



HAL
open science

**Améliorer la connaissance et la surveillance du réseau
avec le déploiement de la métrologie et de
l'autosurveillance, en particulier au niveau des
principaux déversoirs d'orage de la communauté
d'agglomération Vichy-Val d'Allier**

Alicia Adrovic

► **To cite this version:**

Alicia Adrovic. Améliorer la connaissance et la surveillance du réseau avec le déploiement de la métrologie et de l'autosurveillance, en particulier au niveau des principaux déversoirs d'orage de la communauté d'agglomération Vichy-Val d'Allier. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2019. dumas-03549733

HAL Id: dumas-03549733

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03549733v1>

Submitted on 31 Jan 2022

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.

**Mémoire de fin d'études présenté pour l'obtention du
Diplôme d'Ingénieur de l'ENGEES**

Spécialité : Hydraulique Urbaine

**Améliorer la connaissance et la surveillance du
réseau avec le déploiement de la métrologie et de
l'autosurveillance, en particulier au niveau des
principaux déversoirs d'orage de la communauté
d'agglomération Vichy Val d'Allier**

Réalisé par Alicia ADROVIC
Promotion Grand Lyon 2016-2019

Travail de fin d'études effectué à 3D EAU Strasbourg
du 10/01/2019 au 05/07/2019

Soutenu le 02/07/2019

Maître de stage : Mme Sandra ISEL
Réfèrent ENGEES : M. Gilles ISENMANN

Remerciements

Je souhaite remercier toutes les personnes qui ont coopéré avec moi durant ce stage au sein de l'équipe de 3D EAU.

Dans un premier temps, je souhaite remercier Jonathan Wertel de m'avoir donné la possibilité d'effectuer mon travail de fin d'études à 3D EAU et de m'avoir accueilli dans son équipe à Paris.

Ensuite, je tiens à remercier mon maître de stage Sandra Isel pour son encadrement, son aide et sa disponibilité durant ces 6 mois de stage.

Je tiens à remercier également Matthieu Dufresne pour son accueil à 3D EAU Strasbourg, ses conseils et sa disponibilité tout au long du stage.

Je remercie également José Vazquez pour son aide en programmation et ainsi que sa disponibilité.

Je tiens à remercier toute l'équipe de 3D EAU pour leur accueil et leur confiance pendant ces 6 mois passés avec eux.

Je remercie Jean-Bernard Bardiaux pour ses précieux conseils sur les incertitudes et son temps passé avec Sandra et moi. Je tiens à remercier également Thierry Schaetzle pour sa disponibilité lors de mes recherches bibliographiques.

Enfin, je souhaite remercier toute l'équipe de la communauté d'agglomération de Vichy Val d'Allier pour leur collaboration et leur disponibilité tout au long de l'étude.

Résumé

Améliorer la connaissance et la surveillance du réseau avec le déploiement de la métrologie et de l'autosurveillance, en particulier au niveau des principaux déversoirs d'orage de la Communauté d'Agglomération Vichy Val d'Allier.

La réglementation de l'assainissement a beaucoup évolué en imposant aux collectivités la surveillance de certains ouvrages dans le but d'améliorer et protéger la qualité de l'eau du milieu récepteur.

L'autosurveillance est mise en place pour répondre aux obligations de résultat imposées par la réglementation, mais aussi dans le but d'avoir une meilleure connaissance des déversements et du fonctionnement du réseau. L'autosurveillance génère un nombre important de données et ces données ne sont pas forcément exploitées de façon exhaustive par les collectivités. En plus de pouvoir vérifier des critères de conformités, de nombreuses autres informations peuvent en être extraites pour détecter des anomalies rencontrées dans le réseau d'assainissement, comprendre son fonctionnement et en améliorer la gestion.

Pour aider les collectivités à traiter leurs données d'autosurveillance, trois outils d'analyse de données ont été développés durant ce travail de fin d'études. Dans un premier temps, le premier outil d'analyse de pluie permet de caractériser les pluies présentes sur le territoire d'étude durant une période. Ensuite, le deuxième outil a pour but d'analyser séparément le comportement de chaque déversoir durant cette période en étudiant notamment les déversements provoqués par les pluies caractérisées dans le premier outil. Enfin, le dernier outil vise à réaliser une analyse complète du réseau, en étudiant les interactions entre les ouvrages et à en extraire un maximum d'informations sur le fonctionnement du réseau, en se basant notamment sur l'agrégation des résultats des 2 premiers outils.

Abstract

Improving knowledge and monitoring of the sewer network by deploying a dedicated metrology and self-monitoring; application to the main combined sewer overflows of the Vichy Val d'Allier Urban Community.

The regulation of sanitation has evolved considerably by requiring communities to monitor certain hydraulic structures in order to improve and protect the water quality of the receiving environment.

Self-monitoring is set up to meet the performance requirements imposed by regulations but also with the aim of gaining a better knowledge of overflows and the functioning of the network. Self-monitoring generates a significant amount of data and this data is not always analysed exhaustively by communities. In addition to being able to calculate overflow volumes and compliance criteria, much other information can be extracted to detect anomalies in the sewer system, understand how the system works and improve its management.

To help local authorities process their data, three data analysis tools were developed during this internship. First, the rain analysis tool is used to characterize the rains occurring in the study area over a period of time. Then, the second tool aims to analyze separately the behavior of each combined sewer overflow (CSO) during this period by studying in particular the overflows caused by the rains characterized in the first tool. Finally, a complete analysis of the network is carried out in the third tool, by studying the interactions between the CSOs and providing as much information as possible on the functioning of the network. It relies therefore on the results of the two previous tools run separately on each hydraulic structure.

Table des matières

Table des figures.....	4
Table des tableaux.....	5
Liste des abréviations.....	5
Glossaire	6
 Introduction.....	 7
Contexte et objectifs.....	8
1. Contexte global	8
1.1. Cadre juridique.....	8
1.2. L'importance de la collecte des données d'autosurveillance.....	11
2. Contexte de l'étude de cas de Vichy Val d'Allier	14
3. Contexte au sein de l'entreprise.....	16
4. Objectifs	16
 Outil d'analyse des pluies	 17
1. Hypothèses préalables.....	17
2. Présentation de l'outil.....	18
3. Méthodologie de l'outil	19
4. Application de l'outil à la communauté de commune de Vichy Val d'Allier	22
5. Conclusion de l'application de l'outil 1	25
Outil d'analyse d'un déversoir.....	26
1. Présentation de l'outil.....	26
2. Méthodologie de l'outil.....	26
3. Application de l'outil à Vichy	31
3.1. Validation triviale des données	31
3.2. Analyse « métier » des données.....	37
3.3. Conclusion de l'application de l'outil d'analyse d'un déversoir sur un site grandeur nature	44
 Outil d'analyse du réseau	 45
1. Présentation de l'outil.....	45
2. Méthodologie de l'outil	45
3. Application au cas de Vichy	45
3.1. Hiérarchisation des ouvrages.....	46
3.2. Volume et temps de déversement	46
3.3. Critère de conformité du système de collecte.....	48
3.4. Confrontation des mesures au niveau des DO avec l'analyse des pluies : combinaison de l'outil 1 et 2.....	49
3.5. Étude de l'influence aval du déversoir Lac d'Allier	51
3.6. Critiques des résultats.....	52
3.7. Prédiction d'une chronique de hauteur	53
3.8. Conclusion de l'application de l'outil 3	57
 Conclusion et perspectives	 58
 Bibliographie.....	 60
 Annexes.....	 1

Table des figures

Figure 1 : Synthèse de l'expertise des données.....	14
Figure 2 : Disponibilité des données de Vichy Val d'Allier	16
Figure 3 : Présentation des niveaux de service (CEREMA, et al., 2014).....	17
Figure 4 : Exemple de découpage d'évènements pluvieux à Entzheim (STIEBER, et al., 1999).....	18
Figure 5 : Présentation de l'outil d'analyse de pluies	19
Figure 6 : Exemple d'une courbe Intensité-Fréquence-Durée (IDF) (VAZQUEZ, 2016)	20
Figure 7 : Exemple de courbes IDF	20
Figure 8 : Logigramme de l'outil d'analyse des pluies	21
Figure 9 : Hyétogramme enregistré à Vichy (station de Bel-Air) et cumul des précipitations.....	22
Figure 10 : Courbes IDF de certains évènements pluvieux de Vichy pour des durées inférieures à 120 minutes. .	23
Figure 11 : Courbes IDF de certains évènements pluvieux de Vichy pour des durées supérieures à 120 minutes.	23
Figure 12 : Nombre d'évènements pluvieux par période de retour et par période d'observation	24
Figure 13 : Hauteur précipitée cumulée en fonction de la durée de la pluie en cumul.....	25
Figure 14 : Logigramme de l'outil d'analyse de déversoir	30
Figure 15 : Chronique de hauteurs du déversoir Lac d'Allier	31
Figure 16 : Chronique de hauteurs du déversoir Sichon	32
Figure 17 : Lame déversante DO Lac d'Allier	32
Figure 18 : Hauteur surverse DO Bel-Air.....	33
Figure 19 : Lame déversante DO Alexandre sans modification	33
Figure 20 : Lame déversante DO Alexandre après modification.....	34
Figure 21 : Lame déversante DO Charles de Gaulle	34
Figure 22 : Chronique de débits déversés DO Bel-Air	35
Figure 23 : Données de hauteurs et de surverse du DO Cusset.....	35
Figure 24 : Déversement observé uniquement par le détecteur de surverse	36
Figure 25 : Déversement non observé par le détecteur de surverse	36
Figure 26 : Schéma du déversoir Lac d'Allier avec l'emplacement des capteurs de hauteur.....	38
Figure 27 : Représentation d'un écoulement noyé (VAZQUEZ, 2016)	38
Figure 28 : Rapport h2/h1 du déversoir Lac d'Allier	38
Figure 29 : Chroniques de hauteurs du déversoir Lac d'Allier avec seuil de déversement	39
Figure 30 : Volume déversé (%) par classe d'incertitude sur le débit	40
Figure 31 : Volume déversé par période de retour du déversoir Lac d'Allier.....	41
Figure 32 : Taux de remplissage de la conduite conservée du déversoir Lac d'Allier pour une pluie du niveau de service N2.....	42
Figure 33 : Taux de remplissage de la conduite conservée du déversoir Lac d'Allier pour le niveau de service N3	42
Figure 34 : Déversements non comptabilisés par le détecteur de surverse du déversoir Lac d'Allier.....	43
Figure 35 : Nombre de déversements par déversoir	46
Figure 36 : Part de chaque déversoir sur le volume déversé.....	46
Figure 37 : Part de chaque déversoir sur le temps de déversement.....	46
Figure 38 : Volume déversé cumulé des principaux déversoirs sur la période d'étude	47
Figure 39 : Localisation du terrain naturel, seuil et fil d'eau pour les déversoirs.....	48
Figure 40 : Volume déversé total par déversoir associé à une incertitude	48
Figure 41 : Boîte à moustache représentant l'intensité moyenne des pluies engendrant un déversement par déversoir	49
Figure 42 : Boîte à moustache représentant la durée totale des pluies engendrant un déversement par déversoir	50
Figure 43 : Volume déversé / PdR pour les déversoirs Lac d'Allier et Cusset pour une durée intense de 30 minutes	51
Figure 45 : Taux de remplissage de la conduite déversée du déversoir Sichon par rapport au volume déversé du déversoir Lac d'Allier.....	51
Figure 46 : Nombre de déversements recalculés à l'aide des données de surverse.....	52
Figure 47 : Part de chaque déversoir sur le nombre de déversements	53
Figure 48 : Part de chaque déversoir sur le temps de déversement.....	53
Figure 49 : Part de chaque déversoir sur le volume déversé total.....	53
Figure 50 : Chronique de hauteurs des déversoirs Résistance, Lac d'Allier et Cusset.....	54
Figure 51 : Schéma du réseau de neurones utilisé.....	55
Figure 52 : Régression de l'apprentissage du réseau de neurones.....	55
Figure 53 : Schéma du réseau avec une couche de 10 neurones testés en temps de pluie.....	55
Figure 54 : Erreur et écart entre les données apprises par le réseau et les données de sortie	56

Figure 55 : Régression de l'apprentissage du réseau de neurones à une couche de 10 neurones en temps de pluie	56
Figure 56 : Erreur et écart entre les données apprises par le réseau à 2 couches et 10 neurones et les données de sortie.....	56
Figure 57 : Régression de l'apprentissage du réseau de neurones à 2 couches et 10 neurones en temps de pluie	56
Figure 58 : Validation du réseau de neurones (vert : données réelles - bleu : données prédites)	57
Figure 59 : Méthodologie utilisée pour l'analyse de données.....	58

Table des tableaux

Tableau 1 : Résultat de conformité selon différents scénarios	11
Tableau 2 : Obligation d'autosurveillance des points A1 et A2 selon l'arrêté du 21 juillet 2015.....	12
Tableau 3 : Caractéristiques des ouvrages de Vichy Val d'Allier	15
Tableau 4 : Étude statistique des pluies de l'étude	22
Tableau 5 : Caractéristiques de 2 pluies observées à Vichy Val d'Allier.....	24
Tableau 6 : Résumé de la validation des données et des problèmes rencontrés dans l'analyse triviale.....	37
Tableau 7 : Résultat de l'analyse pour le déversoir Lac d'Allier	39
Tableau 8 : Nombre de déversements et volume déversé par niveau de service.....	41
Tableau 9 : Résultats de l'analyse du déversoir Lac d'Allier recalculés à l'aide des données de surverse	43
Tableau 10 : Résultat du critère de conformité sur le volume	49
Tableau 11 : Caractéristique des pluies causant un déversement.....	50
Tableau 12 : Matrice des corrélations entre les différents volumes déversés.....	52

Liste des abréviations

ACP : Analyse en Composante Principale

CdG : Charles de Gaulle

DBO5 : Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours

DCE : Directive Cadre sur l'EAU

DERU : Directive relative au traitement des Eaux Urbaines Résiduaires

DGALN : Direction Générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature

DO : Déversoir d'Orage

EH : Equivalent Habitant

EP : Eaux Pluviales

IDF : Intensité – Durée – Fréquence

LEMA : Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques

SANDRE : Système d'Assainissement du service d'administration Nationale des Données Référentielles sur l'Eau

SATESE : Syndicat d'Assistance Technique pour l'Épuration et le Suivi des Eaux

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

US : Ultrason

Glossaire

Agglomération d'assainissement : conformément à la directive 91/271/CEE relative au traitement des eaux résiduaires urbaines et à l'article R. 2224-6 du code général des collectivités territoriales, une zone dans laquelle la population et les activités économiques sont suffisamment concentrées pour qu'il soit possible de collecter les eaux usées pour les acheminer vers une station de traitement des eaux usées et un point d'évacuation finale. Dans certains cas, les eaux usées d'une même agglomération peuvent être acheminées vers plusieurs stations de traitement des eaux usées et donc avoir plusieurs points d'évacuation finale.

Charge brute de pollution organique (CBPO) : conformément à l'article R. 2224-6 du code général des collectivités territoriales, le poids d'oxygène correspondant à la demande biochimique en oxygène sur cinq jours (DBO5) calculé sur la base de la charge journalière moyenne de la semaine au cours de laquelle est produite la plus forte charge de substances polluantes dans l'année. La CBPO permet de définir la charge entrante en station et la taille de l'agglomération d'assainissement.

Déversoir d'orage : tout ouvrage équipant un système de collecte en tout ou partie unitaire et permettant, en cas de fortes pluies, le rejet direct vers le milieu récepteur d'une partie des eaux usées circulant dans le système de collecte. Un trop-plein de poste de pompage situé à l'aval d'un secteur desservi en tout ou partie par un réseau de collecte unitaire est considéré comme un déversoir d'orage aux fins de l'arrêté du 21 juillet 2015.

Déversoir en tête de station : ouvrage de la station de traitement des eaux usées permettant la surverse de tout ou partie des eaux usées vers le milieu récepteur avant leur entrée dans la filière de traitement.

Milieu récepteur : un écosystème aquatique, ou un aquifère, où sont rejetées les eaux usées, traitées ou non. Un milieu récepteur correspond généralement à une partie de masse d'eau ou une zone d'alimentation de masse d'eau.

Système de collecte : un réseau de canalisations (et ouvrages associés) qui recueille et achemine les eaux usées depuis la partie publique des branchements particuliers, ceux-ci compris, ou depuis les immeubles à assainir dans le cas d'une installation d'assainissement non collectif, jusqu'au point de rejet dans le milieu récepteur ou dans la station de traitement des eaux usées.

Référentiel SANDRE : Le référentiel Sandre est le langage commun français des données et référentiels sur l'eau pour le Système d'Information sur l'Eau (SIE) du Service d'administration nationale des données et référentiels sur l'eau (SANDRE) conformément au décret no 2009-1543 du 11 décembre 2009.

Introduction

Les réseaux d'assainissement ont commencé à être équipés dès les années 90 pour répondre à l'obligation de moyens imposée par la Directive relative au traitement des eaux urbaines (DERU, 1991), c'est-à-dire que les collectivités devaient mettre tous les moyens en œuvre pour arriver à une bonne qualité des eaux sans obligation d'arriver au résultat (DEMOGUE, 1925).

La qualité des eaux ne s'améliorant pas, la réglementation a imposé en 2015 une obligation de résultat aux collectivités. Les collectivités s'engagent alors à atteindre le bon état des eaux sans défaillance d'ici 2021. Les collectivités ont ainsi une obligation de quantifier et d'analyser leurs données issues de l'autosurveillance.

Certaines collectivités ont des difficultés lors de la mise en place de la surveillance de leur réseau. Ces difficultés peuvent être liées à un manque de compétences, de personnels et/ou de temps (LAPLACE, et al., 2009).

Une fois l'autosurveillance mise en place, les collectivités récupèrent un grand nombre de données. Ces données sont valorisées pour plusieurs raisons :

- Le respect des lois en vigueur pour le maintien de la prime de l'épuration,
- La planification des interventions et des travaux dans le but de réduire les déversements et améliorer la qualité du milieu récepteur,
- La gestion en temps réel du système d'assainissement en temps sec et en temps de pluie.

De plus, les données de mesures issues de l'autosurveillance permettent à la police et l'agence de l'eau de contrôler l'efficacité et la bonne gestion du système de collecte (LAPLACE, et al., 2009).

Pour une bonne analyse des données et donc une bonne compréhension du fonctionnement du réseau d'assainissement, une validation des données est nécessaire. Les données peuvent être validées manuellement ou automatiquement par les collectivités elles-mêmes ou par des prestataires. Un historique de données et une bonne connaissance du réseau aident à détecter des incohérences de données.

Le travail de fin d'études a pour ambition d'améliorer la connaissance et la surveillance du réseau avec le déploiement de la métrologie et de l'autosurveillance, en particulier au niveau des principaux déversoirs d'orage de la Communauté d'Agglomération Vichy Val d'Allier.

Pour se faire, trois outils d'analyse de données ont été développés et appliqués au cas de Vichy Val d'Allier. Avant de présenter ces outils, il est nécessaire de présenter le contexte réglementaire vis-à-vis de l'autosurveillance ainsi que le contexte de l'étude pour la Communauté d'Agglomération Vichy Val d'Allier et pour l'entreprise 3D EAU.

Contexte et objectifs

1. Contexte global

Les différentes mesures (pluie, hauteur, vitesse, pollution...) sont essentielles pour contrôler le fonctionnement du système d'assainissement, mais aussi pour le comprendre et l'améliorer.

La réglementation de l'assainissement impose des mesures dans le système d'assainissement depuis la fin du 20^{ème} siècle jusqu'en 2015, date du dernier arrêté en vigueur.

