (profil en long et en travers de la crête déversante, présence de dépôts, angles des axes de conduite, hauteur de plafond, ...), position et dimensions des ouvrages d'accès ... la Figure 4 en montre un exemple. Les pentes de conduites seront en général obtenues par ailleurs (SIG, levés spécifiques sur le réseau).

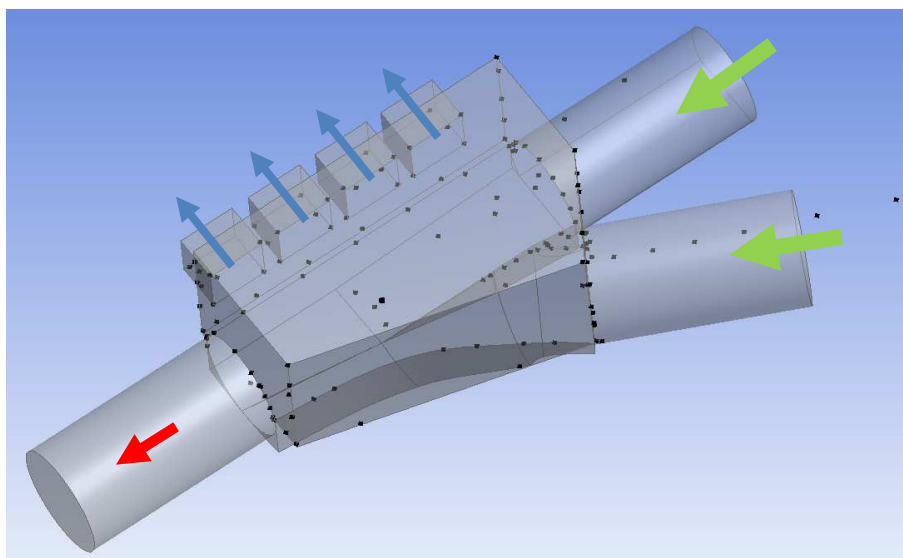


Figure 4. Nuage de points correspondant au relevé géométrique du déversoir du Sentier de la Contre-Escarpe (Communauté Urbaine de Strasbourg)

3.3. Etape 2 : Modélisation par mécanique des fluides numérique

L'objectif de la modélisation est de déterminer pour différents débits déversés la position de la surface libre dans tout l'ouvrage. Pour cela, un modèle 3D biphasique (eau et air) est en général nécessaire. Dans certains cas une modélisation 1D pourrait être techniquement adaptée, mais les modèles 1D utilisés en assainissement sont conçus pour simuler les débits en collecteur et non le fonctionnement d'ouvrages spéciaux ni les relations entre hauteur et débit.

Géométrie et type de conditions aux limites

La géométrie est construite sur la base du relevé géométrique. L'intégralité du réseau ne pouvant pas être modélisée, les conduites d'entrée et de sortie sont « coupées » après une longueur de quelques diamètres ; l'influence hydraulique du réseau amont et aval est alors reproduite par l'intermédiaire des conditions aux limites, c'est-à-dire des conditions hydrauliques imposées sur ces sections.

La connaissance des conditions aux limites est le point-clé permettant de reproduire l'environnement hydraulique du déversoir. Deux déversoirs identiques géométriquement peuvent présenter des comportements hydrauliques radicalement différents selon leur environnement hydraulique.

Les conditions hydrauliques aux limites peuvent concerner selon le cas une hauteur d'eau, et/ou un débit ou une vitesse moyenne (à condition que les limites du modèle aient été bien choisies).

Concernant l'amont, la principale question à se poser est celle du régime d'écoulement, question intimement liée à la pente. Si l'écoulement est fluvial (contrôle de la hauteur d'eau par l'aval), il n'est pas nécessaire d'imposer exactement la hauteur d'eau au niveau de la condition limite amont ; il suffit qu'elle soit supérieure à la hauteur critique. Il faut alors 'simplement' imposer un débit.

En revanche, si l'écoulement est torrentiel (contrôle de la hauteur d'eau par l'amont), il faut imposer le débit et la hauteur d'eau correspondant à la réalité (généralement la hauteur normale, l'écoulement devenant généralement rapidement uniforme dans le cas d'une forte pente).

Concernant la sortie conservée, si le débit n'est pas fixé par une contrainte extérieure (pompe, vanne régulée) il faut alors imposer une gamme de débits réalistes pour balayer l'ensemble des conditions possibles.

Concernant la sortie déversée, le débit est déduit des débits amont et conservé, et ne constitue pas une condition à la limite. En revanche il est possible que l'écoulement soit sujet à une influence aval, soit à cause d'un milieu récepteur haut, soit à cause d'une pente faible ou bien encore de la présence d'un engouffrement. D'une manière générale, il s'agit de fixer une hauteur d'eau comme condition à la limite, mais la définition des limites du modèle devra être adaptée pour que ce type de condition soit pertinent. On pourra ainsi être amené à modéliser les écoulements sur toute la longueur de la canalisation de décharge pour atteindre la limite fixée par le milieu récepteur.

Choix des valeurs de conditions aux limites appliquées aux simulations

Le nombre de simulations à effectuer dépend de la plage de variation des conditions hydrauliques auxquelles le déversoir peut être soumis. Moins on dispose d'informations sur l'ouvrage (partie 1 : analyse hydraulique) et plus il faudra effectuer un nombre important de simulations pour être certain de balayer l'ensemble des conditions hydrauliques possibles.

Cinq à six simulations bien choisies sont suffisantes pour appliquer cette méthode à un déversoir avec une condition aval très simple et sans influence du milieu récepteur. Plusieurs dizaines peuvent être nécessaires dans le cas d'un déversoir avec un fonctionnement hydraulique complexe (condition aval complexe, ennoisement du seuil par le milieu récepteur).

3.4. Etape 3 : Analyse des résultats

Les entrées du modèle sont les conditions aux limites à l'entrée (Q : débit, et éventuellement H : tirant d'eau), la sortie conservée (Q et éventuellement H) et la canalisation de décharge (H), soit en général 4, voire 5 variables. Les deux sorties principales du modèle sont un débit déversé et une représentation 2D de la surface libre à l'amont de la crête déversante.

Identification des zones potentielles de mesure de hauteurs d'eau

L'objectif est l'analyse de l'aspect des surfaces libres (forme 3D) en fonction des débits déversés pour différentes conditions aux limites :

- 1) repérer les zones tranquilles ;
- 2) rechercher la zone de variation minimum de hauteurs en fonction des conditions aux limites ;
- 3) rechercher la zone de variation maximum de hauteurs en fonction des débits déversés.

On commence par analyser les résultats obtenus en l'absence d'influence de la hauteur d'eau à la limite aval de la conduite de décharge. Cela permet en général d'identifier une zone de mesure favorable. Si les variations de hauteur d'eau à débit déversé constant reste trop variable en fonction des conditions aux limites, on peut chercher à implanter un deuxième capteur dont les variations en fonction du débit déversé sont indépendantes de celle du premier.

Enfin si la hauteur d'eau à la limite aval de la conduite de décharge a une influence importante, un capteur sera dédié à la mesure de cette condition à la limite.

Loi hauteur(s) – débit

Une fois le positionnement du ou des capteurs arrêté, on dispose sous forme de tableaux des relations entre hauteurs d'eau et débits déversés simulés. Il reste ensuite à les exprimer sous une forme mathématique qui pourra, soit être intégrée directement dans le transmetteur de la station de mesure (forme mathématique uniquement composée d'opérations de base), soit utilisée dans l'outil de traitement des données.

Incertitude sur le débit

Les différentes sources d'incertitude sur le débit sont :

- L'incertitude numérique liée au relevé géométrique et à la taille des mailles utilisées (le maillage est choisi pour que cette incertitude soit négligeable par rapport aux autres) ;
- L'incertitude liée à la forme mathématique choisie pour la loi hauteur-débit (incertitude généralement faible) ;
- L'incertitude liée à la mesure des hauteurs d'eau compte tenu des technologies de mesure du niveau d'eau et dans le cas d'un zéro de la mesure effectué avec précision, on peut raisonnablement penser atteindre une précision de +/- 1 cm sur la hauteur d'eau ;
- L'incertitude issue de la variabilité des conditions aux limites correspondant à une valeur de débit déversé donnée. Elle est minimisée par le choix du nombre et de l'emplacement des capteurs, et souvent du même ordre de grandeur que la précédente.

Lois hauteur(s) – débit dégradées

Dans le cas où plusieurs capteurs ont été mis en place, il est possible de mettre au point des lois hauteur(s)-débit basées sur un nombre réduit de capteurs. Cela permet de répondre au cas où un - voire plusieurs - capteurs sont en défaut. Ces relations « dégradées » permettent alors malgré tout d'évaluer le débit. L'incertitude sur le débit peut être calculée comme précédemment en tenant compte de toutes les sources.