L'objectif de cette partie est de passer en revue l'évolution de la réglementation de l'assainissement, mais aussi les obligations des collectivités en termes d'analyse et validation de données.

1.1. Cadre juridique

1.1.1. Les premiers textes fondateurs (1991-1994)

Dans le but de protéger la pollution des eaux due aux rejets des eaux résiduaires, l'Union Européenne met en place le 21 mai 1991 une directive relative au traitement des eaux urbaines résiduaires (DERU). Cette directive fixe des obligations concernant :

- la collecte,
- le traitement,
- le rejet des eaux urbaines résiduaires.

L'Union Européenne fixe des échéances de mise en conformité en termes de systèmes de collecte et de traitement primaires et secondaire selon la taille des agglomérations d'assainissement et la sensibilité du milieu récepteur.

La DERU définit un cadre et un objectif global, mais libre à chaque pays membre de retranscrire ce cadre et cet objectif dans leur système législatif selon la spécificité de chaque État membre.

- *Transposition de la directive au droit français : Loi sur l'eau (1992)*

Ainsi en 1992, la loi sur l'eau transpose la directive de 1991 dans le droit français et donne de nouvelles compétences et obligations en matière d'assainissement aux communes. La loi sur l'eau prévoit notamment un schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE), définissant des méthodes de gestions des eaux pluviales et des eaux usées par zone, en prenant appui sur différents codes juridiques. Par ailleurs, ces programmes d'assainissement devront être pris en compte dans les différents documents d'urbanisme.

- *Définition des modalités de la loi : Arrêté du 22 décembre 1994*

En application de la loi sur l'eau de 1992, l'arrêté du 22 décembre 1994 est décidé afin de « fixer les prescriptions techniques minimales relatives aux ouvrages de collecte et de traitement des eaux usées mentionnées aux articles L. 372-1-1 et L.372.3 du Code des communes » (MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT, 1994).

L'arrêté dispose que les réseaux de collecte d'eau usée et les ouvrages hydrauliques doivent être « conçus, réalisés, exploités, entretenus et réhabilités » en tant qu'une seule unité technique afin de minimiser leurs effets additionnels sur le milieu récepteur. L'arrêté de 1994 fixe les premières normes de rejets (nombre moyen de déversements, concentrations admises) à atteindre en cas de déversement dans le milieu naturel, mais également les obligations de surveillance des déversoirs d'orage véhiculant une charge brute de pollution organique supérieure à 6 000 kg/jour.

1.1.2. La réglementation à partir des années 2000

En 2000, une nouvelle directive européenne, dite Directive Cadre sur l'Eau (DCE), voit le jour. Elle a pour but d'établir une politique globale visant à protéger et améliorer la qualité de l'eau, car la surveillance des milieux récepteurs des États membres est insuffisante.

Un des objectifs de la DCE est d'atteindre un bon état des masses d'eau, d'un point de vue écologique et chimique, d'ici 2015. La DCE souhaite la protection des milieux aquatiques et de la ressource en eau.

- *Transposition de la directive au droit français : Loi sur l'eau et les milieux aquatiques (2006)*

Pour faciliter l'application de la DCE, la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) de 2006 a pour objectif d'atteindre le bon état des eaux en France d'ici 2015.

La LEMA souhaite préserver la qualité écologique des cours d'eau. En effet, les milieux aquatiques doivent être entretenus grâce aux techniques douces et les continuités écologiques doivent être préservées pour les migrations de la faune, mais également pour le transport sédimentaire. Par ailleurs, le débit minimum des ouvrages hydrauliques ne doit pas impacter les besoins écologiques.

- *Définition des modalités de loi : Arrêté du 22 juin 2007*

Pour donner suite à la LEMA, l'arrêté du 22 juin 2007 est décidé afin de « fixer les prescriptions techniques minimales applicables à la collecte, au transport, au traitement des eaux usées des agglomérations d'assainissement ainsi qu'à la surveillance de leur fonctionnement et de leur efficacité » (MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, 2007).

L'arrêté dispose que les systèmes de collecte des eaux usées doivent être équipés de dispositifs de mesure au plus tard le 1^{er} janvier 2010. La mesure de débit est nécessaire dans les emplacements caractéristiques du réseau, notamment le débit déversé par le déversoir d'orage (DO) situé en tête de station. Une surveillance des systèmes de collecte des eaux usées et des stations d'épuration doit être mise en place dans les agglomérations d'assainissement pour maintenir et vérifier l'efficacité du système de collecte et du milieu récepteur.

Pour compléter cet arrêté et la DCE, un programme de surveillance de l'état des eaux est défini le 25 janvier 2010 fixant les critères à respecter pour atteindre le bon état des masses d'eau. Par exemple, les critères physico-chimiques des eaux doivent être respectés 90% du temps.

Ainsi les différents textes juridiques ne précisaient pas quelle grandeur devait être mesuré précisément dans le système de collecte, mais définissaient les objectifs à atteindre concernant la collecte de résultats de mesure, de répertorier les acteurs concernés par la mise en place des dispositifs de mesure et les résultats qui en résultent (LAPLACE, et al., 2009).

1.1.3. La réglementation applicable aujourd'hui

En 2015, l'arrêté de 2007 est remplacé par un nouvel arrêté. L'objectif principal de ce nouvel arrêté est la mise en œuvre d'une gestion rigoureuse et pragmatique du patrimoine de l'assainissement par les collectivités. De nouvelles prescriptions techniques relatives aux systèmes d'assainissement collectif et non collectif sont fixées par l'arrêté du 21 juillet 2015 (et la note technique associée du 07/09/2015), conformes aux différents textes cités ci-dessus.

Les principes généraux de l'arrêté du 21 juillet 2015 sont les suivants :

- Réaffirmer le système d'assainissement comme périmètre pertinent,
- Coordonner les prescriptions techniques des systèmes d'assainissement collectif et non collectif de tailles similaires,

- Confirmer les obligations réglementaires en matière de collecte et de traitement des eaux usées par temps sec et temps de pluie : surveillance, performances ...
- Préciser les règles pour évaluer la conformité réglementaire des systèmes d'assainissement,
- Engager une obligation de diagnostic (permanent et périodique) du système d'assainissement,
- Encourager la gestion des eaux pluviales le plus en amont dans le cas d'un réseau unitaire.

Pour la suite de l'étude, il est nécessaire de préciser l'évaluation de la conformité des systèmes d'assainissement.

➤ Conformité en temps sec

L'arrêté du 21 juillet 2015 dispose qu'en temps sec, aucun déversement ne doit avoir lieu au niveau du système de collecte.

➤ Conformité en temps de pluie

En cas de situations inhabituelles, notamment en cas de forte pluie, des déversements peuvent être tolérés. Le système de collecte est alors conforme par temps de pluie, si au moins un des trois critères est respecté :

- Moins de 5% des volumes d'eaux usées générés par l'agglomération sont déversés directement au milieu naturel ;
- Moins de 5% des flux de pollution générés par l'agglomération sont déversés directement au milieu naturel ;
- Moins de 20 déversements / an au droit de chaque déversoir d'orage de taille supérieure à 2 000 EH.

Remarque :

- La formule définissant la conformité pour les deux premiers critères est la suivante :

$$\frac{\sum \text{Volumes ou flux de pollution des points A1}}{\sum \text{Volumes ou flux de pollution des points A1 + A2 + A3}} * 100 \leq 5\%$$

Avec :

- ❖ Point A1 : déversoir d'orage ou trop-plein du système de collecte soumis à autosurveillance.
- ❖ Point A2 : déversoir en tête de station de traitement des eaux usées.
- ❖ Point A3 : entrée de la station de traitement des eaux usées.

La définition des points au format SANDRE est présentée en Annexe 1.

- Un jour de déversement est défini comme :
 - Un déversement continu durant moins de 24h, y compris lorsque celui-ci commence avant minuit et se termine après minuit ;
 - Plusieurs déversements successifs dans une même journée.

Les critères sont examinés avec les résultats de l'autosurveillance sur une période de 5 ans, une moyenne glissante est effectuée pour prendre en compte la variabilité de la pluviométrie.

Les agglomérations d'assainissement doivent retenir un critère et le respecter pour être conformes. Une fois le critère retenu, celui-ci reste le même d'une année sur l'autre.

Plusieurs scénarios peuvent amener à une non-conformité, en cours de mise en conformité ou à une conformité des systèmes de collecte (cf. Tableau 1).

Tableau 1 : Résultat de conformité selon différents scénarios

Scénario	Conformité
<ul style="list-style-type: none"> - Autosurveillance absente ou insuffisante - Données non transmises au service de police de l'eau 	« Non conforme »
<ul style="list-style-type: none"> o Non-respect du critère choisi o Non-respect du calendrier pour l'élaboration d'un programme d'action suivant le calendrier prévu 	« Non conforme »
<ul style="list-style-type: none"> o Non-respect du critère choisi o Programme d'actions en cours d'élaboration / de mise en œuvre 	« En cours de mise en conformité »
<ul style="list-style-type: none"> o Respect du critère choisi o Données transmises au service de police de l'eau 	« Conforme »

Les données issues de l'autosurveillance sont donc indispensables pour déterminer la conformité ou non du système de collecte.

1.2. L'importance de la collecte des données d'autosurveillance

Comme vu précédemment, la surveillance des rejets aurait dû être mise en place dès l'arrêté de 1994 avec notamment une obligation de moyen.

L'autosurveillance des systèmes de collecte est mise en place dans le but de mieux maîtriser les rejets, en temps sec et en temps de pluie. Ces rejets doivent aussi être contrôlés lors de situations inhabituelles (fortes pluies, accidents, maintenance, etc.) et pendant les travaux.

Pour mener à bien l'autosurveillance, le maître d'ouvrage doit :

- Mettre en place des équipements de mesure / estimation de débit ou de flux de pollution,
- Réaliser des opérations prévues par la réglementation,
- Tenir à jour et mettre à disposition les documents d'autosurveillance.

L'objectif de l'autosurveillance est donc la connaissance du fonctionnement hydraulique des réseaux afin de mieux définir les besoins d'optimisation de son système d'assainissement.

Remarque : Certaines collectivités équipent aussi leurs réseaux d'assainissement dans le cadre de l'exploitation de celui-ci, par exemple pour une régulation d'un ouvrage. Les objectifs de l'exploitation et de l'autosurveillance étant distincts, les données d'exploitation ne sont parfois pas communiquées au service d'autosurveillance bien que ces dernières pourraient être utiles pour la compréhension des données d'autosurveillance. D'ailleurs, certaines Agences de l'Eau imposent parfois un capteur pour l'autosurveillance et un autre pour l'exploitation (règle de « 1 capteur pour un usage »).

Les ouvrages soumis à l'autosurveillance sont les déversoirs d'orage des systèmes unitaires et les trop-pleins de système séparatif. Selon la charge polluante organique produite en temps sec à l'aval, les niveaux de surveillance diffèrent. Le tableau ci-dessous synthétise les obligations d'autosurveillance à la suite de l'arrêté du 21 juillet 2015.

Tableau 2 : Obligation d'autosurveillance des points A1 et A2 selon l'arrêté du 21 juillet 2015

Ouvrage	Charge polluante organique produite en temps sec	Surveillance à mettre en place
Déversoir d'orage du système de collecte (Point A1)	< 120 kg/j de DBO ₅	Pas d'autosurveillance réglementaire obligatoire
	≥ 120 kg/j et < 600kg/j de DBO ₅	Mesure du temps de déversement journalier Estimation du débit déversé
	≥ 600 kg/j de DBO ₅ et déversant moins de 10 jours/an en moyenne quinquennale	Mesure du temps de déversement journalier Estimation du débit déversé
	≥ 600 kg/j de DBO ₅ et déversant plus de 10 jours/an en moyenne quinquennale	Mesure et enregistrement en continu des débits déversés Estimation de la charge polluante rejetée
Déversoir d'orage en tête de station (Point A2)	< 30 kg/j de DBO ₅	Vérification de l'existence de déversements
	≥ 30 kg/j et < 120 kg/j de DBO ₅	Estimation du débit déversé
	≥ 120 kg/j et < 6 000 kg/j de DBO ₅	Mesure et enregistrement en continu des débits déversés Estimation de la charge polluante rejetée
	≥ 6 000 kg/j de DBO ₅	Mesure et enregistrement en continu des débits déversés Mesure des caractéristiques des eaux usées
Trop-plein de système séparatif	≥ 120 kg/j de DBO ₅	Mesure du temps de déversement journalier

Sur décision du préfet, la surveillance des déversoirs dont la charge polluante organique produite en temps sec est supérieure à 120 kg/j DBO₅ peut être remplacée par la surveillance des déversoirs d'orage dont le cumul des volumes flux représente au minimum 70% des rejets annuels, dans le cas où le coût de la surveillance est élevé au vu de l'amélioration de la connaissance des rejets.

Au sens de l'arrêté du 21 juillet 2015, la distinction entre la mesure et l'estimation renvoie à une différence de qualité des résultats. Pour une « mesure », le dispositif de mesure correspond à un dispositif normalisé et dont l'installation est vérifiée comme étant conforme aux prescriptions de la norme. Une étude doit pouvoir qualifier les données fournies de ce dispositif comme une modélisation 3D (entre autres). L'estimation utilise tout autre dispositif de mesure.

Au plus tard le 31 décembre 2015, les collectivités doivent équiper leurs déversoirs d'orage et transmettre les données d'autosurveillance à la police et à l'agence (ou office) de l'eau. La transmission se fait avec un manuel d'autosurveillance, contenant toutes les informations utiles à la connaissance du système de collecte, notamment les méthodes d'exploitation, de contrôle et d'analyse, mais aussi la localisation des points de mesures et de prélèvements. Toutes les données transmises doivent être normalisées au format d'échange SANDRE. Les données d'autosurveillance du mois N doivent être envoyées dans le courant du mois N+1.

Expertise technique des données de l'autosurveillance

Pour permettre une évaluation de la conformité la plus juste possible par les services de police de l'eau, l'agence de l'eau expertise toutes les données transmises par les collectivités durant l'année. Le but de cette expertise est de montrer que les données sont correctes et utilisables, c'est-à-dire :

- Une transmission correcte
- Une mesure ou estimation des données « juste ».

La rédaction du manuel d'autosurveillance et le contrôle des données issues des appareils des appareils de mesure sont des prérequis pour la mise en place de l'expertise. Cinq étapes permettent d'expertiser les données :

- Étape 1 : Contrôle du format SANDRE qui consiste à vérifier le bon format des données.
- Étape 2 : Contrôle de la cohérence des données

La cohérence des données est contrôlée informatiquement, dans le but de détecter les erreurs de saisie ou les valeurs aberrantes et de les éliminer.

Après les étapes 1 et 2, les données sont qualifiées de « non définissables » si elles n'ont pas réussi les tests de format et de cohérence. Dans le cas contraire, elles sont considérées comme « non qualifiées » à ce stade et poursuivent les différents tests.

- Étape 3 : Vérification du contrôle du fonctionnement effectué par le maître d'ouvrage

Cette étape consiste à vérifier la réalisation de contrôles de fonctionnement du système de collecte et de la station de traitement des eaux usées, les résultats des contrôles et les mesures prises pour le bon fonctionnement du système d'assainissement.

À la fin de l'étape 3, certaines données sont considérées comme étant :

- « Incorrectes », car plusieurs contrôles ont été négatifs, le fonctionnement de dispositif est incorrect
- « Certaines », car les tests ont été positifs, le fonctionnement de dispositif est correct
- « Incertaines », car au moins un des tests est négatif

- Étape 4 : Assistance à l'expertise : étude de la vraisemblance des données

Dans le cas où les experts ont un doute sur des données, des tests de probabilités peuvent être réalisés par comparaison des données entre elles.

Le but de cette étape est de confirmer ou d'infirmer les données incertaines.

- Étape 5 : Avis d'expert

Si après les étapes précédentes un doute est installé sur des données, une discussion entre le service de police de l'eau, l'agence de l'eau, les producteurs des données et du SATESE (Syndicat d'Assistance Technique pour l'Épuration et le Suivi des Eaux) est mise en place pour délivrer un avis sur les données.

Les étapes 4 et 5 permettent de qualifier les données « incertaines » comme « certaines » ou « incorrectes » par les experts.

À la suite de cette expertise, la conformité du système de collecte peut être évaluée.

- Synthèse de l'expertise technique

Le logigramme suivant résume les différentes étapes nécessaires à l'expertise des données d'autosurveillance.

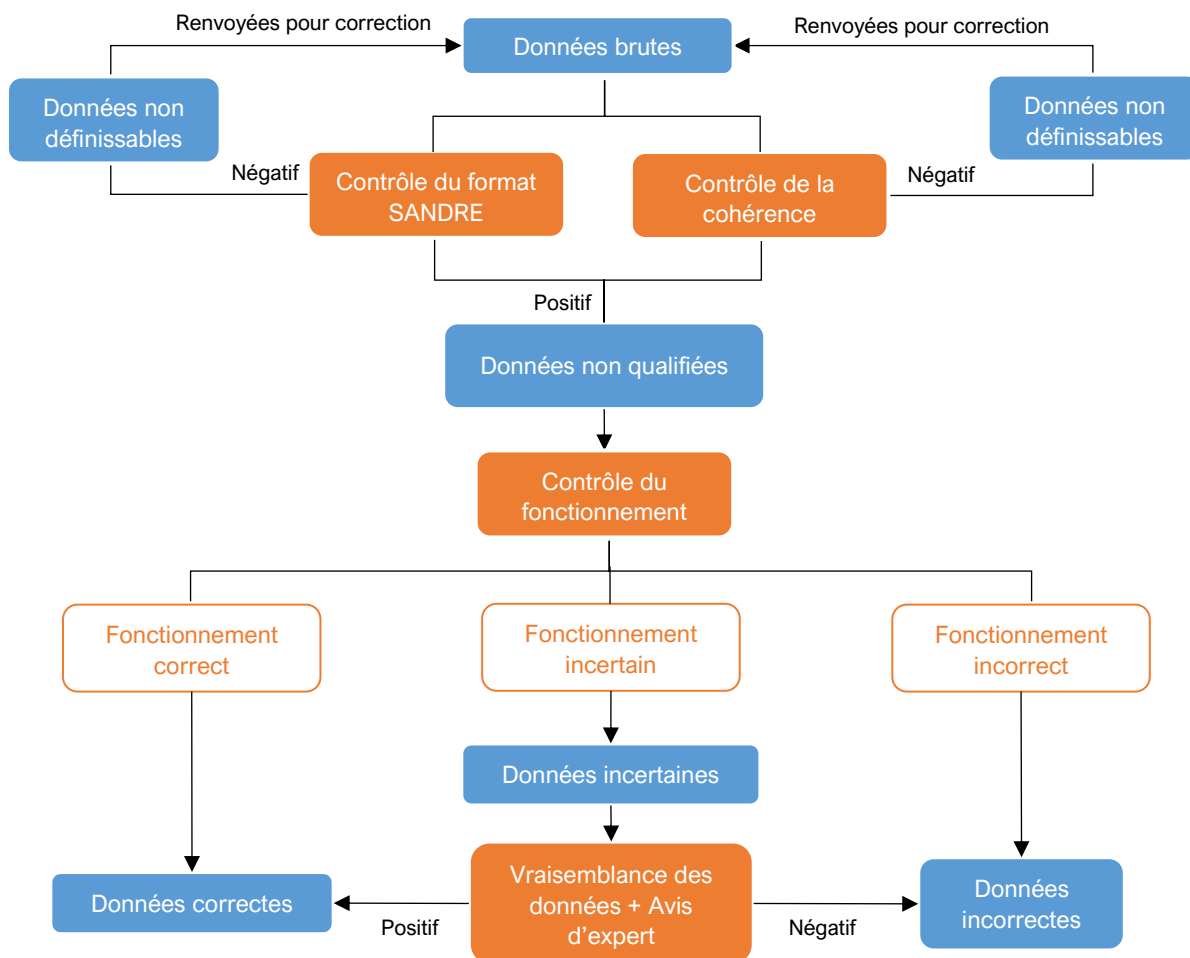


Figure 1 : Synthèse de l'expertise des données

En cas d'un nombre trop élevé de données incorrectes, le critère de conformité choisi par la collectivité ne peut pas être évalué correctement et l'agence de l'eau peut alors réviser son avis sur le dispositif d'autosurveillance ce qui remet en cause les subventions éventuelles. Les collectivités ont donc tout intérêt à avoir des données fiables et correctes.

2. Contexte de l'étude de cas de Vichy Val d'Allier

La Communauté d'Agglomération Vichy Val d'Allier a décidé d' « améliorer la connaissance et la surveillance du réseau avec le déploiement de la métrologie et de l'autosurveillance en particulier au niveau des principaux déversoirs d'orage dans le cadre des actions de préservation du milieu récepteur » (rapport annuel du Service assainissement collectif de l'exercice de 2012). Un appel d'offres a ainsi été lancé dans ce contexte en 2014. Le groupement Larbre Ingénierie – 3D EAU a été attributaire de ce marché.

L'étude réalisée par l'entreprise 3D EAU s'est faite en trois grandes étapes :

- Phase 1 : Analyse préalable des ouvrages à instrumenter en débit
 - Analyse de l'environnement hydraulique
 - Exploitation des résultats d'études antérieures
 - Détermination de la méthode à mettre en œuvre
- Phase 2 : Modélisation des déversoirs au moyen des lois empiriques, d'un modèle 1D ou d'un modèle 3D selon l'enjeu et la complexité des ouvrages
- Phase 3 : Bilan de la phase étude
 - Choix de l'emplacement des sondes ultrason à installer

- Élaboration de la loi hauteur – débit
- Quantification de l'incertitude de mesure

Durant cette étude, 8 déversoirs ont été étudiés. Parmi ces ouvrages, 4 ont fait l'objet d'une modélisation 3D ; 3 d'une modélisation 1D ; 1 a été traité par le biais d'une loi empirique.

Tableau 3 : Caractéristiques des ouvrages de Vichy Val d'Allier

Déversoir	Longueur de crête (m)	Charge polluante (kg DBO ₅ /j)	Nombre de Capteurs	Obligation réglementaire au sens de l'Arrêté
Sichon (Frontal-latéral à crête basse)	3,5	2 434	2 Ultrasons (US) car possibilité d'influence aval	Mesure et enregistrement en continu des débits déversés + Estimation de la charge polluante rejetée
Lac d'Allier (Latéral à 10 fenêtres)	20	1 434	3 US, car possibilité d'influence aval	Mesure et enregistrement en continu des débits déversés + Estimation de la charge polluante rejetée
Cusset (Latéral à crête haute)	1,15	544	1 US	Mesure du temps de déversement journalier + Estimation du débit déversé
Glénard (Frontal à seuil mince)	4,60	811	2 radars, car possibilité d'influence aval	Mesure et enregistrement en continu des débits déversés + Estimation de la charge polluante rejetée
Alexandre 1er (Frontal avec passage du conservé sous le déversé)	0,77	< 600	1 US	Mesure du temps de déversement journalier + Estimation du débit déversé
Charles de Gaulle (9 lucarnes latérales à crête basse et épaisse)	17	120	1 US	Mesure du temps de déversement journalier + Estimation du débit déversé
Bel-Air (Latéral à 2 fenêtres)	6,4	> 600	1 US	Mesure et enregistrement en continu des débits déversés + Estimation de la charge polluante rejetée

Le synoptique du réseau de Vichy Val d'Allier ainsi que des schémas détaillés des différents ouvrages sont représentés de l'Annexe 2 à l'Annexe 9. Il faut noter qu'un déversoir (Résistance) a aussi été étudié durant cette étude, mais a été fermé par la suite. Il existe cependant encore des mesures de hauteurs au niveau de cet ancien déversoir.

Remarque : Les déversoirs du réseau Vichy Val d'Allier déversent dans une galerie, qui récupère les eaux pluviales du réseau, puis la galerie déverse vers l'Allier. Le déversoir Alexandre 1^{er} ne déverse pas dans la galerie d'eaux pluviales (EP), mais directement dans le Sichon.

L'étude s'est terminée fin 2016 et les déversoirs sont équipés de capteurs de hauteurs et de surverse depuis 2017. Par ailleurs, un pluviomètre est également existant au niveau du poste de relevage de Bel-Air. À partir des formules hauteurs – débits issues de l'étude, la supervision calcule les débits déversés ainsi que les volumes et temps de déversements.

Pour l'étude de cas, la communauté de commune de Vichy Val d'Allier a fourni différentes chroniques de données présentées en Figure 2 avec les pas de temps spécifiques.

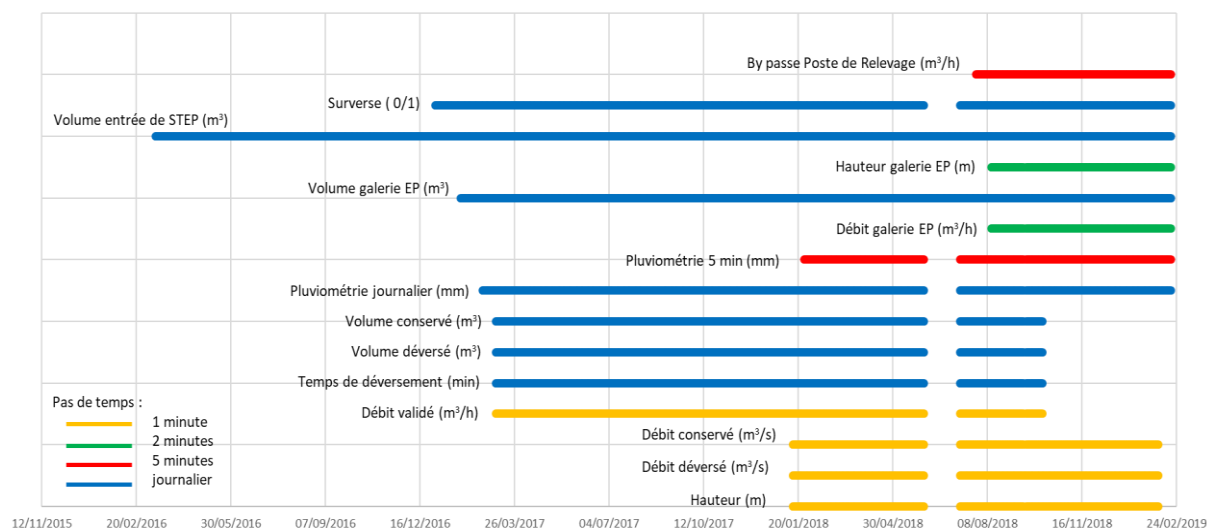


Figure 2 : Disponibilité des données de Vichy Val d'Allier

Les données « brutes », c'est-à-dire sans traitement de la part de Vichy, de hauteurs et débits sont disponibles à compter de janvier 2018. Par ailleurs, les données validées par Vichy sont disponibles dès 2017. Il faut noter une absence de données pour la période du 03/06/2018 au 09/07/2018 ; Vichy a confirmé cette période d'inactivité des capteurs due à un changement de supervision.

La capacité de stockage des données au pas de temps inférieur à 24h est limitée à 500 000 valeurs, soit environ 1 an de données. Il est donc impossible de récupérer les données brutes antérieures à janvier 2018, car celles-ci n'ont pas été archivées.

Aujourd'hui, Vichy Val d'Allier exploite ces données pour procéder à un calcul des volumes déversés et transmettre les informations réglementaires au format SANDRE aux instances de contrôle. Étant donné ses ressources limitées en termes de personnel, Vichy Val d'Allier ne procède cependant pas, à l'heure actuelle, à une analyse approfondie des données.

Un des objectifs du travail de fin d'études est donc de tester différentes techniques de traitement des données sur ces chroniques de mesure afin d'informer la collectivité et aider aux futures décisions stratégiques.

3. Contexte au sein de l'entreprise

L'entreprise 3D EAU souhaite également développer une nouvelle prestation d'analyse de données, dans le but d'aider les collectivités à mieux comprendre le fonctionnement de leur réseau, mais aussi d'exploiter les données générées par l'autosurveillance pour en sortir un maximum d'informations hydrauliques.

4. Objectifs

Ainsi ce travail de fin d'études au sein de 3D EAU répond à plusieurs objectifs :

- Améliorer la connaissance du réseau en réalisant différentes techniques de traitement de données avec le déploiement de la métrologie et de l'autosurveillance,
- Informer et aider les collectivités à valoriser leurs données du réseau,
- Développer des outils génériques applicables à différents sites d'études, pour analyser les données d'autosurveillances de différentes collectivités.

Outil d'analyse des pluies

L'objectif de cette partie est de caractériser les pluies en termes de période de retour pour une chronique de données. La pluie peut être qualifiée comme étant un phénomène aléatoire, discontinu et variable (CEREMA, et al., 2014). La variabilité est spatiale, selon le relief et l'urbanisation des villes l'impact de la pluie n'est pas le même. Cette variabilité est également temporelle : d'une année à une autre des pluies de différentes périodes de retour (temps statistique entre deux occurrences) peuvent être observées.

La caractérisation de pluie est devenue importante pour la protection des milieux récepteurs et la gestion des eaux pluviales. Les dimensionnements des aménagements urbains doivent donc prendre en compte les périodes de retour. La notion de niveaux de service du système d'assainissement est mise en place : pour les petites périodes de retour, l'objectif est de maîtriser les pollutions du milieu récepteur ; pour les pluies exceptionnelles, la priorité est de protéger la population contre les inondations (cf. Figure 3).

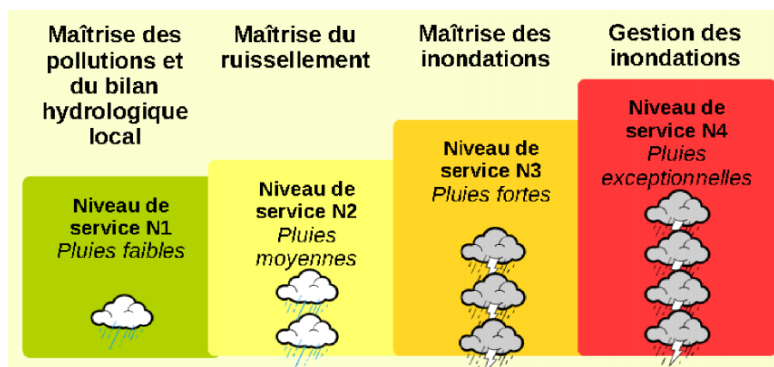


Figure 3 : Présentation des niveaux de service (CEREMA, et al., 2014)

Dans ce cadre, un outil a été développé dans le cadre de mon stage dans le but de caractériser des pluies à partir de données de hauteurs précipitées ou d'intensité.

Avant de présenter l'outil, il convient dans un premier de temps de définir les hypothèses utilisées par l'outil. Ensuite, l'outil et la méthode utilisée seront présentés pour finir par l'application de cet outil à un cas pratique.

1. Hypothèses préalables

Pour représenter l'évolution de l'intensité moyenne de la pluie pour une période de retour donnée en fonction de sa durée, la loi empirique de Montana est utilisée :

$$i(t) = a t^{-b}$$

Avec : i : intensité moyenne de la pluie pour une période de retour T (mm/min)

t : durée de la pluie (min)

Coefficient de Montana a et b : coefficients locaux calculés pour une période de retour T (fournis par Météo France ou calculables avec des chroniques de pluie si elles sont suffisamment longues).

Un évènement pluvieux est défini par

- sa durée,
- son intensité (moyenne, moyenne maximale sur un durée donnée),
- la hauteur d'eau précipitée,
- le temps sec entre deux évènements successifs.

Le ruissellement est observé à partir d'un certain seuil de hauteur précipitée ou d'intensité moyenne propre à chaque bassin versant. Ce seuil est généralement pris à 1 mm/h.

Pour considérer deux évènements indépendants, la perturbation du réseau engendrée par le premier évènement doit être indépendante de la deuxième perturbation en d'autres termes, il faut que la durée entre deux évènements successifs soit suffisamment grande pour avoir des évènements indépendants (cf. Figure 4).

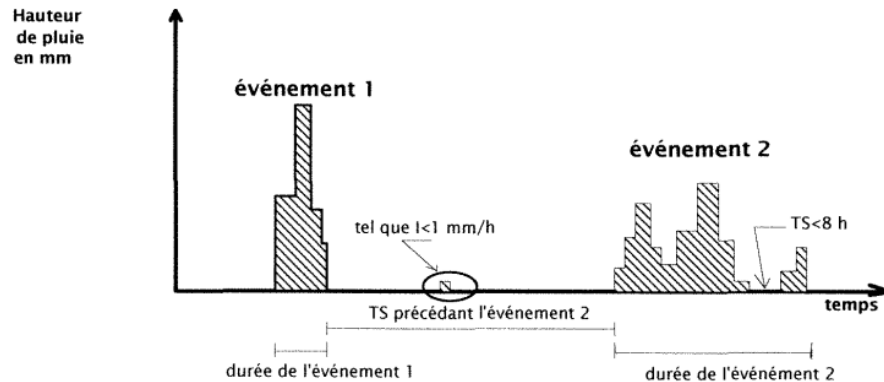


Figure 4 : Exemple de découpage d'évènements pluvieux à Entzheim (STIEBER, et al., 1999)

Cette durée peut être estimée expérimentalement sur le bassin versant ou peut être approchée avec le temps de concentration qui correspond au temps du trajet le plus long sur le bassin versant.

2. Présentation de l'outil

L'outil d'analyse des pluies est un exécutable codé sous le logiciel de programmation Matlab.

Les données d'entrée sont à intégrer par l'utilisateur dans un fichier Excel, qui sera lu par le programme codé sous Matlab. Une fois le programme exécuté, les résultats sont retranscrits dans le même fichier Excel.

Pour lancer le programme, l'utilisateur doit renseigner plusieurs informations :

- les coefficients de Montana pour des durées entre 6 min et 2h et entre 2h et 6h,
- la chronique horodatée de hauteur précipitée ou d'intensité,
- l'intervalle de temps retenu séparant deux évènements pluvieux pour le bassin versant correspondant (par défaut $\Delta t_{im} = 4h$),
- le seuil d'intensité à partir duquel il y a du ruissellement,
- si l'information est disponible : la hauteur moyenne annuelle précipitée.

Plusieurs informations sont extraites en sortie de l'outil :

- Le nombre d'évènements pluvieux disponibles avec leur date et horaire de début et de fin,
- Pour chaque évènement pluvieux, sa durée, une intensité moyenne et une intensité moyenne maximale pour différentes durées intenses sont calculées,
- Enfin, une période de retour est attribuée à chaque évènement pour les différentes durées.

Remarque : Le caractère pluvieux ou non de la chronique de donnée peut être également déterminé, si la donnée de hauteur moyenne annuelle précipitée est disponible (issue de Météo France).

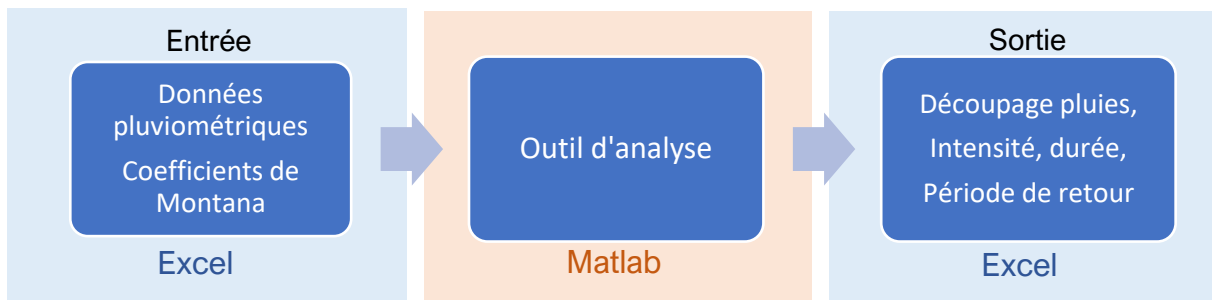


Figure 5 : Présentation de l'outil d'analyse de pluies

Cet outil est utilisable par tout utilisateur, même n'ayant pas de logiciel de programmation Matlab.

3. Méthodologie de l'outil

Pour obtenir en sortie les caractéristiques des pluies, plusieurs étapes sont essentielles.

- Étape 1 : Détermination du pas de temps

Il est nécessaire de déterminer le pas de temps, car les prochaines étapes prennent en compte le pas de temps pour les différents calculs.

- Étape 2 : Découpage des pluies

Pour déterminer les événements pluvieux, le programme élaboré calcule la durée entre chaque hauteur ou intensité pour laquelle la valeur n'est pas nulle.

Si la durée entre deux hauteurs ou intensités est supérieure à l'intervalle de temps (Δt_{im}) prédéfini en entrée alors les deux événements pluvieux sont supposés indépendants. Inversement, les événements sont dépendants lorsque la durée est inférieure à Δt_{im} .

- Étape 3 : Calcul de la durée de la pluie

La mesure donnée au temps t par le pluviomètre correspond au cumul de pluie entre t et $t+1$.

Pour définir le début de l'évènement pluvieux, il a été choisi de retenir la date précédant la première hauteur. La fin de l'évènement pluvieux correspond à la date de la dernière hauteur précipitée. La durée de la pluie peut alors facilement être calculée.

- Étape 4 : Calcul de l'intensité moyenne

L'intensité moyenne est le rapport entre la hauteur totale précipitée et la durée de la précipitation. Elle s'exprime en mm/h.

En réalité, l'intensité varie fortement au cours de l'évènement pluvieux. Il est plus intéressant de calculer l'intensité moyenne maximale observée sur des durées caractéristiques. Pour cela, une moyenne glissante sur l'intensité est faite sur les différentes durées. Ainsi, un même évènement pluvieux sera caractérisé par différentes intensités moyennes maximales selon la durée intense considérée.

Les durées choisies pour le calcul des intensités varient de 5 à 480 minutes.

- Étape 5 : Détermination des courbes Intensité Durée Fréquence (IDF):

À partir des coefficients de Montana du site étudié, l'intensité moyenne maximale de la pluie est calculée pour une durée donnée (cf. Hypothèses préalables).

L'intensité est d'autant plus faible que la durée est grande. Par ailleurs, pour une même durée, l'intensité est plus grande pour une période de retour plus élevée.

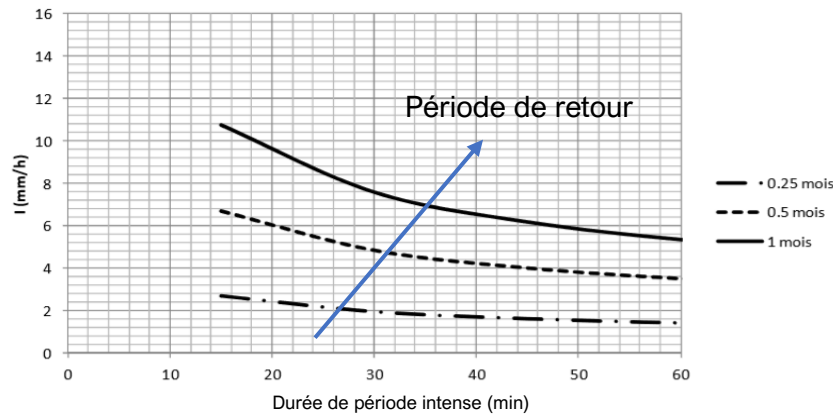


Figure 6 : Exemple d'une courbe Intensité-Fréquence-Durée (IDF) (VAZQUEZ, 2016)

Dans le cadre de l'outil, des courbes représentant une période de retour allant de l'hebdomadaire à la centennale ont été représentées.