3.5. Modification de l'ouvrage

Il peut arriver que suite à la mise en œuvre de la méthode, aucune zone du déversoir ne soit propice à l'instrumentation en hauteur d'eau, par exemple en raison d'un écoulement trop agité. Cela peut par exemple avoir lieu dans le cas d'une canalisation amont à pente forte entraînant un ressaut hydraulique au sein même de l'ouvrage.

Il est alors possible de proposer une modification simple de l'ouvrage (rehausse de la crête, mise en place de déflecteurs) pour rendre son instrumentation en hauteur d'eau possible. Il faut alors vérifier l'impact de l'aménagement sur l'aval : augmentation éventuelle du débit conservé pouvant être évitée en obturant en partie l'engouffrement dans la conduite conservée ; et sur l'amont : augmentation de la ligne d'eau à mettre en lien avec le risque de débordement (dans le cas d'une forte pente, la ligne d'eau en amont ne remonte cependant que sur quelques mètres au moyen d'un ressaut hydraulique, ce qui ne pose généralement pas de problème vis-à-vis de l'inondation).

4. EXEMPLES DE MISE EN ŒUVRE

4.1. Préambule

Trois exemples d'application sont présentés ci-dessous :

- Le déversoir de la Rue du Canal à Souffelweyersheim (Communauté Urbaine de Strasbourg) : ce premier exemple illustre la méthode de mesure du débit déversé à partir d'une mesure de hauteur d'eau ;
- Le déversoir Herbet à Clermont-Ferrand (Clermont Communauté) : ce deuxième exemple illustre l'utilisation de plusieurs capteurs pour fiabiliser la mesure du débit déversé ;
- Le déversoir La Pradelle à Clermont-Ferrand (Clermont Communauté) : ce troisième exemple illustre le type d'aménagements pouvant être effectué pour rendre un déversoir instrumentable selon la méthode présentée dans ce document.

4.2. Cas du déversoir de la Rue du Canal à Souffelweyersheim

Le déversoir de la Rue du Canal (Figure 5) est géré par la Communauté Urbaine de Strasbourg. Il présente deux entrées toutes deux quasiment parallèles à la crête de 4,5 m de longueur. La première entrée est un DN1300 de pente 0,2%, la seconde un DN700 de pente 0,2% également. La sortie conservée est localisée face aux entrées. La sortie est un DN500 posé à 0,2%.

La Figure 6 illustre un exemple de surface libre obtenu par simulation. On peut constater que la surface libre est tranquillisée et relativement uniforme : cet ouvrage se prête donc bien à l'instrumentation dans le cas où un lien direct entre un niveau caractérisant la surface libre et le débit déversé existe. Les treize simulations effectuées ont permis de montrer que ce lien existait et, une fois le positionnement du capteur d'eau choisi (voir la Figure 7), la loi hauteur-débit a pu être établie, ainsi qu'exprimée ci-dessous :

$$Q = -7,6910 \times h + 9,1677 \times h^{1,5} + \frac{0,1155}{h^{2,5}} \quad \text{Equation 1}$$



Figure 5. Photographies du déversoir de la Rue du Canal à Souffelweyersheim (Communauté Urbaine de Strasbourg)

Le zéro correspond ici au fond du déversoir. Selon les cas, il peut être plus intéressant de formuler des lois en hauteur de lame déversante, c'est-à-dire de hauteur mesurée par rapport à la crête ; cela peut en effet faciliter le réglage du zéro du capteur.