- Étape 6 : Déterminer la période de retour par évènement pluvieux

Une fois les courbes IDF définies, la période de retour pour une durée intense caractéristique peut être calculée à partir de l'intensité moyenne maximale.

Par ailleurs, la distance entre l'intensité moyenne maximale observée pendant une durée caractéristique d'un évènement pluvieux, et l'intensité de la pluie associée à une période de retour est calculée. Cela permet d'identifier la période de retour de cet évènement pluvieux pour une durée intense donnée la plus proche.

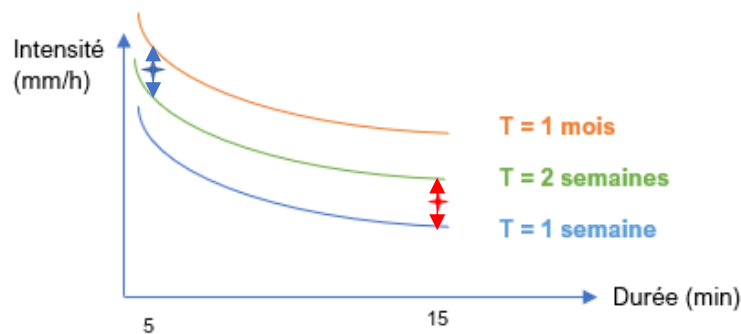


Figure 7 : Exemple de courbes IDF

Ainsi, dans l'exemple ci-dessus, l'intensité moyenne maximale de la pluie a été calculée pour des périodes d'observation de 5 (croix bleue) et 15 minutes (croix rouge). Le calcul de la distance par rapport aux courbes IDF issues des coefficients de Montana permet d'établir que cette pluie présente une période de retour entre 2 semaines et 1 mois pour la période d'observation de 5 minutes et une période de retour entre 1 et 2 semaines pour la période d'observation de 15 minutes.

Chaque évènement pluvieux aura ainsi plusieurs périodes de retour selon la durée intense considérée.

- Synthèse de la démarche

Le logigramme suivant résume les différentes étapes de l'outil pour caractériser la pluviométrie d'un site d'étude.

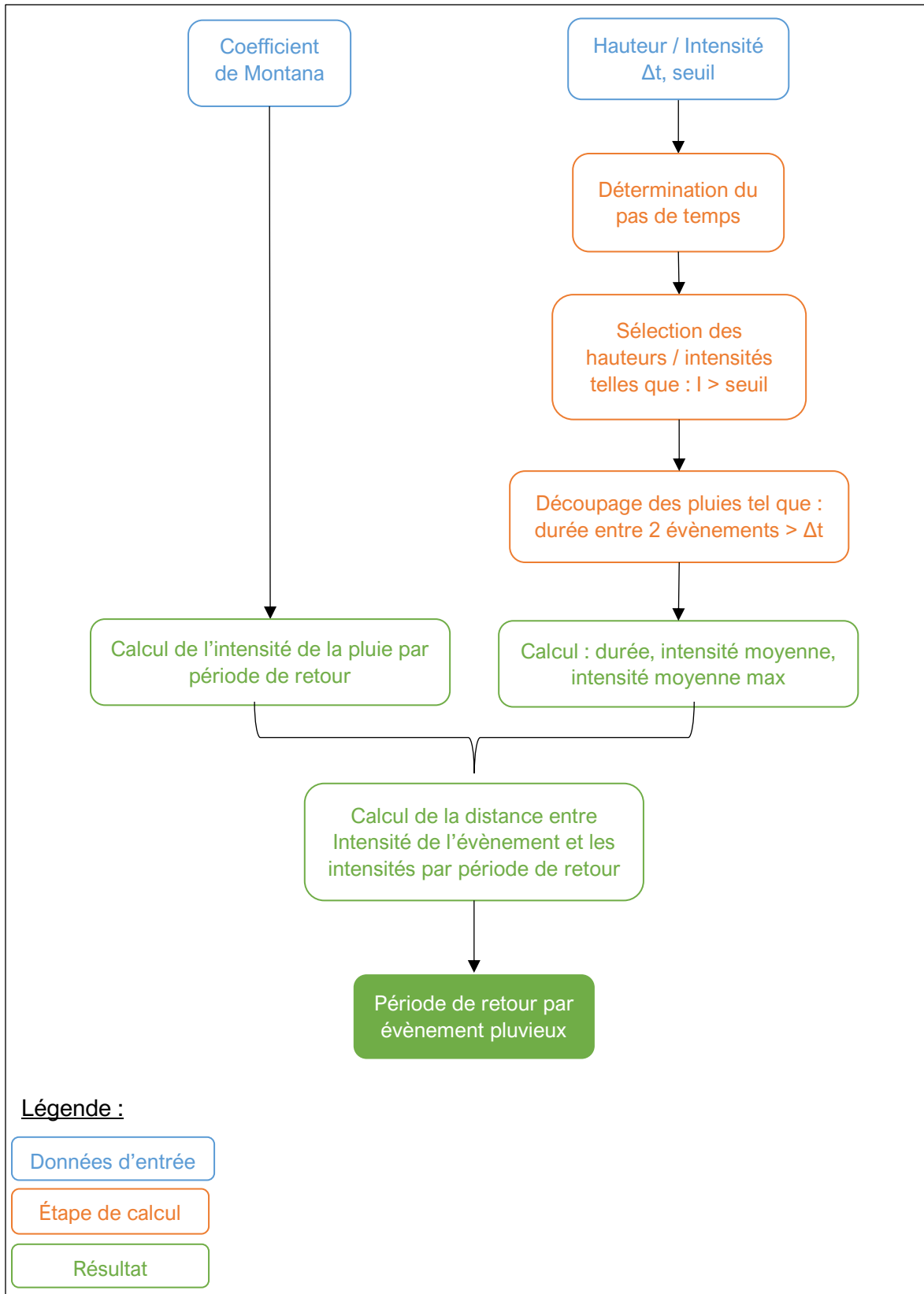


Figure 8 : Logigramme de l'outil d'analyse des pluies

4. Application de l'outil à la communauté de commune de Vichy Val d'Allier

Comme précisé dans le contexte de l'étude, la communauté de commune de Vichy Val d'Allier est équipée d'un seul pluviomètre et une chronique de données d'environ 1 an est disponible pour l'étude.

La communauté de commune de Vichy Val d'Allier a déterminé l'intervalle de temps entre deux événements indépendants égal à 2h. De même, Vichy Val d'Allier définit un événement pluvieux à partir d'une intensité moyenne supérieure à 0,5 mm/h.

Sur la période d'étude, 256 événements ont été enregistrés.

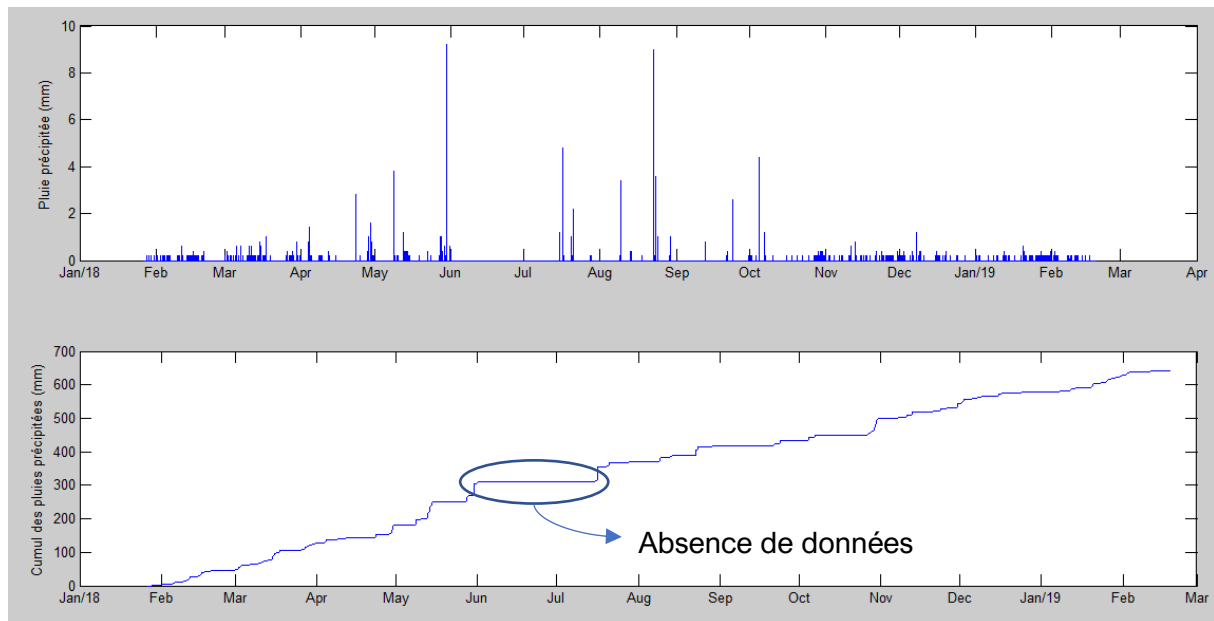


Figure 9 : Hyétoqramme enregistré à Vichy (station de Bel-Air) et cumul des précipitations

Une saisonnalité peut être observée à Vichy : en été, l'intensité est plus importante qu'en hiver. Par ailleurs, la durée d'un événement pluvieux est plus faible en été qu'en hiver.

La durée totale des pluies est en moyenne de 1h30. En revanche, seulement 50% des pluies ont une durée totale supérieure à 10 minutes. Concernant l'intensité moyenne, celle-ci est en moyenne de 2 mm/h.

Tableau 4 : Étude statistique des pluies de l'étude

	Durée totale (min)	Intensité moyenne (mm/h)
min	5,0	0,51
1 ^{er} quartile	5,0	1,2
Médiane	10,0	2,40
Moyenne	80,9	2
3 ^{ème} quartile	85,0	2,40
max	1905,0 (32h)	40

La durée des événements pluvieux de Vichy Val d'Allier est très hétérogène et il est difficile de la qualifier de façon générale. Par ailleurs, les événements pluvieux observés à Vichy Val d'Allier peuvent être qualifiés (pour 75% des événements) de faible intensité.

Les événements pluvieux sont également caractérisés en termes de période de retour. Les courbes IDF de certains événements pluvieux sont représentées en Figure 10 et Figure 11.

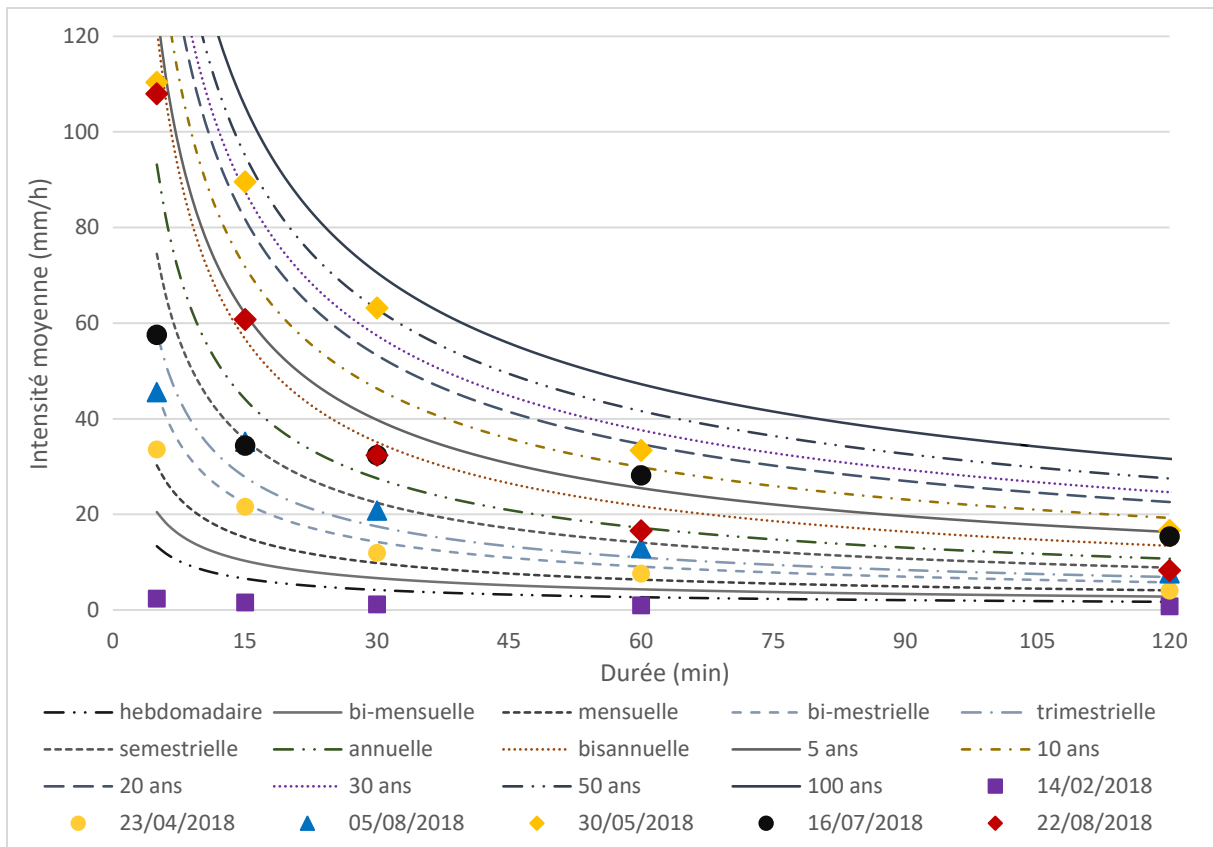


Figure 10 : Courbes IDF de certains évènements pluvieux de Vichy pour des durées inférieures à 120 minutes.

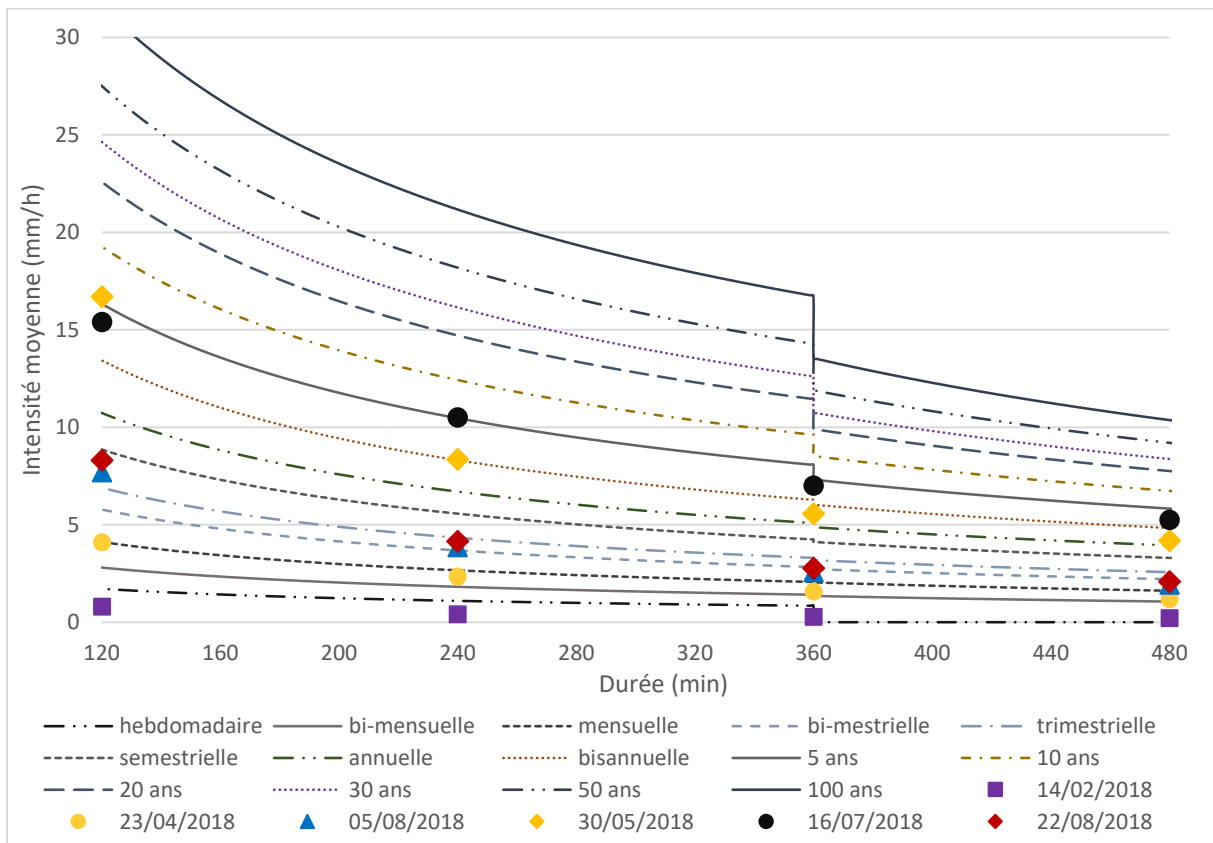


Figure 11 : Courbes IDF de certains évènements pluvieux de Vichy pour des durées supérieures à 120 minutes.

Sur la période étudiée, 2 évènements peuvent être qualifiés « d'exceptionnels » avec des périodes de retour supérieures ou égales à 5 ans pour différentes durées.

Plus de 90% des évènements pluvieux ont une période de retour inférieure à une semaine. Les 10% d'évènements pluvieux restant ont des périodes de retour allant de la bimensuelle à 50 ans. Sur le graphique ci-dessous, le nombre d'évènements pluvieux pour une période de retour supérieure à une semaine est représenté.

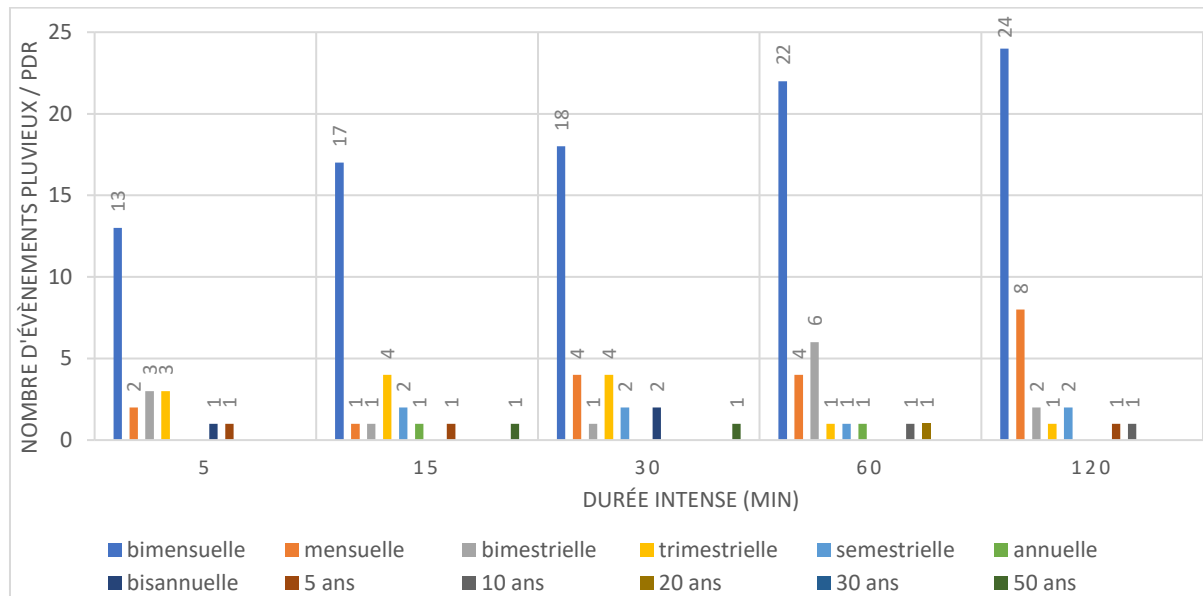


Figure 12 : Nombre d'évènements pluvieux par période de retour et par période d'observation

Les évènements les plus rares (période de retour supérieure ou égale à 10 ans) sont observés pour des durées entre 15 et 120 minutes.