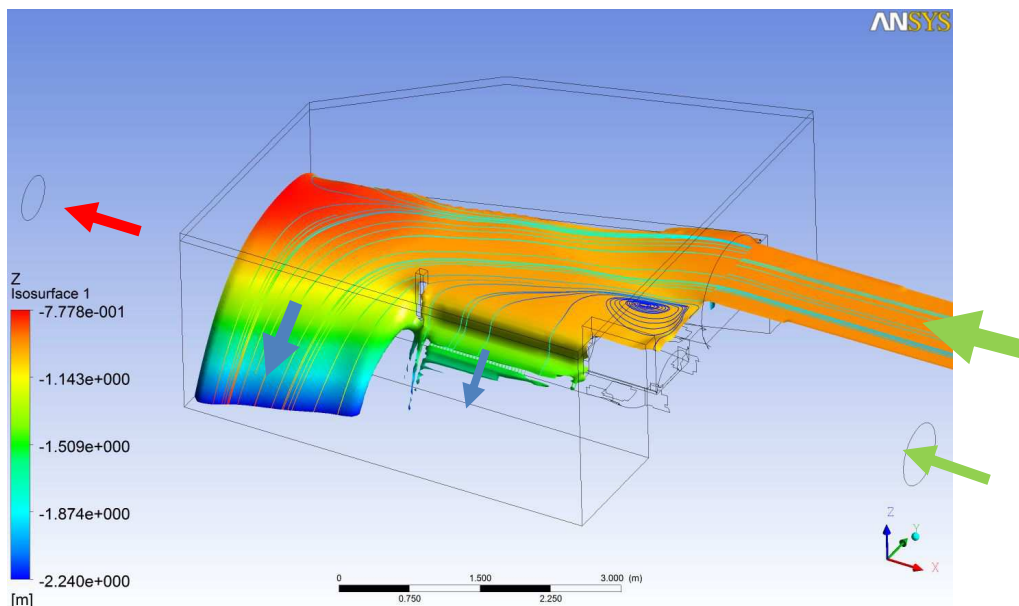
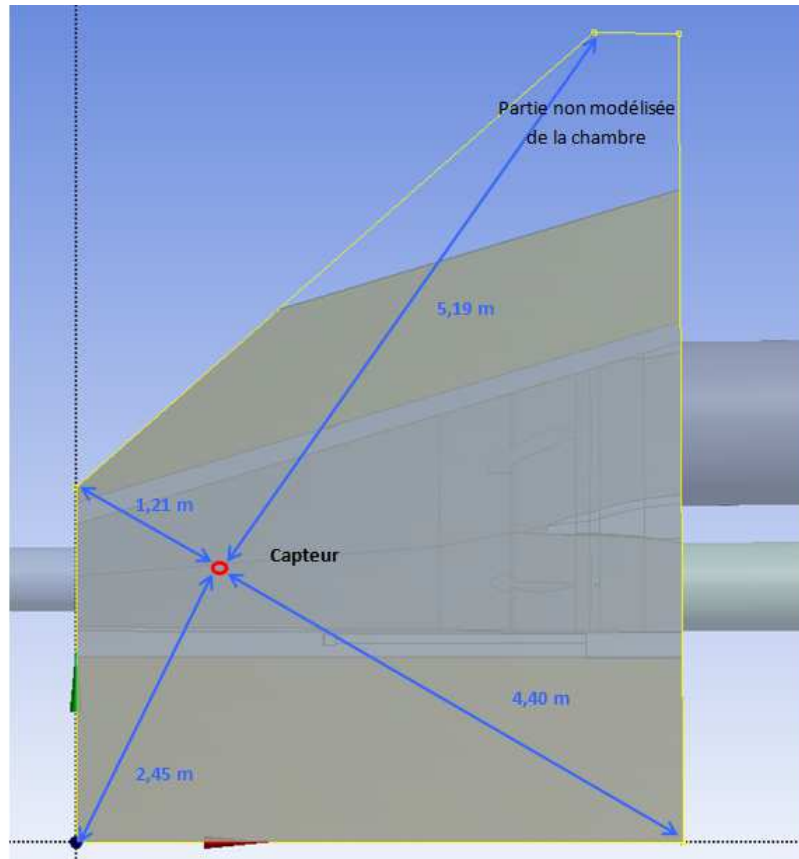


Figure 6. Surface libre pour un débit déversé de $2,25 \text{ m}^3/\text{s}$ (débits amont de $0,37$ et $1,92 \text{ m}^3/\text{s}$ et un débit conservé de $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$)



La Figure 8 illustre l'incertitude sur le débit déversé : autour de 25% aux faibles débits ; autour de 5% aux forts débits (environ 50 fois la pointe de temps sec).

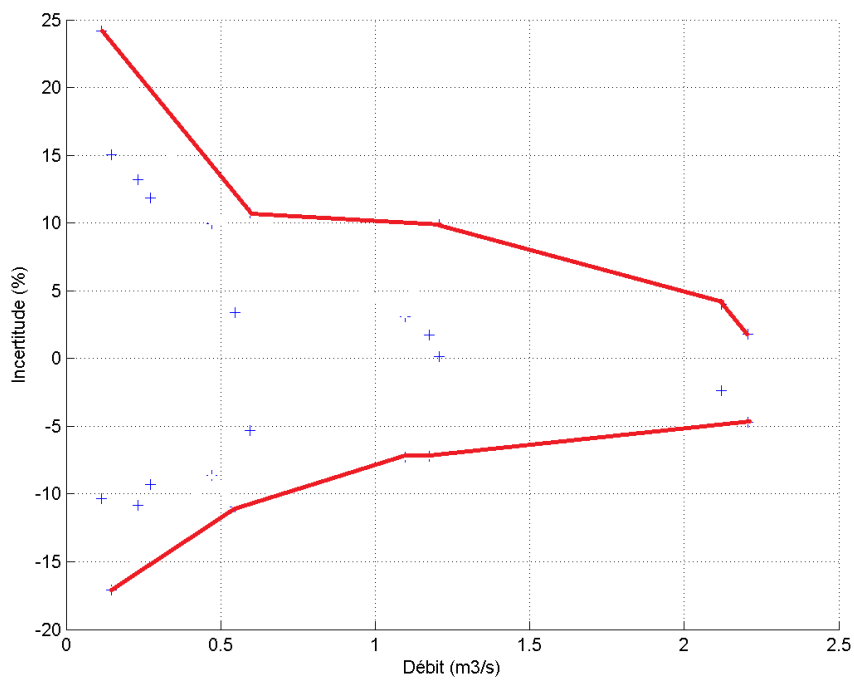


Figure 8. Incertitude sur la mesure du débit déversé

4.3. Cas du déversoir Herbert à Clermont-Ferrand

Le déversoir Herbert (Figure 9) est le plus important des déversoirs situés à Clermont-Ferrand (jusqu'à $4 \text{ m}^3/\text{s}$ en temps de pluie). La méthode présentée précédemment a été mise en œuvre sur cet ouvrage dans l'objectif de l'instrumenter uniquement à partir de capteurs de hauteur d'eau pour mesurer le débit déversé.