Pour deux évènements, dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau suivant, la hauteur précipitée cumulée est tracée en fonction de la durée de l'évènement en cumul (cf. Figure 13).

Tableau 5 : Caractéristiques de 2 pluies observées à Vichy Val d'Allier

Date	Durée (min)	H _{tot} (mm)	I _{moy} (mm/h)	5 min	30 min	60 min	120 min	240 min	480 min
30/05	60	33,4	33,4	Entre 2 et 5 ans	Entre 30 ans et 50 ans	Entre 10 ans et 20 ans	Entre 5 ans et 10 ans	Entre 1 et 2 ans	Entre 5 ans et 10 ans
29/10	1905	36,4	1,15	< 1 semaine	Entre 1 et 2 semaines	Entre 1 et 2 semaines	Entre 1 et 2 semaines	Entre 1 et 2 semaines	Entre 2 et 3 mois

Les périodes de retour en verts représentent les périodes de retour maximales observées. Selon les évènements, la période de retour maximale est observée soit pour une faible durée intense (30 minutes), soit pour une longue durée (480 minutes).

Ce graphique permet de mettre en évidence des comportements différents selon les évènements. Ainsi, 80% de la hauteur est précipitée avant la moitié de la pluie pour l'évènement du 30/05/2018, alors que la hauteur précipitée est plutôt linéaire avec la durée pour l'évènement du 29/10/2018.

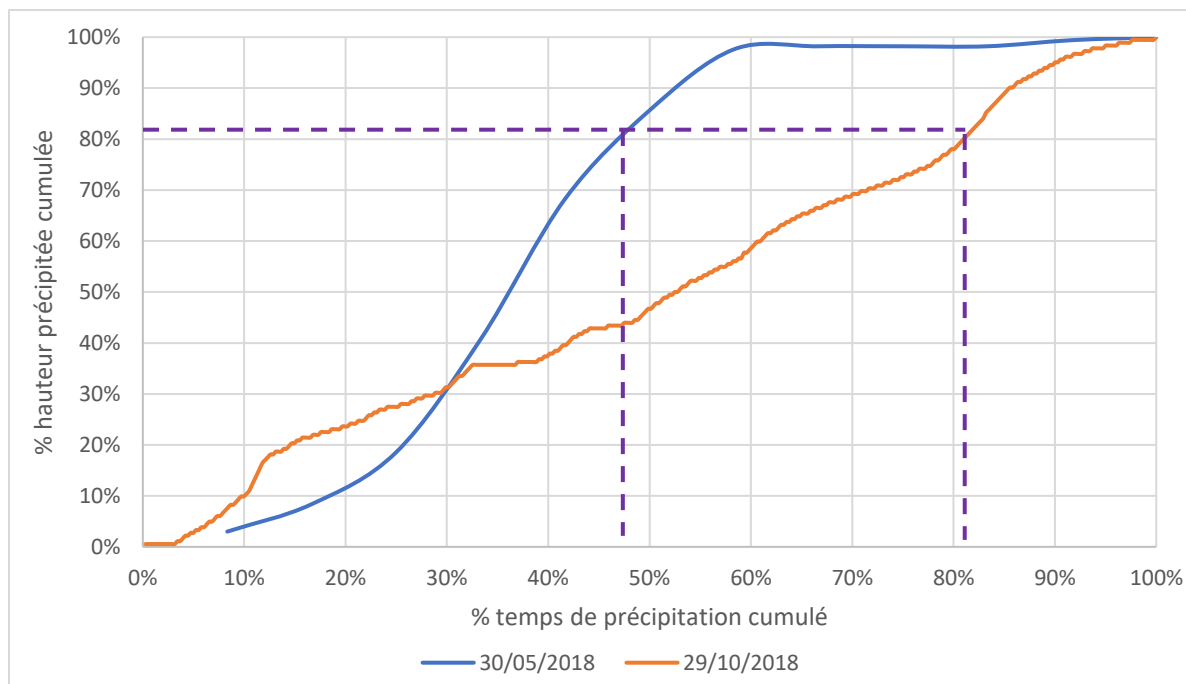


Figure 13 : Hauteur précipitée cumulée en fonction de la durée de la pluie en cumul

Ainsi la courbe en orange représente plutôt les pluies susceptibles d'apparaître en hiver et la courbe bleue celles en été.

5. Conclusion de l'application de l'outil 1

Cette étude pluviométrique est une étape essentielle avant l'analyse des données issues des déversoirs d'orage. Elle permet de dresser un bilan sur les pluies présentes sur le territoire étudié et ainsi d'expliquer certains déversements. L'Annexe 11 présente un extrait du tableau récapitulatif des résultats de l'outil 1, mis en œuvre sur les données de Vichy Val d'Allier.

Les résultats de cet outil sont utilisés par la suite par les deux autres outils, car les données pluviométriques sont indispensables à l'analyse de déversoirs d'orages et de réseaux d'assainissement en général.

Outil d'analyse d'un déversoir

En mettant en place l'autosurveillance, les collectivités peuvent rencontrer des difficultés à valider et analyser les données d'autosurveillance par manque de temps et/ou de personnel (CHABANEL-DURRAND, et al., 2018).

L'analyse de données réalisée au niveau d'un déversoir étant généralisable d'un déversoir à un autre, un outil est mis en place pour faciliter cette analyse.

Cet outil a pour objectif d'extraire le maximum d'informations sur le fonctionnement de l'ouvrage à partir des données disponibles.

Avant de passer à l'étude de cas de Vichy Val d'Allier, l'outil d'analyse de déversoir et la méthodologie seront présentés.

1. Présentation de l'outil

L'outil d'analyse d'un déversoir suit la même démarche que l'outil précédent : un code Matlab récupère et retranscrit les résultats sur un fichier Excel.

Les données d'entrée nécessaires à l'exécution du programme sont les suivants :

- la chronique de hauteur mesurée au niveau du déversoir étudié,
- la chronique de débit calculée par la collectivité,
- la chronique d'incertitude associée au débit.

Dans le cas où la loi hauteur/débit est un « simple » polynôme de degré 2 ou une loi de puissance de la forme $ah^b + \gamma$, les coefficients de la formule sont à renseigner dans le fichier Excel.

Pour les lois hauteurs/débits plus « complexes », notamment avec des conditions d'envois, l'utilisateur devra calculer lui-même le débit et le renseigner dans le fichier Excel.

L'utilisateur devra également préciser si les hauteurs renseignées sont des hauteurs calculées à partir du radier ou bien des lames déversantes. Dans le cas d'une chronique de hauteurs au radier, la hauteur du seuil est à renseigner pour calculer la lame déversante.

Le fichier Excel issu de l'analyse des pluies est également une donnée d'entrée pour le programme, celui-ci récupère les résultats calculés avec l'outil présenté précédemment.

L'outil d'analyse d'un déversoir permet d'associer un volume déversé à :

- une date journalière et une hauteur précipitée journalière
- une pluie caractérisée avec l'outil précédent (cf. Outil d'analyse des pluies) et une incertitude
- une lame déversante

Enfin, le critère de conformité en temps de pluie est calculé en se basant sur le nombre de déversements.

2. Méthodologie de l'outil

Pour arriver à calculer un volume déversé et le critère de conformité, l'outil procède à différentes étapes.

- Étape 1 : Calcul du débit et du volume déversé

Comme précisé précédemment, si la loi hauteur/débit peut s'exprimer par un polynôme du second degré ou une loi de puissance, le débit déversé est calculé avec la formule renseignée. Ensuite, le débit déversé calculé grâce à la formule ou par l'utilisateur est comparé au débit déversé calculé par la collectivité.

Cette analyse triviale est importante, un écart entre les débits entraîne par la suite une erreur sur le volume déversé et sur le critère de conformité.

La suite des calculs est réalisée avec les données calculées par la formule hauteur – débit et supposées valides.

Le volume déversé est calculé à partir du débit validé : $V_{dev}(m^3) = Q_{dev}(m^3/s) \times pdt (s)$.

- Étape 2 : Calcul du volume déversé journalier

En découpant la chronique en pas de temps journalier, chaque pas de temps est associé à :

- un volume déversé tel que $V_{dev} > 0$ entre 00h00 et 23h59,
- un temps de déversement tel que $V_{dev} > 0$,
- le début et la fin de déversement,
- un nombre de déversements,
- une hauteur précipitée totale telle que $h_{pluie} > 0$.

Le début et la fin des déversements journaliers et le nombre de déversements sont des informations importantes pour calculer le critère de conformité par la suite.

- Étape 3 : Calcul du volume déversé par pluie

À chaque déversement, un temps de déversement et une pluie sont associés.

La difficulté est de déterminer la pluie ayant engendré le déversement. Le choix a été fait de calculer la durée entre le début du déversement du déversoir et le début de chaque pluie. La durée la plus courte permet de déterminer la pluie ayant engendré le déversement. Bien entendu, le début du déversement doit avoir lieu après le début de la pluie.

Les caractéristiques de la pluie déterminées précédemment par le premier outil sont récupérées et associées au déversement.

- Étape 4 : Calcul de l'incertitude sur le volume déversé

À chaque volume déversé, une incertitude est associée. Cette incertitude se calcule à partir de l'incertitude du débit déversé.

Dans le cadre de l'étude de 2016, 3D EAU a évalué les incertitudes sur les relations hauteurs – débit déversées pour chaque site en suivant les recommandations de la norme ISO IEC 98-3. Les incertitudes sont déterminées pour un intervalle de confiance à 95%, l'erreur a donc 95% de chance d'être comprises dans cet intervalle.

Plusieurs sources d'incertitudes ont été prises compte pour le calcul d'incertitudes sur le débit déversé :

- 1) L'incertitude sur le débit lié au modèle numérique : dépend du type de modélisation employée et est différente pour chaque site
- 2) L'incertitude sur le débit lié à l'ajustement mathématique

$$(\Delta Q)_{ajustement} = 2 \times 1,5 \text{ Mediane} \left(\frac{|Q_{ajustement}(h_i) - Q_{simulation}|}{Q_{ajustement}(h_i)} \right) \cdot Q$$

Avec $Q_{ajustement}$: débit interpolé par les lois de déversements (m^3/s)

$Q_{simulation}$: débit calculé par la modélisation 3D (m^3/s)

Remarque : Le facteur 1,5 permet d'avoir un intervalle de confiance à 68%, le multiplié par 2 permet alors d'obtenir un intervalle de confiance à 95%.

- 3) L'incertitude sur la hauteur liée à la mesure (capteur + zéro)

$$(\Delta Q)_{mesure} = \sqrt{\left(\frac{dQ}{dh}\right)^2 \cdot \Delta h^2} \rightarrow (\Delta Q)_{mesure} = \left(\frac{dQ}{dh}\right) \cdot \Delta h$$

Avec Δh : incertitude absolue sur la hauteur (1 cm).

En supposant que ces trois sources d'erreurs soient indépendantes, la propagation des incertitudes peut être appliquée. L'incertitude absolue globale de la relation hauteur – débit vaut donc :

$$\Delta Q = \sqrt{(\Delta Q)_{modèle}^2 + (\Delta Q)_{ajustement}^2 + (\Delta Q)_{mesure}^2}$$

Cette incertitude a donc été évaluée pour chaque site par 3D EAU lors de l'étude en 2015.

Dans le cadre de mon stage, l'incertitude sur le volume déversé associée à l'incertitude du débit déversé est calculée pour chaque pas de temps :

$$V_i = Q \cdot \Delta t \quad \rightarrow \quad \Delta V_i = \sqrt{\frac{\partial V_i^2}{\partial Q} \cdot \Delta Q^2 + \frac{\partial V_i^2}{\partial t} \cdot \Delta t^2}$$

Le temps de réponse d'un capteur dépendant de l'électronique est de l'ordre de 10^{-9} s, l'incertitude sur le temps est alors négligée. L'incertitude sur le volume déversé au pas de temps i devient :

$$\Delta V_i = \sqrt{\frac{\partial V_i^2}{\partial Q} \cdot \Delta Q^2} \quad \rightarrow \quad \Delta V_i = \frac{\partial V_i}{\partial Q} \cdot \Delta Q \quad \rightarrow \quad \Delta V_i = \Delta t \cdot \Delta Q$$

Avec : ΔV_i : incertitude absolue du volume déversé au pas de temps i (m^3)

Q : débit déversé en m^3/s

Δt : pas de temps en seconde

ΔQ : incertitude absolue du débit déversé (m^3/s)

Enfin en considérant que le volume à chaque pas de temps est indépendant, l'incertitude sur le volume déversé total est calculée à partir de la loi de propagation des incertitudes :

$$V_{tot} = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

$$\Delta V_{tot} = \sqrt{\frac{\partial V_{tot}^2}{\partial V_1} \cdot \Delta V_1^2 + \frac{\partial V_{tot}^2}{\partial V_2} \cdot \Delta V_2^2 + \dots + \frac{\partial V_{tot}^2}{\partial V_n} \cdot \Delta V_n^2} \rightarrow \Delta V_{tot} = \sqrt{1 \cdot \Delta V_1^2 + 1 \cdot \Delta V_2^2 + \dots + 1 \cdot \Delta V_n^2}$$

$$\Delta V_{tot} = \sqrt{\sum_i \Delta V_i^2}$$

Avec ΔV_{tot} : incertitude totale sur le volume

ΔV_i : incertitude sur le volume au pas de temps i

- Étape 5 : Calcul du volume déversé pour chaque lame déversante

Si les données d'entrée sont des hauteurs prises au radier, les lames déversantes sont calculées de la façon suivante : $h_{dev} = h_{radier} - h_{seuil}$.

En triant les lames déversante par ordre croissant, le volume déversé ainsi que le cumul sont calculés pour chaque lame déversante.

Les lames déversantes sont ensuite classées par gamme :

- Entre 0 et 5 cm ;

- Entre 5 et 10 cm ;
- Entre 10 et 20 cm ;
- Entre 20 et 30 cm ;
- Supérieure à 30 cm.

Pour chaque classe, la fréquence d'apparition est calculée ainsi que le rapport $V_{dev}/V_{dev\ tot.}$

- Étape 6 : Calcul du nombre de déversements et du critère de conformité

Le nombre de déversements est calculé en se basant sur la définition d'un jour de déversement de l'Arrêté du 21/07/2015 (cf. La réglementation applicable aujourd'hui).

Plusieurs cas de figure sont pris en compte pour définir le nombre de déversements :

- Un déversement journalier sans empiètement sur le jour suivant → 1 déversement
- Plusieurs déversements journaliers, mais aucun n'empiète sur le jour suivant → 1 déversement
- Un ou plusieurs déversements journaliers, dont un qui se finit le jour suivant et uniquement un déversement comptabilisé le jour J+1 → 1 déversement pour le jour J et 0 déversement pour le jour J+1
- Un ou plusieurs déversements journaliers, dont un qui se finit le jour suivant, et plusieurs déversements comptabilisés le jour J+1 → 1 déversement pour le jour J et 1 déversement pour le jour J+1.

Une fois le nombre de déversements calculés, le critère de conformité en termes de nombre de déversement peut être déterminé. Si moins de 20 déversements sont observés, alors le critère est respecté sur cet ouvrage. Dans le cas contraire, le déversoir n'est pas conforme vis-à-vis de ce critère.

- Synthèse de la méthode

Le logigramme en Figure 14 résume la méthode décrite ci-dessus.

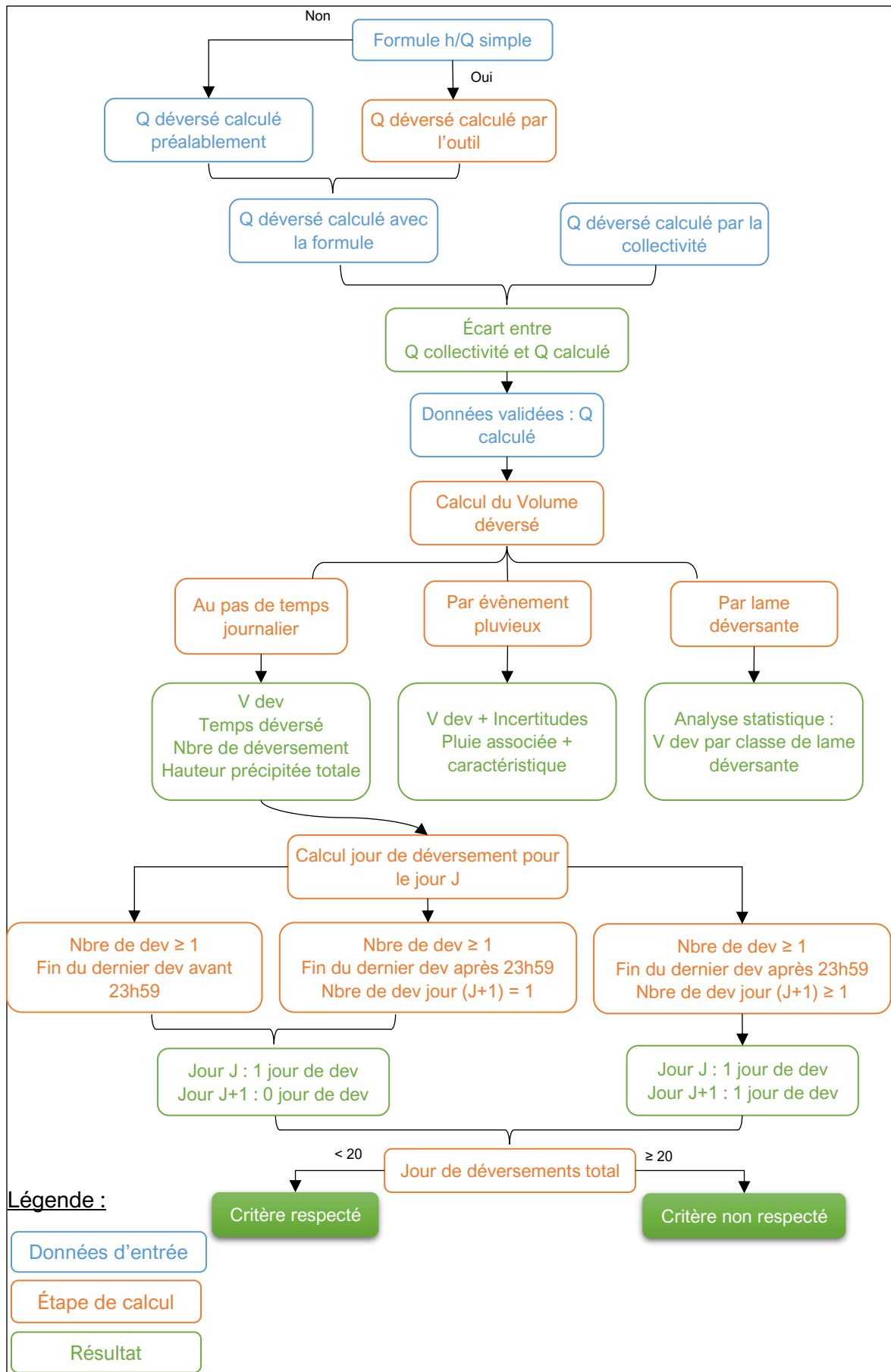


Figure 14 : Logigramme de l'outil d'analyse de déversoir

3. Application de l'outil à Vichy

Plusieurs données d'autosurveillance de Vichy Val d'Allier issues de chaque déversoir sont analysées dans cette partie :

- hauteur au pas de temps d'acquisition de 1 minute
- débit au pas de temps d'acquisition de 1 minute
- volume déversé au pas de temps journalier
- temps de déversement au pas de temps journalier
- données de surverse

3.1. Validation triviale des données

Avant l'analyse des données, il est primordial de valider les données disponibles pour détecter d'éventuels dysfonctionnements de capteurs et/ou des anomalies.