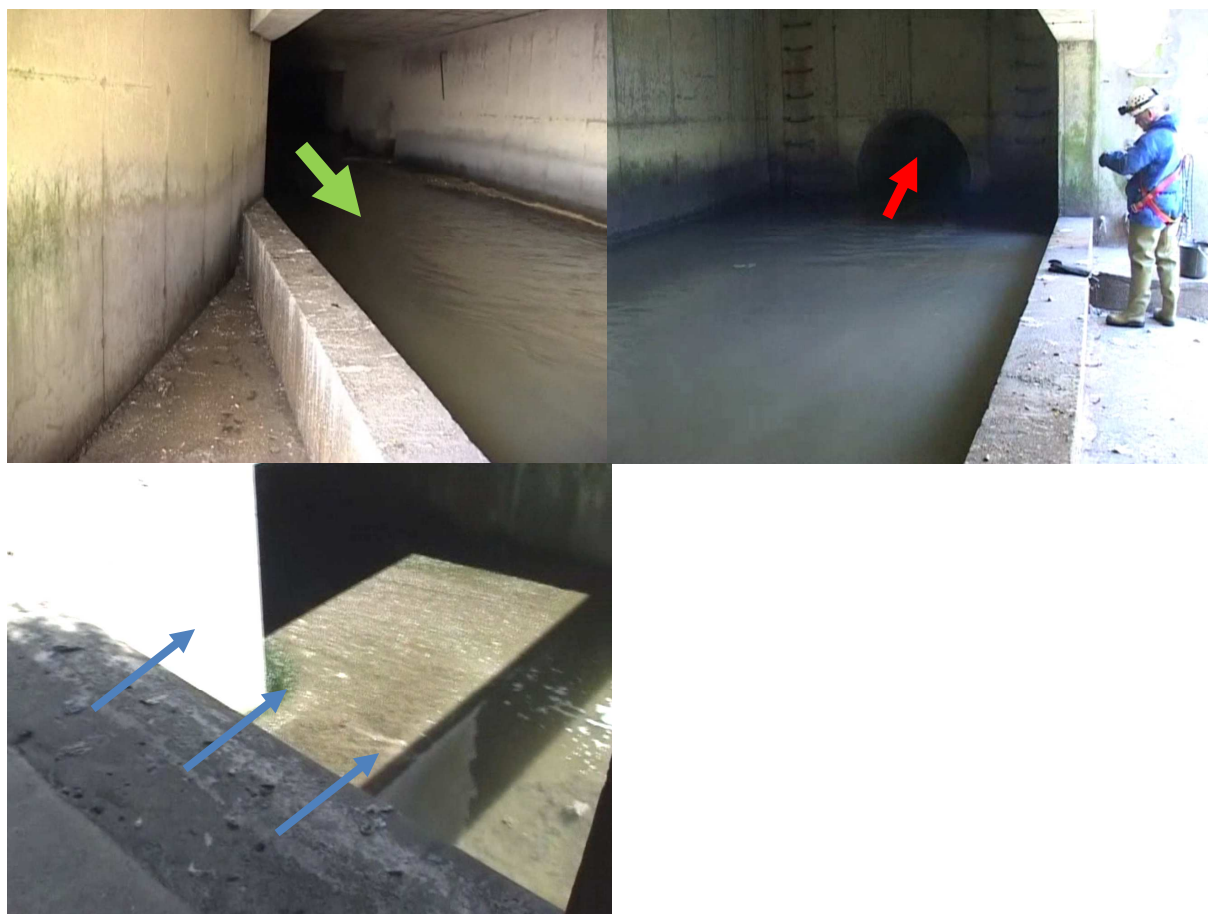


Figure 9. Photographies du déversoir Herbert (Clermont Communauté)

Le déversoir Herbert présente une crête de 10 m de long et de hauteur 20 cm à l'amont et 27 cm à l'aval ; elle a une largeur de 30 cm. À l'amont, un coude de 35° suivi d'une chute de 60 cm entraîne des perturbations dans l'écoulement, avec notamment la création d'un ressaut hydraulique de faible amplitude (ressaut ondulé, constaté sur site en temps sec) et d'une zone de dépôt à l'endroit où les vitesses sont plus faibles. À l'aval, une canalisation de DN1500 d'une longueur de 33 m débouche sur une canalisation DN1000, qui se met en charge pour les plus forts débits (influence sur l'amont).

Le Tableau 1 synthétise les différentes simulations effectuées.

Qdev (m³/s) \ Qav (m³/s)	0,25	0,50	0,75
3,00	3,25	3,50	3,75
1,50	1,75	2,00	2,25
0,70	0,95	1,20	1,45
0,30	0,55	0,80	1,05
0,10	0,35	0,60	0,85

Tableau 1. Synthèse des lois simulations pour le déversoir Herbet (Clermont Communauté)

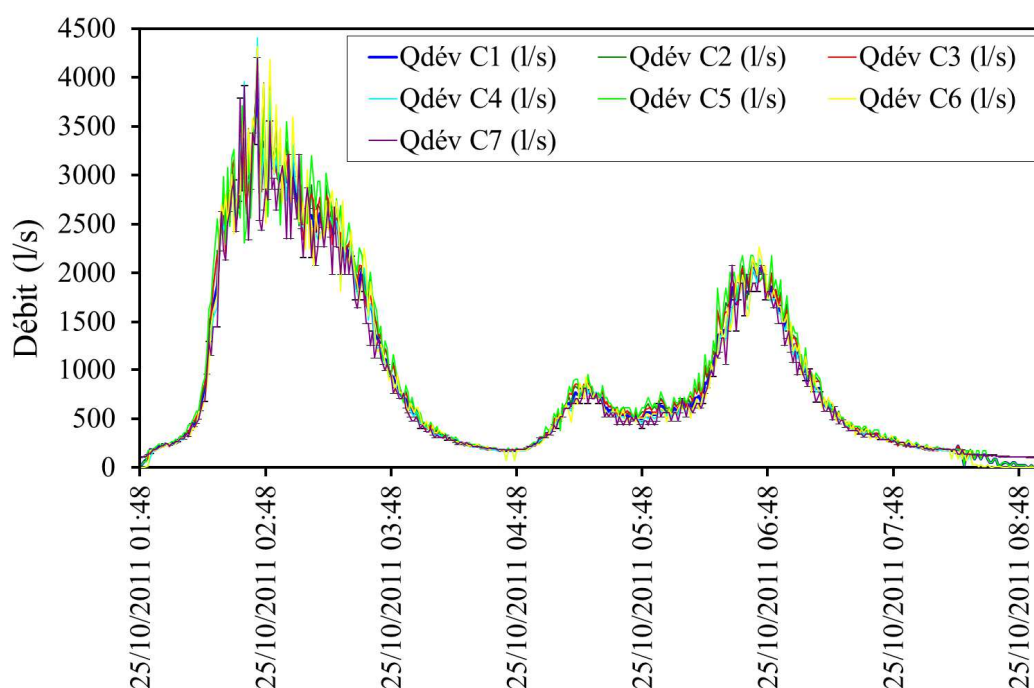


Figure 10. Tracés des Calculs du débit déversé avec les sept relations hauteur(s) - débit (voir le tableau 1) pour le déversoir Herbet (Clermont Communauté)

Avec les trois capteurs mis en place sur l'ouvrage, Clermont Communauté dispose de sept relations hauteur(s)-débit permettant de mesurer le débit déversé et aussi de diagnostiquer un éventuel disfonctionnement du capteur. La Figure 10 illustre respectivement le débit déversé calculé avec les sept relations. La période sur laquelle le débit est représenté correspond à un épisode pluvieux d'environ 7 heures. En temps de pluie, l'acquisition se fait à une fréquence d'une mesure toutes les minutes (un toutes les quinze minutes en temps sec afin de limiter la consommation énergétique des capteurs autonomes mis en place).

En utilisant ce calcul du débit pour la totalité de l'épisode pluvieux, le volume déversé peut être évalué : il est ici de 43 000 m³. Selon la loi hauteur(s)-débit utilisée pour évaluer ce volume, l'écart atteint au maximum 8%.

4.4. Cas du déversoir La Pradelle à Clermont-Ferrand

Le déversoir La Pradelle est constitué d'une crête de 3,5 m de long et de 32 cm de haut. La conduite amont correspond à un DN1600 et présente une très forte pente (15%), ce qui conduit à une surface libre impossible à instrumenter (voir la partie gauche de la Figure 11).

Pour résoudre cette difficulté, des aménagements ont été proposés (ici rehausse de la crête et mise en place de déflecteurs en amont). Avec ces aménagements (photographies sur la Figure 12), la surface libre devient instrumentable, ainsi qu'illustré sur la partie droite de la Figure 11.

On voit sur la partie droite de la Figure 12 le capteur de hauteur d'eau utilisé pour la mesure.

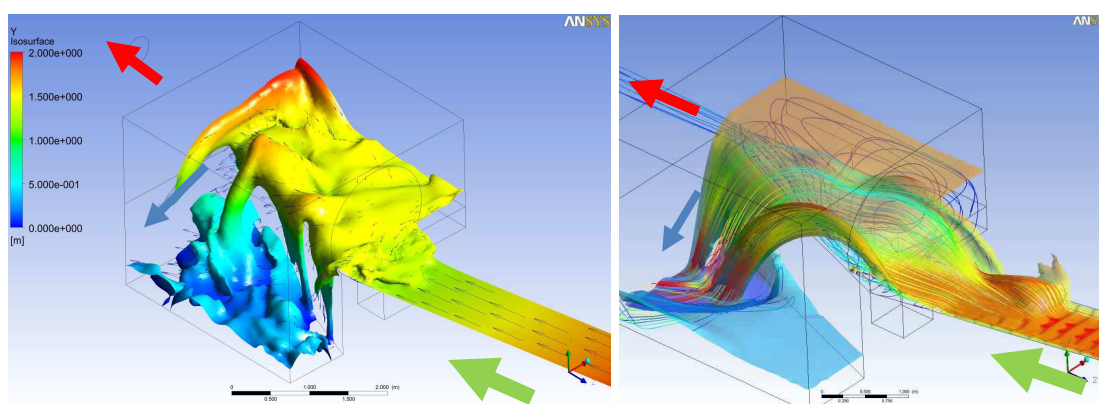


Figure 11. Comparaison de la surface libre avant (à gauche) et après aménagements (à droite) sur le déversoir La Pradelle (Clermont Communauté)