3.1.1. Utilisation des formules hauteurs – débits

Dans un premier temps, une vérification de la cohérence des débits est faite en recalculant les débits avec les formules fournies.

Les formules hauteurs/débits ont bien été implémentées dans le système de calcul avec les bonnes unités, mais pour certains pas de temps, le débit calculé avec la formule est supérieur à celui transmis par la supervision de Vichy Val d'Allier.

La suite de la validation des données explique les causes de cette différence.

3.1.2. Chronique de hauteurs

Ensuite, une validation des données de hauteurs est faite.

Les différentes chroniques de hauteurs sont tracées et certains problèmes peuvent être relevés :

- *La présence de créneau pour les déversoirs Lac d'Allier, Bel-Air et Sichon*

Des créneaux d'environ 30 minutes sont observés, la hauteur est donc constante pendant 30 pas de temps. La présence de créneau peut s'expliquer par un traitement « automatique » sur la donnée lors de l'acquisition sur la supervision. La donnée étant qualifiée d' « invalide » est traitée et remplacée par la dernière donnée validée par la supervision.

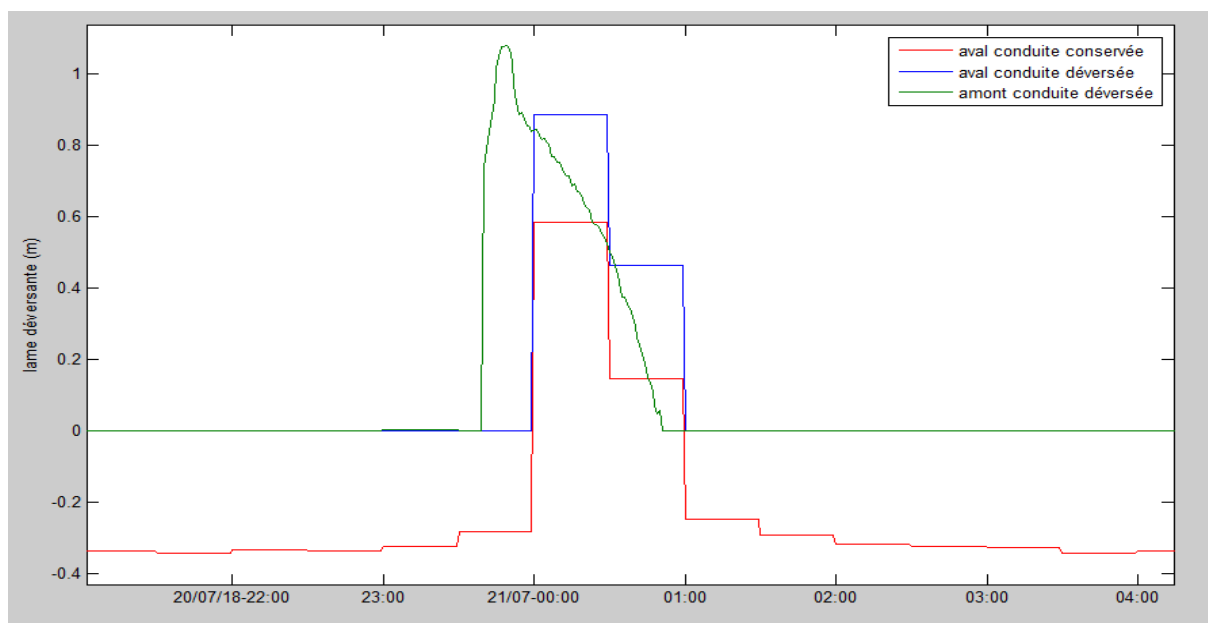


Figure 15 : Chronique de hauteurs du déversoir Lac d'Allier

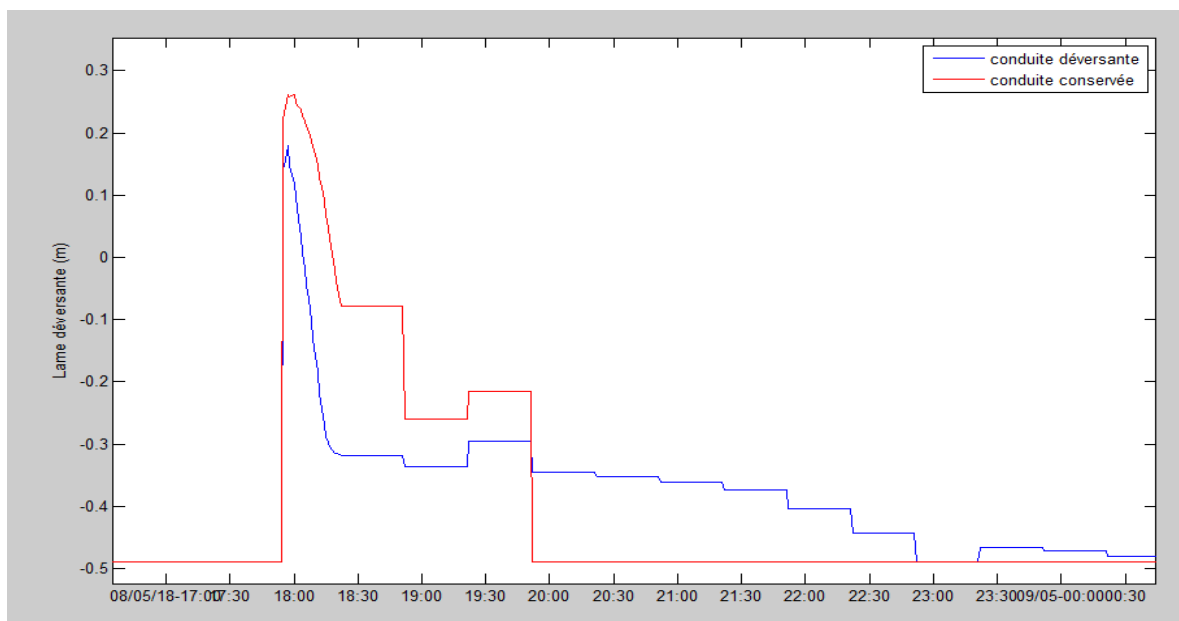


Figure 16 : Chronique de hauteurs du déversoir Sichon

Remarque : Ce dysfonctionnement n'a pas été identifié par la communauté d'Agglomération de Vichy Val d'Allier. Celle-ci se renseigne auprès de l'entreprise ayant mis en place la supervision pour avoir plus d'informations.

➤ *La dérive du capteur pour les déversoirs Lac d'Allier et Bel-Air*

Une dérive de capteur est détectée lorsque la moyenne des données calculée pour deux fenêtres d'observation est différente (RAGOT, et al., 1990). Pour le cas de Vichy, une moyenne glissante sur 24h en temps sec est calculée et celle-ci dérive à partir du moment où les hauteurs augmentent fortement (cf. en Figure 17 et Figure 18).

Après consultation auprès de Vichy Val d'Allier, une intervention a eu lieu le 4 et 5 octobre 2018, qui pourrait expliquer cette dérive pour le déversoir Lac d'Allier (cf. Figure 17).

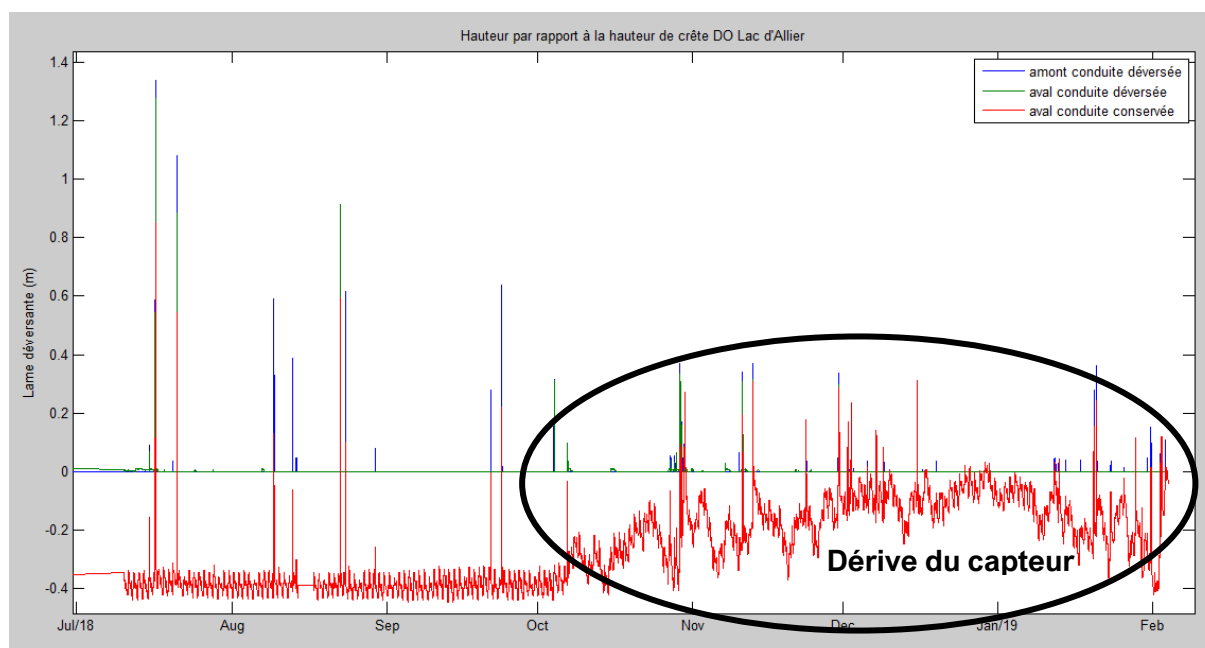


Figure 17 : Lame déversante DO Lac d'Allier

Pour le déversoir Bel-Air, il semblerait que le zéro du capteur soit reparamétré à 0,05 m entre avril et fin octobre 2018. Cela pourrait s'expliquer par du dépôt au niveau du capteur de hauteurs ou une recalibration.

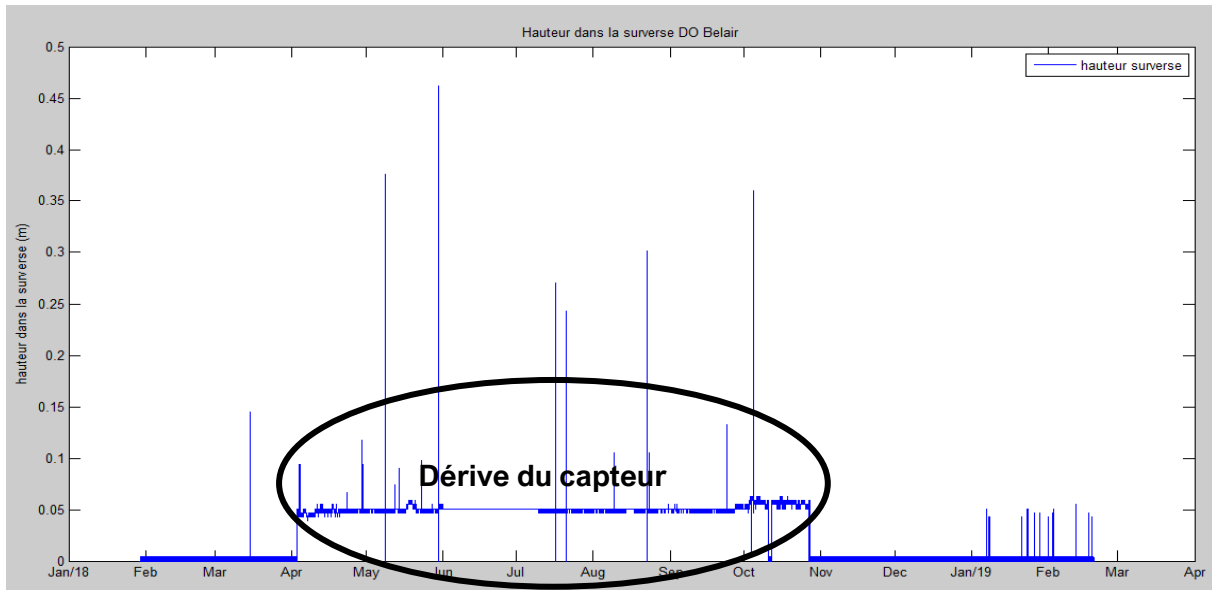


Figure 18 : Hauteur surverse DO Bel-Air

➤ *Saturation du capteur Alexandre 1^{er}*

La chronique de lame déversante du capteur Alexandre 1^{er}, dont le zéro est fixé au niveau du seuil de déversement, présente un maximum atteint pour $h = 0,62$ m et un minimum pour $h = -0,79$ m (cf. Figure 19).

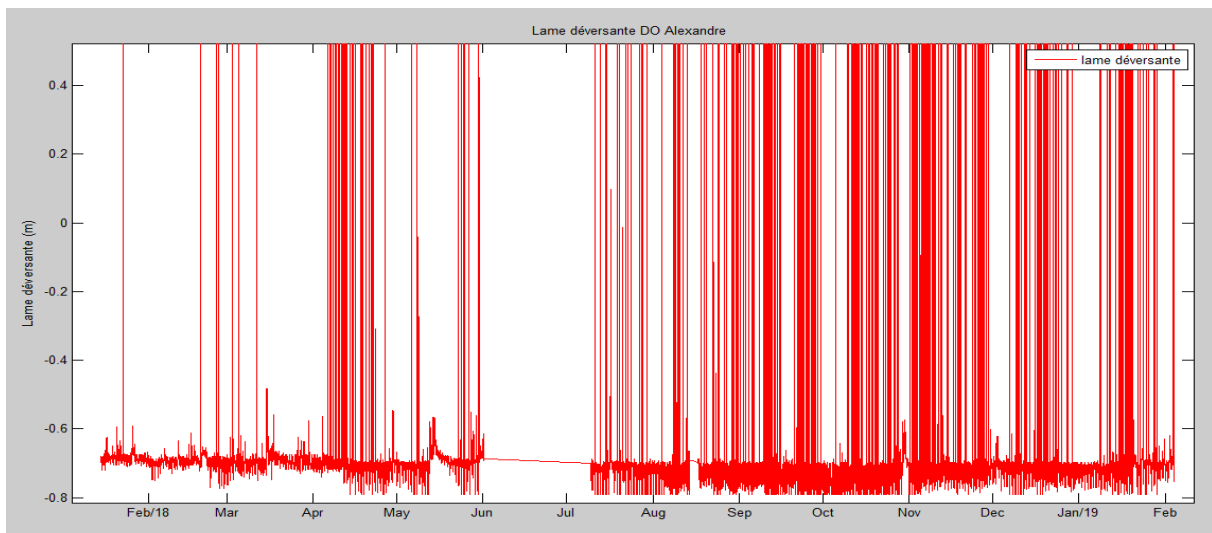


Figure 19 : Lame déversante DO Alexandre sans modification

Or, cette valeur de 0.62 m correspond à la lame déversante maximale (différence entre le diamètre de la canalisation amont et la lame déversante minimale, cf. Annexe 7), qui est atteinte, d'après les données de mesures, près de 14 000 fois (soit 233h).

Ces valeurs aberrantes, liées à une saturation du capteur, ont donc été remplacées par « NaN » (Not a Number) (RAGOT, et al., 1990). La nouvelle chronique obtenue est ainsi plus cohérente avec la pluviométrie et les données issues du capteur de surverse (cf. Figure 20).

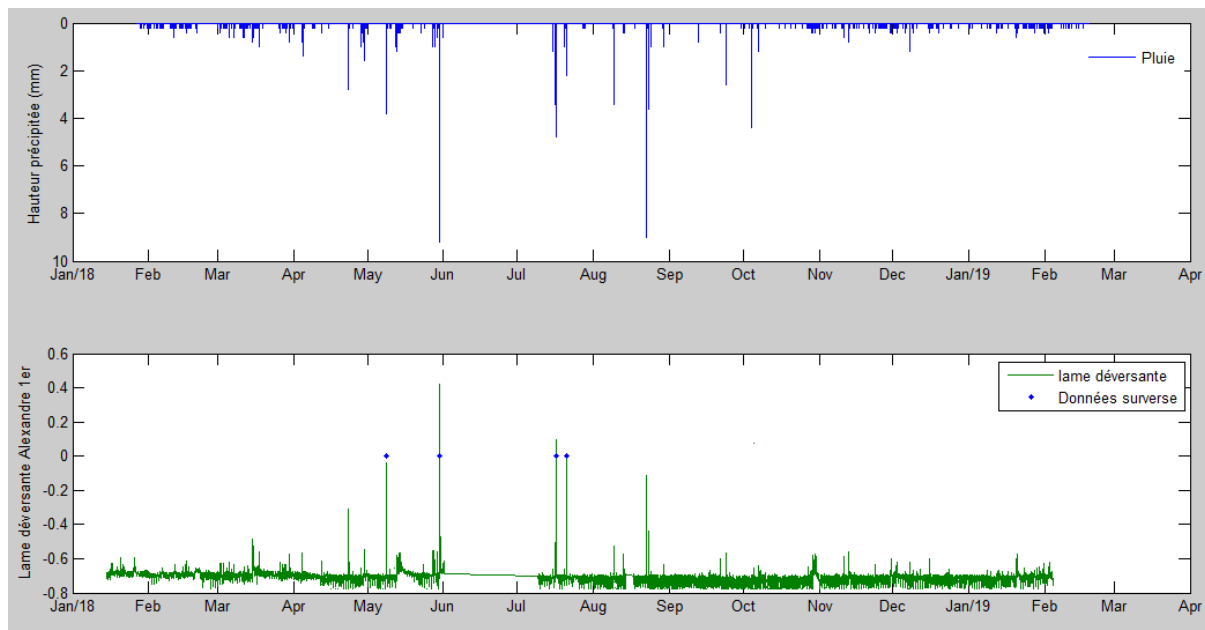


Figure 20 : Lame déversante DO Alexandre après modification

➤ Absence de données

Aucune donnée n'est disponible entre le 14/05/2018 et le 19/08/2018 pour le déversoir Charles de Gaulle. Cela a été notifié à la collectivité, mais Vichy Val d'Allier ne s'était pas aperçu de ce dysfonctionnement. Il faudra donc prendre en compte cette absence de données pour la suite de l'analyse.

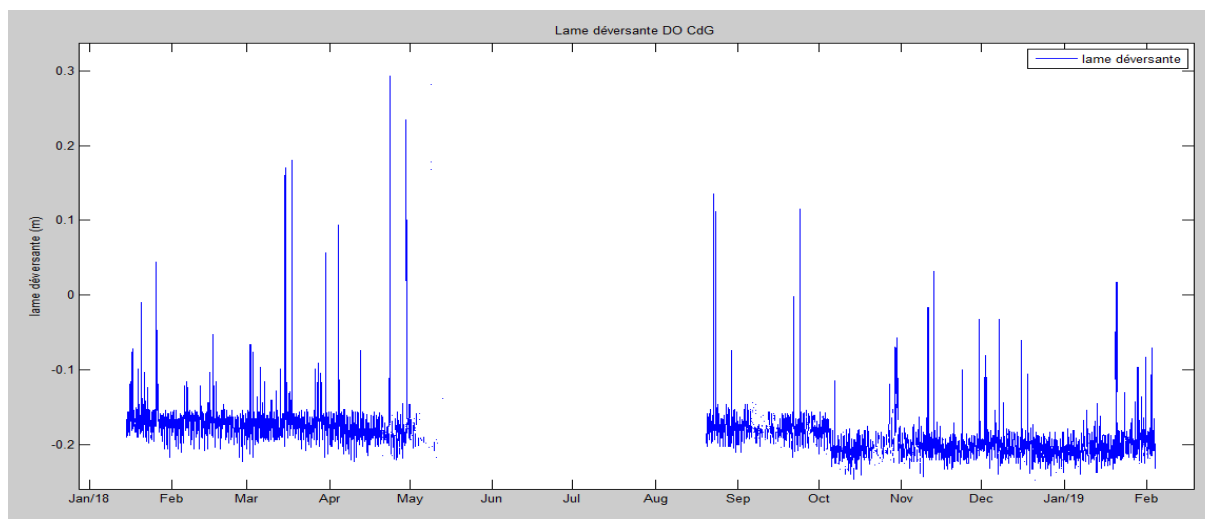


Figure 21 : Lame déversante DO Charles de Gaulle

3.1.3. Chronique de débits déversés

Le débit déversé étant calculé à partir des données de hauteurs, les dysfonctionnements observés précédemment sur les chroniques de hauteurs impactent le débit déversé calculé par la collectivité. De ce fait, la présence de créneaux lors du ressuyage de chaque pic de hauteur sur plusieurs DO entraîne une différence entre le débit calculé et le débit transmis par Vichy : en effet, ces hauteurs aberrantes ne sont pas retenues par la supervision de Vichy, leur chronique de débit est donc tronquée de ces valeurs et diffère de celle calculée avec la chronique de hauteur « réelle » intégrant le ressuyage (même si celles-ci paraissent douteuses).

Sur la Figure 22, la chronique bleue représente le débit calculé à partir de la formule hauteur – débit déterminée à la suite de l'étude de 3D EAU et la chronique verte représente le débit transmis par Vichy Val d'Allier.

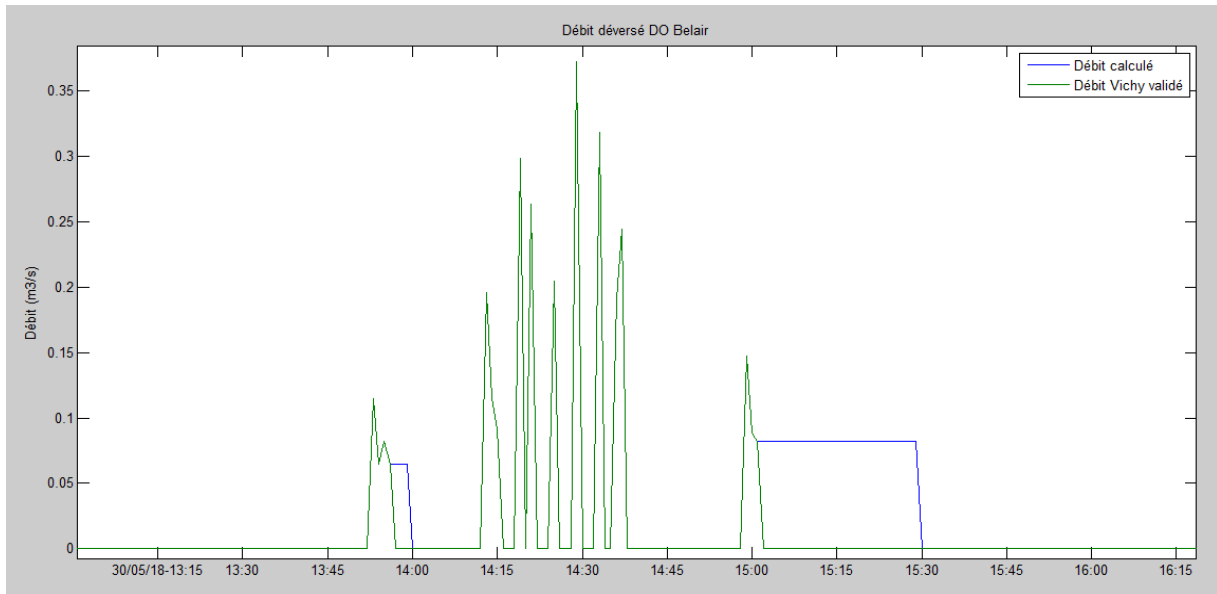


Figure 22 : Chronique de débits déversés DO Bel-Air

Cette différence sur le débit n'est pas négligeable et induit, par exemple, une erreur sur le volume déversé de 84% sur la chronique présentée en Figure 22.

Remarque : le choix de ne pas conserver le ressuyage après les pics, même sous forme de créneau, semble inconscient. La collectivité n'avait pas identifié ce choix, il a été probablement imposé par l'entreprise ayant mis en œuvre la supervision.

3.1.4. Temps de déversement

Les temps de déversement fournis par Vichy sont calculés à partir des données du capteur de surverse ; or le capteur de surverse se déclenche parfois alors qu'aucun déversement n'est observé. Certains temps de déversement sont donc incohérents.

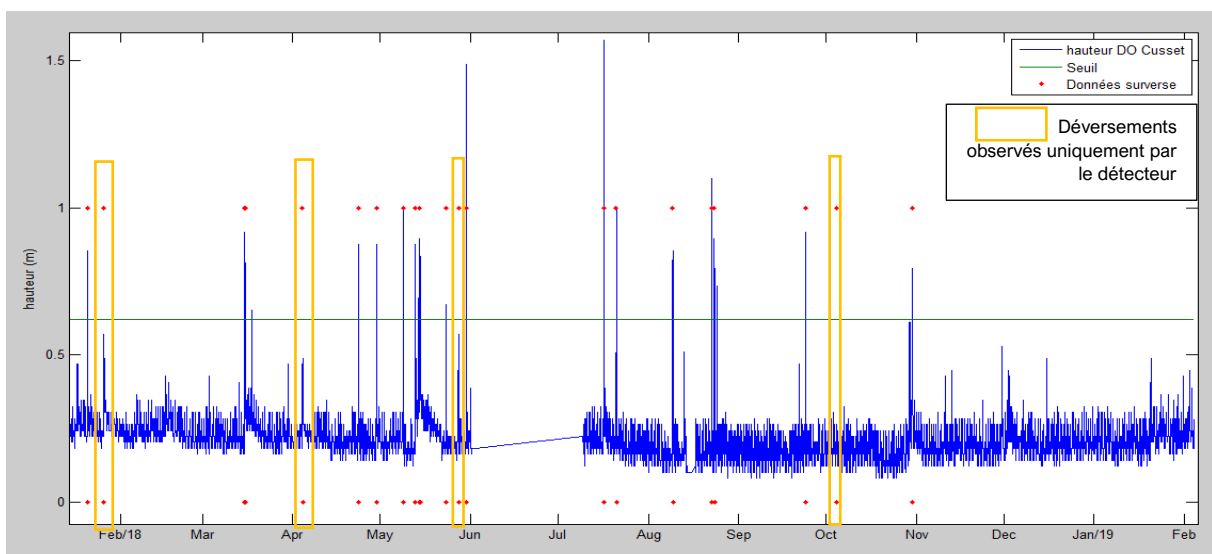


Figure 23 : Données de hauteurs et de surverse du DO Cusset

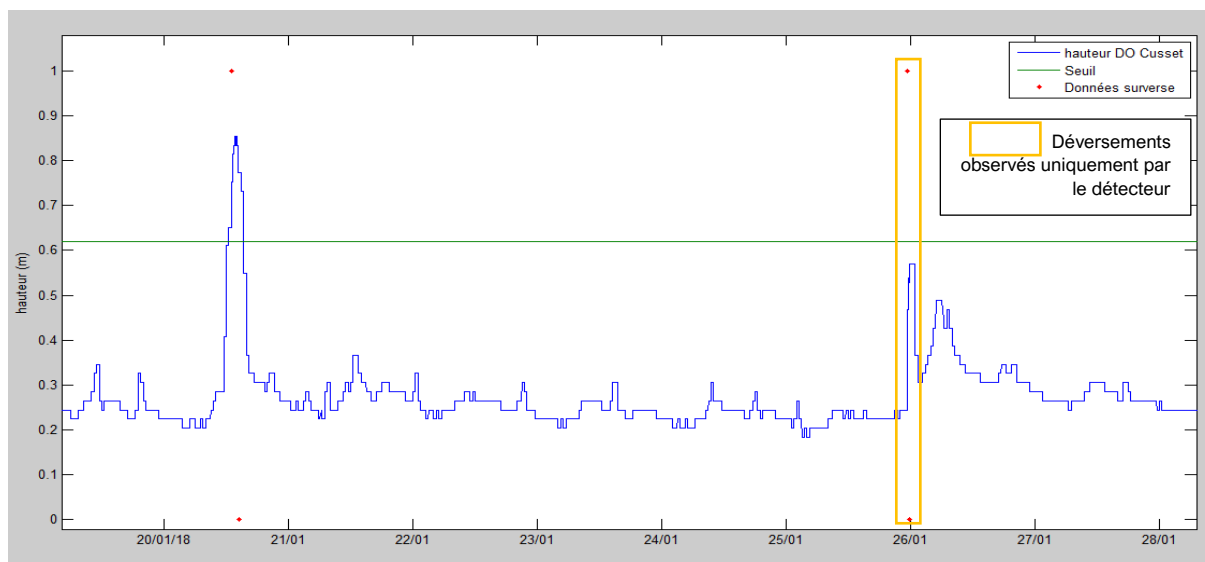


Figure 24 : Déversement observé uniquement par le détecteur de surverse

Le capteur de surverse a observé un déversement pendant 30 minutes autour du 26/01, cela peut être dû à un objet (lingette, etc.) qui s'est déposé sur le capteur lorsque le niveau d'eau est monté et l'a déclenché. Il est également probable que le détecteur de surverse soit installé quelques centimètres au-dessous du niveau du seuil et ainsi le niveau d'eau ait atteint le seuil de déclenchement du détecteur sans pourtant atteindre le seuil de déversement. Les déversements observés uniquement par le détecteur de surverse ont un temps de déversement inférieur à 30 minutes.

À l'inverse, certains déversements ne sont pas observés par le détecteur de surverse comme présenté sur la Figure 25 : Déversement non observé par le détecteur de surverse.

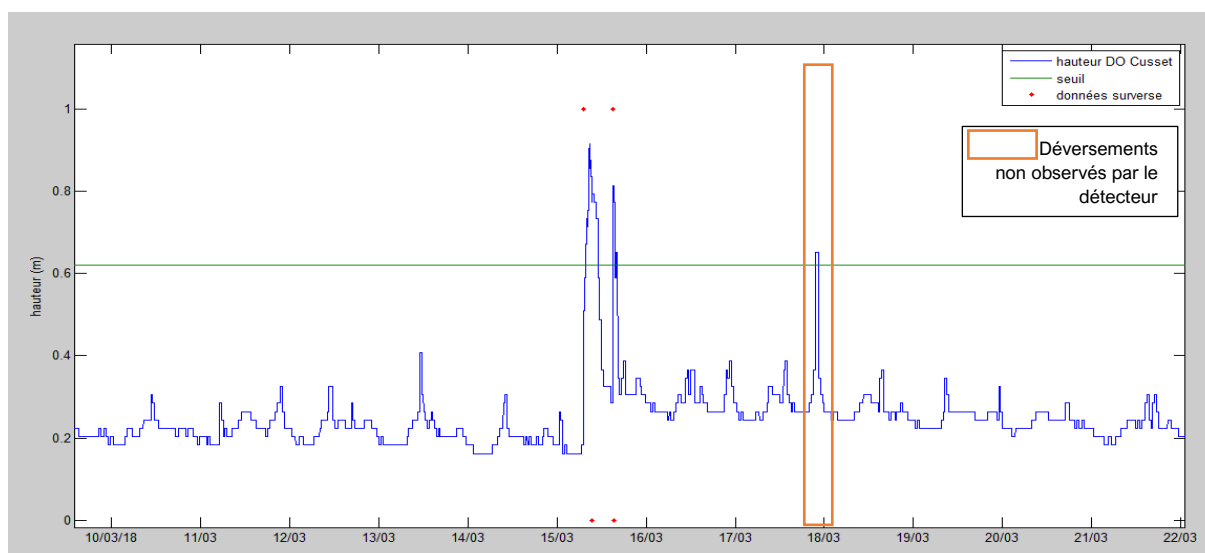


Figure 25 : Déversement non observé par le détecteur de surverse

Ce déversement a une durée de 60 minutes et la hauteur d'eau au-dessus du seuil est assez faible : 5 cm. Cela pourrait être dû à un dysfonctionnement du capteur de surverse, ou bien à une mauvaise définition du zéro du capteur de hauteur d'eau. L'analyse des autres données disponibles a permis d'identifier que ce type de défaut n'était pas récurrent. Si cela avait été le cas, une descente dans l'ouvrage afin de vérifier ces deux points semblerait nécessaire.

Remarque : les temps de déversements fournis par la supervision sont parfois sous-estimés, car le capteur de surverse ne prend pas en compte les créneaux. Par ailleurs, sur certains sites, le détecteur de surverse est situé quelques centimètres sous le seuil de déversement, afin de bien mesurer le pic de déversement et de permettre le changement de pas de temps d'acquisition des données avant le pic. Au final le pas de temps d'acquisition des capteurs de hauteurs d'eau à Vichy Val d'Allier a été maintenu fixe sur toute la gamme de mesure, à 1 minute suite aux choix de la collectivité.

Les données issues des capteurs de surverse ne sont donc pas faibles à 100%, car régulièrement en défaut. Il n'est donc pas souhaitable de les utiliser seuls pour évaluer le nombre ou les temps de déversements. Ils doivent toujours être mis en relation avec la chronique des hauteurs et permettent ainsi de compléter leur analyse en cas de dysfonctionnement.

Ces différences entre les données de surverse et les données de hauteurs sont présentes pour tous les déversoirs.

3.1.5. Conclusion de la validation triviale

La validation triviale des données permet de faire un point sur la fiabilité des mesures et d'identifier un certain nombre de dysfonctionnements altérant les données issues de tous les ouvrages étudiés (cf. Tableau 6). Ces dysfonctionnements n'avaient été identifiés ni par la collectivité, ni par l'Agence de l'Eau auxquelles les informations sont transmises (en tout cas, aucune non-conformité des données n'a été transmise à la collectivité). Pour autant, ils ont un impact sur les bilans annuels de déversements effectués et le calcul final de conformité.

Tableau 6 : Résumé de la validation des données et des problèmes rencontrés dans l'analyse triviale

Point d'attention	Problèmes rencontrés	Déversoirs concernés
Formule hauteur/débit	Aucun	Tous les DOs
Chronique de hauteurs	Présence de créneaux Saturation du capteur Dérive du capteur Absence de données	Lac d'Allier, Bel-Air, Sichon Alexandre 1 ^{er} Lac d'Allier, Glénard CdG (+ tous les Dos)
Chronique de débits	Différence sur les débits et volumes	Lac d'Allier, Sichon, Bel-Air
Temps de déversement → Détecteur de surverse	Temps de déversement sans déversement observé	Tous les DOs

Il est difficile d'automatiser complètement la validation des données, dans la mesure où certaines anomalies sont détectables visuellement et doivent être traitées au cas par cas.

3.2. Analyse « métier » des données

Après avoir validé les données métrologiques, le temps de déversement total, le volume déversé total et le nombre de déversements sont calculés pour chaque déversoir.

Dans ce cas, et pour des raisons de concision, seuls les résultats du déversoir Lac d'Allier seront présentés dans ce rapport. Les résultats des autres déversoirs seront néanmoins exploités lors de l'analyse globale du réseau.

3.2.1. Fonctionnement hydraulique du déversoir Lac d'Allier

Le déversoir Lac d'Allier est le déversoir à plus fort enjeu de Vichy Val d'Allier. Ce déversoir est soumis à l'autosurveillance avec une mesure du débit déversé et une estimation des charges organiques rejetée vers le milieu récepteur, étant que sa charge brute de pollution organique journalière est de 1 560 kgDBO₅/j (> 600 kgDBO₅/j) (cf. Tableau 3).

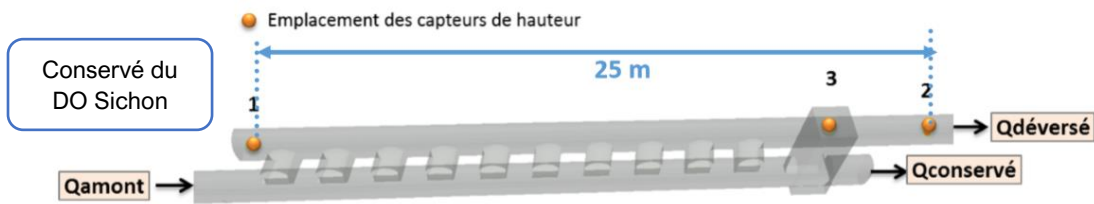


Figure 26 : Schéma du déversoir Lac d'Allier avec l'emplacement des capteurs de hauteur

L'analyse hydraulique du déversoir Lac d'Allier réalisée par 3D EAU a mis en évidence un fonctionnement possiblement noyé du déversoir.

Pour rappel, un écoulement est noyé lorsque le débit dépend de la hauteur d'eau amont h_1 et de la hauteur aval h_2 (cf. Figure 27). L'influence aval est d'autant plus importante que le rapport h_2/h_1 est important (VAZQUEZ, 2016).

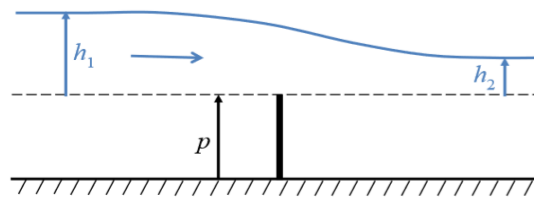


Figure 27 : Représentation d'un écoulement noyé (VAZQUEZ, 2016)

La conduite aval du déversoir Lac d'Allier peut être influencée lors d'un déversement important du déversoir amont (Sichon) ou lors d'une montée d'eau dans la galerie d'eaux pluviales (cf. le synoptique du réseau en Annexe 2).

À partir des données disponibles et des conditions d'envois définies par 3D EAU, l'étude du fonctionnement hydraulique sur la base des données disponibles montre que le déversoir Lac d'Allier fonctionne 94% du temps en noyé. L'étude de l'interaction des déversoirs Sichon et Lac d'Allier permettra de comprendre la cause de cette influence (cf. Étude de l'influence aval du déversoir Lac d'Allier en page 51).

Remarque : Le rapport h_2/h_1 est parfois très supérieure à 1 (cf. Figure 28). Or cela signifierait que la hauteur à l'aval du seuil est supérieure à la hauteur amont, donc que l'eau coule dans le sens inverse, ce qui n'est pas le cas. Ce rapport élevé s'explique par la présence de créneaux lors des déversements (cf. Figure 15). La présence de ces créneaux remet en cause l'instrumentation et la configuration des capteurs au niveau de Lac d'Allier. Il est alors difficile de déterminer le réel fonctionnement hydraulique du déversoir Lac d'Allier.