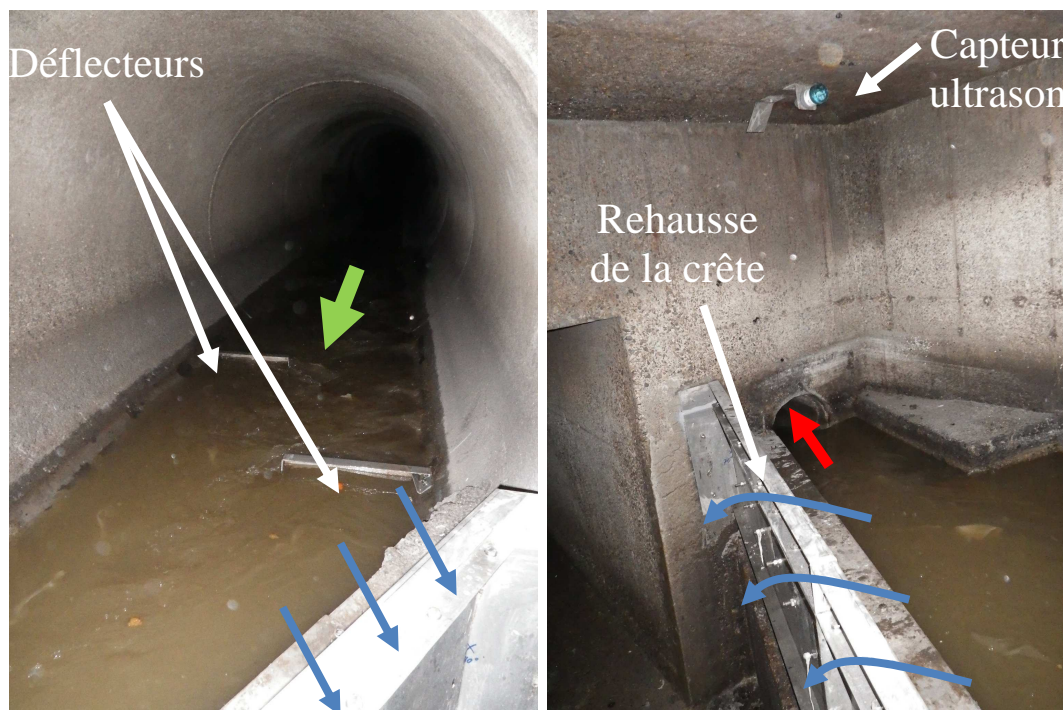


Figure 12. Aménagements effectués sur le déversoir La Pradelle (Clermont Communauté) : à gauche, vue des deux déflecteurs positionnés en amont ; à droite, vue de la rehausse de la crête

5. CONCLUSION

Ce guide technique a présenté une méthode de détermination du débit déversé à partir de la mesure d'une ou plusieurs hauteurs d'eau au niveau d'un déversoir d'orage.

Cette méthode peut se résumer ainsi :

Avantages	Inconvénients
Utilise uniquement des capteurs de hauteurs, de préférence sans contact (ultra-sons aériens) => Peu de maintenance	Nécessité d'une étude spécifique à chaque ouvrage
Calcul du débit réalisable en temps réel par des moyens classiques (automate, centrale d'acquisition...) en phase d'exploitation	Mobilisation de moyens de calcul et de compétences hydrauliques pour construire les relations hauteurs-débit
Maitrise de l'incertitude sur le débit déversé induite par la méthode de calcul	
Possibilité de redondance, de diagnostic de dysfonctionnement de la mesure et de fonctionnement dégradé (si plusieurs capteurs)	
Nécessite des compétences hydrauliques (les autres méthodes aussi...)	

Tableau 2. Avantages et inconvénients de la méthode de mesure du débit déversé à partir de hauteurs d'eau au niveau d'un déversoir

Dans le cas d'un déversoir pour lequel aucune zone n'est directement instrumentable en hauteur d'eau, dans certains cas, des aménagements peuvent être optimisés pour rendre cette mesure possible.

6. RÉFÉRENCES

- Bertrand-Krajewski J-L., Laplace D., Joannis C., Chebbo G. (2001). *Mesures en hydrologie urbaine et assainissement*. Editions Tec & Doc.
- Isel S., Dufresne M., Bardiaux J-B., Fischer M., Vazquez J. (2013). *CFD based assessment of discharge-water depth relationships for CSOs*. Urban Water, article accepté en cours de parution.
- ISO (2008). *Hydrometry - Open-channel flow measurement using thin-plate weirs*. [Hydrométrie - Mesure du débit dans les canaux découverts au moyen de déversoirs à paroi mince]. International Organization for Standardization, ISO 1438:2008.
- ISO (2010). *Hydrometry - Guidelines for the application of acoustic velocity meters using the Doppler and echo correlation methods*. [Hydrométrie – Lignes directrices pour l'application des compteurs de vitesse ultrasoniques fixes utilisant l'effet Doppler et la corrélation d'échos]. International Organization for standardization, ISO 15769:2010.
- Joannis C., Vazquez J., Zug M., (2009) *W690.1 Fonctions et typologie des déversoirs d'orages*. L'encyclopédie « Les Techniques de l'Ingénieur » (ETI Sciences et Techniques). <http://www.techniques-ingenieur.fr/book/w6901/fonctions-et-typologie-des-deversoirs-d-orage.html>