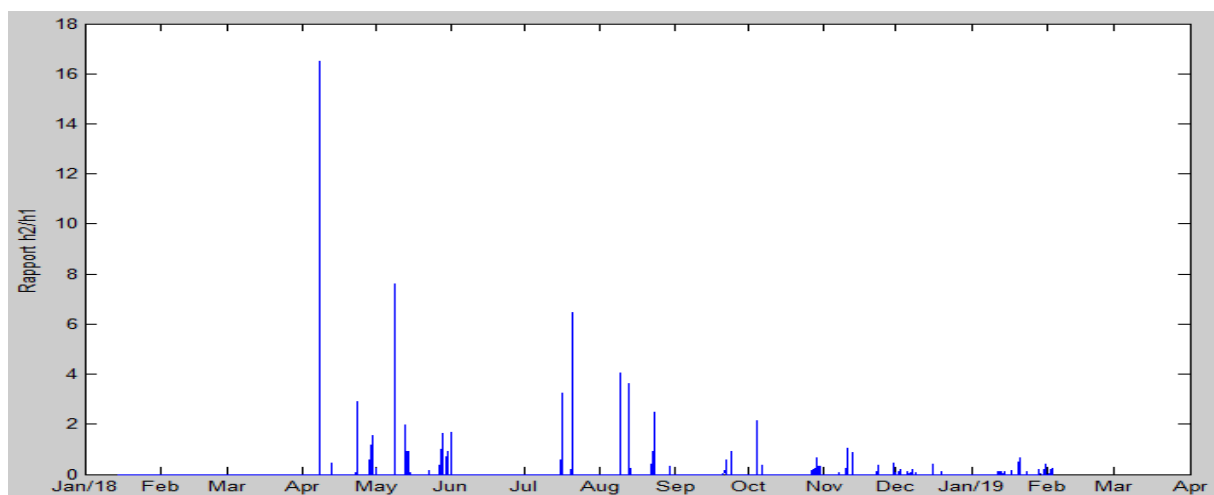


Figure 28 : Rapport h_2/h_1 du déversoir Lac d'Allier

3.2.2. Volume déversé, temps et nombre de déversements

À partir des chroniques de hauteurs présentées ci-dessous, le nombre et le temps de déversement ainsi que le volume peuvent être déterminés.

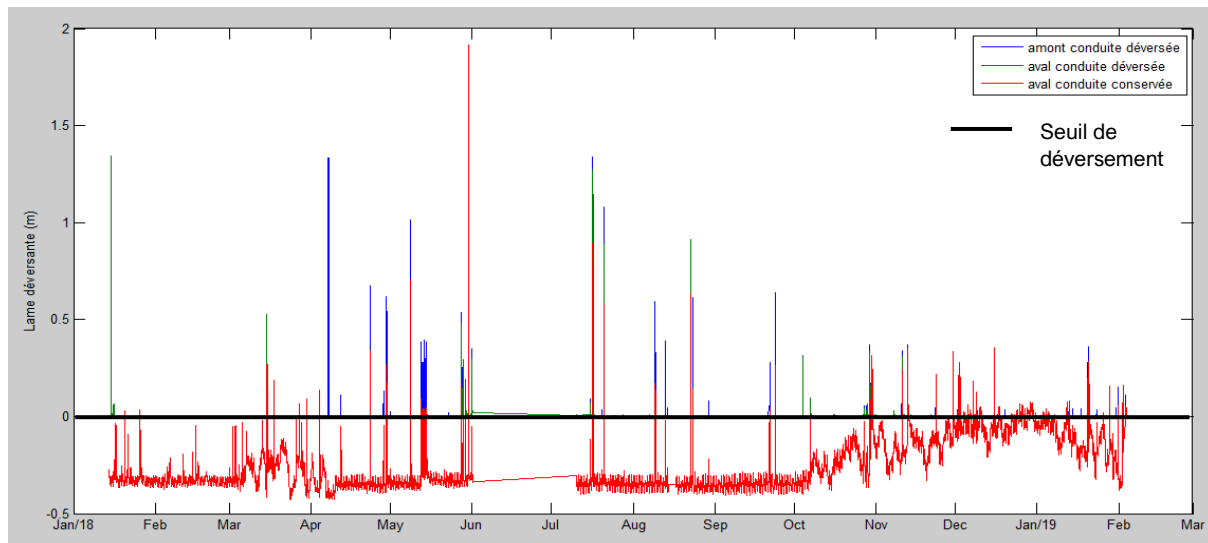


Figure 29 : Chroniques de hauteurs du déversoir Lac d'Allier avec seuil de déversement

Les résultats du déversoir Lac d'Allier sont retranscrits dans le tableau suivant :

Tableau 7 : Résultat de l'analyse pour le déversoir Lac d'Allier

Volume déversé (m³)	30 739
Temps de déversement (min)	234,4
Nombre de déversements	59

Il faut noter que ces résultats sont sûrement surestimés, car à partir d'octobre 2018 les données de hauteurs ne sont pas fiables (cf. La dérive du capteur pour les déversoirs Lac d'Allier et Bel-Air et la Figure 17). Par ailleurs, la fiabilité des données est également limitée en raison de la présence de créneaux, une grande incertitude est donc présente sur le débit et le volume déversé.

Le critère de conformité en termes de nombre de déversements n'est donc pas respecté pour le déversoir Lac d'Allier, car plus de 20 déversements par an sont observés.

3.2.3. Incertitude sur le volume

Chaque volume déversé est associé à un débit déversé (cf. Méthodologie de l'outil d'analyse d'un déversoir), associé lui-même à une incertitude définie préalablement. Pour chaque classe d'incertitude, par exemple entre 10 et 20%, le volume déversé total par le déversoir est calculé.

Pour le déversoir Lac d'Allier, 20% du volume déversé total (environ 6 500 m³) est associé à une incertitude sur le débit de plus de 100%.

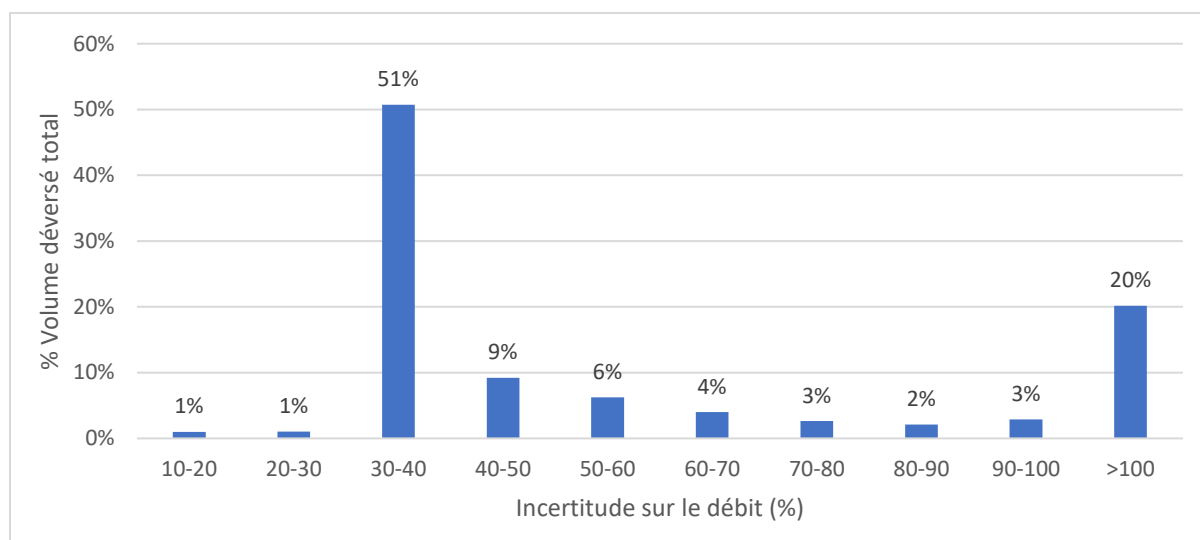


Figure 30 : Volume déversé (%) par classe d'incertitude sur le débit

Le cas du déversoir Lac d'Allier est un cas exceptionnel, pour les 6 autres déversoirs du réseau, l'incertitude sur le débit est inférieure à 20% pour plus de 70% du volume déversé total (cf. Annexe 12 et Annexe 13).

Cette forte incertitude sur le débit peut s'expliquer par des lames déversantes faibles. En effet, 50% des lames déversantes mesurées à l'aval de la conduite conservée sont inférieures à 3 cm ; 50% des hauteurs mesurées à l'amont de la conduite déversée sont inférieures à 5 cm. Une faible lame déversante ne permet pas de garantir une bonne incertitude.

En utilisant la propagation des incertitudes (cf. Étape 4), l'incertitude sur le volume total déversé par le déversoir Lac d'Allier, avec un intervalle de confiance à 95%, est de $\pm 1\ 162\ \text{m}^3$, ce qui représente 4% du volume déversé total. Cette faible incertitude relative totale, alors même que l'incertitude relative ponctuelle est élevée, s'explique par le grand nombre de pas de temps disponible et le fait qu'on considère les erreurs centrées sur zéro.

Cette incertitude suppose néanmoins que les données initiales de hauteurs sont fiables à $\pm 0.01\ \text{m}$, ce qui n'est pas le cas dans la réalité étant donné la présence de créneaux. L'incertitude totale calculée sur le volume global est donc fortement sous-estimée.

3.2.4. Caractéristique des pluies engendrant un déversement

Une analyse des pluies ayant entraîné un déversement du déversoir Lac d'Allier montre que 50% des déversements sont engendrés par des pluies ayant une intensité moyenne inférieure à 3,12 mm/h et une durée médiane de 85 min.

Les déversements du déversoir Lac d'Allier sont donc provoqués par des pluies ayant une faible intensité et une longue durée.

Il est intéressant d'étudier le volume déversé par période de retour pour différentes durées, afin de caractériser les pluies ayant généré le plus de volume déversé.

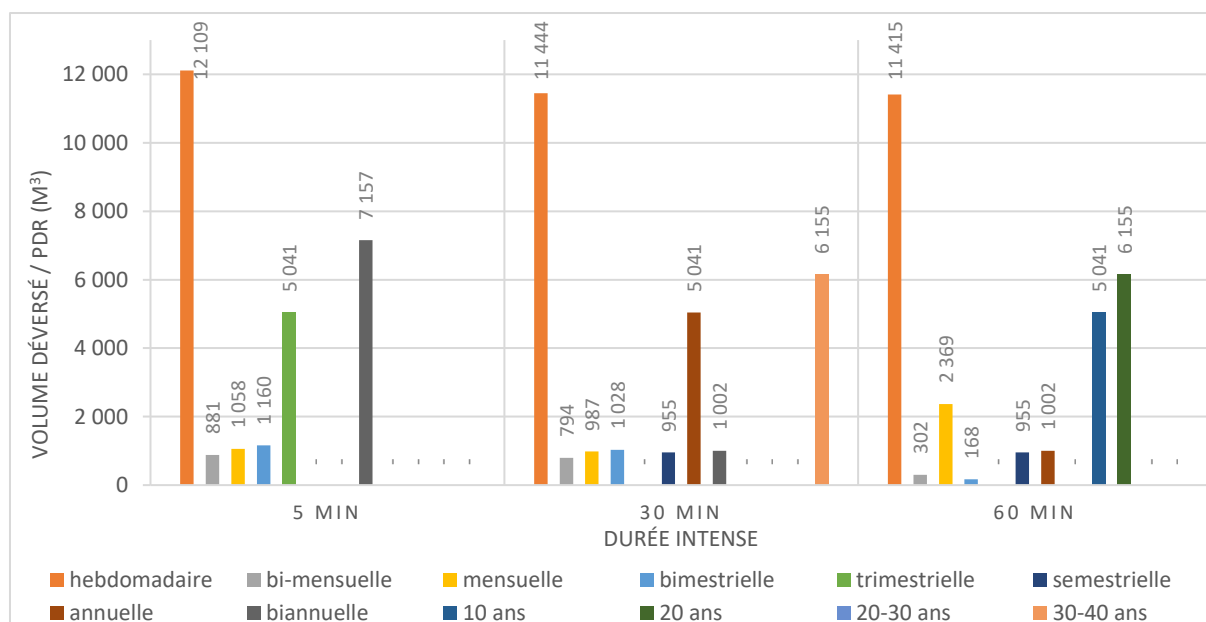


Figure 31 : Volume déversé par période de retour du déversoir Lac d'Allier

Le déversoir Lac d'Allier déverse donc en majorité pour des pluies ayant une période retour inférieure ou égale à une semaine.

3.2.5. Vérification du dimensionnement du réseau eaux usées et des niveaux de services
Comme rappelé dans la partie Outil d'analyse des pluies, les niveaux de services, permettant la gestion du système d'assainissement pour différentes situations météorologiques, correspondent à des états différents de fonctionnement du système : du temps sec à des événements exceptionnels (cf. en Annexe 10).

➤ Vérification du niveau 0 et 1

Chaque niveau de service est associé à des conditions pluviométriques :

- N0 : temps sec,
- N1 : faible pluie avec une période de retour entre 15 jours et 6 mois.

Pour ces deux niveaux de services, aucun déversement d'eaux usées non traitées n'est autorisé.

Pour le cas du déversoir Lac d'Allier, plusieurs déversements ont eu lieu pour les niveaux de service N0 et N1.

Tableau 8 : Nombre de déversements et volume déversé par niveau de service

Niveau de service	Nombre de déversements	Volume déversé (m ³)
0 (temps sec)	13	3 072
1 (PdR entre 15 jours et 6 mois)	43	10 468

Les déversements en temps sec sont en partie liés à la dérive du capteur observée à partir d'octobre 2018. Les déversements du déversoir Lac d'Allier ont lieu majoritairement pour le premier niveau de service, or l'objectif de ce niveau de service est la protection du milieu naturel.

➤ Vérification du niveau 2

Le niveau de service N2 correspond à des pluies moyennes avec une période de retour de 2 à 20 ans. Des déversements sont autorisés pour ce niveau de service, mais doivent être maîtrisés. Les débordements ne sont pas acceptés.

Le taux de remplissage de la conduite conservée est étudié pour le déversoir Lac d'Allier (cf. Figure 32).

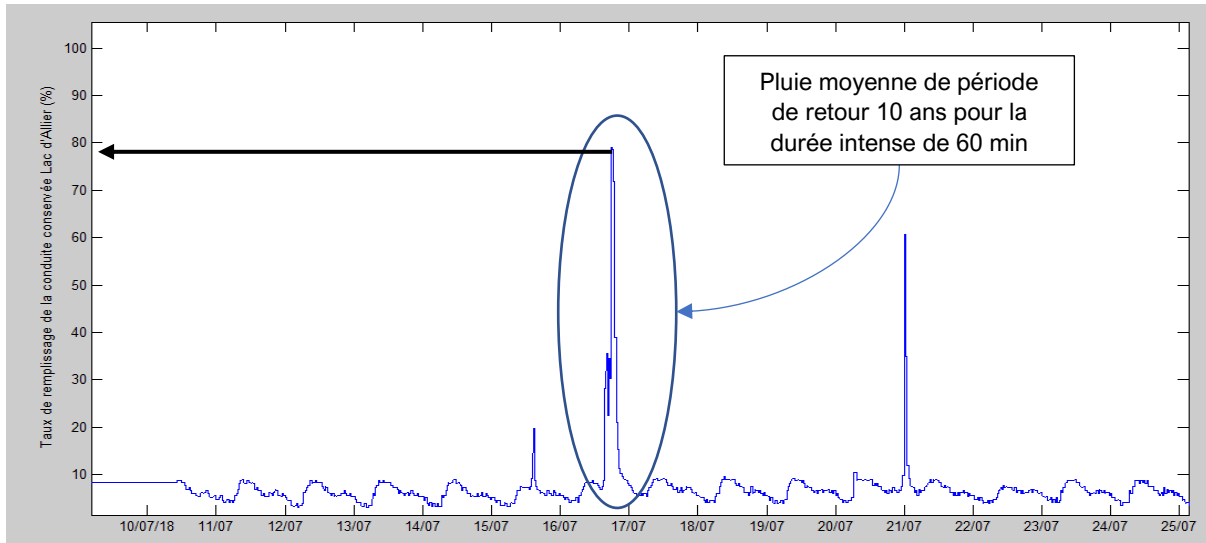


Figure 32 : Taux de remplissage de la conduite conservée du déversoir Lac d'Allier pour une pluie du niveau de service N2

Le taux de remplissage de la conduite est environ de 80 %, aucun débordement n'est observé. Par ailleurs, pour toutes les autres pluies du niveau de service N2, le taux de remplissage est au maximum de 80%.

➤ *Vérification du niveau de service 3*

Le niveau de service N3 correspond à des pluies fortes avec une période de retour de 10 à 50 ans. Des débordements sont autorisés pour ce niveau de service, mais doivent être maîtrisés.

Durant la période d'étude, une pluie forte est observée (cf. Figure 33).

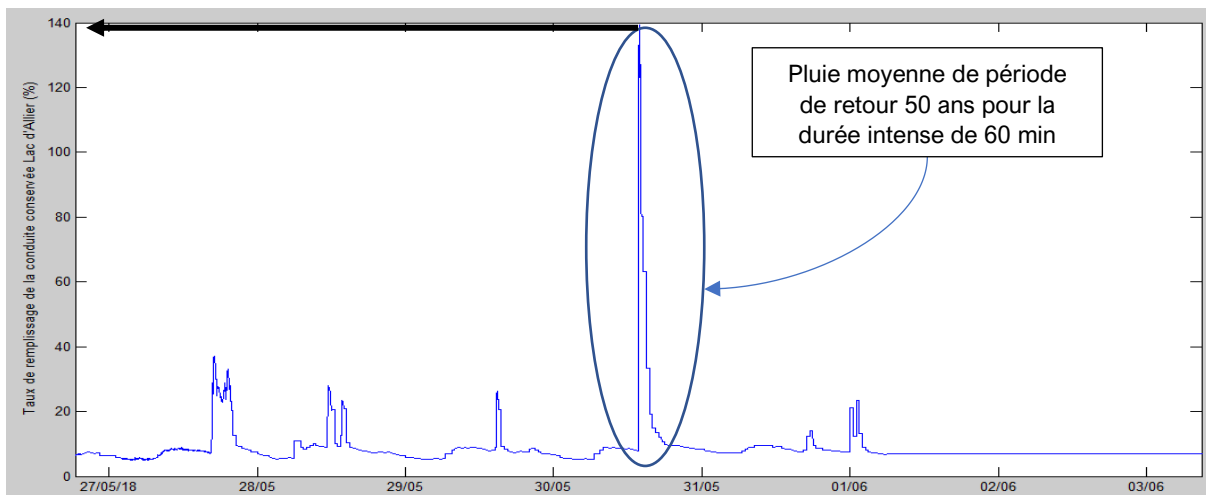


Figure 33 : Taux de remplissage de la conduite conservée du déversoir Lac d'Allier pour le niveau de service N3

Pour cette pluie, une mise en charge de la canalisation à plus de 100% est observée. Le capteur n'ayant pas saturé, le débordement n'a pas eu lieu au niveau du regard du déversoir Lac d'Allier mais dans d'autres points clés du réseau. En effet cette pluie a provoqué quelques inondations de sous-sols de la ville, mais la situation a été maîtrisée (CROS D., 2018).

➤ *Conclusion du respect des niveaux de services*

Les niveaux de services N0 et N1 ne sont donc pas respectés, beaucoup de débordements sont observés pour ces deux niveaux de services. Par ailleurs, pour des pluies moyennes et fortes, les déversements et éventuels débordements sont maîtrisés.

Si ces résultats sont confirmés après vérification des problématiques de dérives / défaut de capteur (validation triviale), la collectivité devra donc mettre en place des solutions pour supprimer les déversements des niveaux de service 0 et 1, dans le but de protéger le milieu naturel.

3.2.6. Mise en perspectives des données de hauteur avec les informations du détecteur de surverse et de la galerie EP

Comme évoqué précédemment, la chronique de hauteurs du déversoir Lac d'Allier n'est pas fiable à compter d'octobre 2018. À l'aide des données du capteur de surverse, le nombre de déversements et le temps de déversement ont été recalculés pour la période « douteuse ».

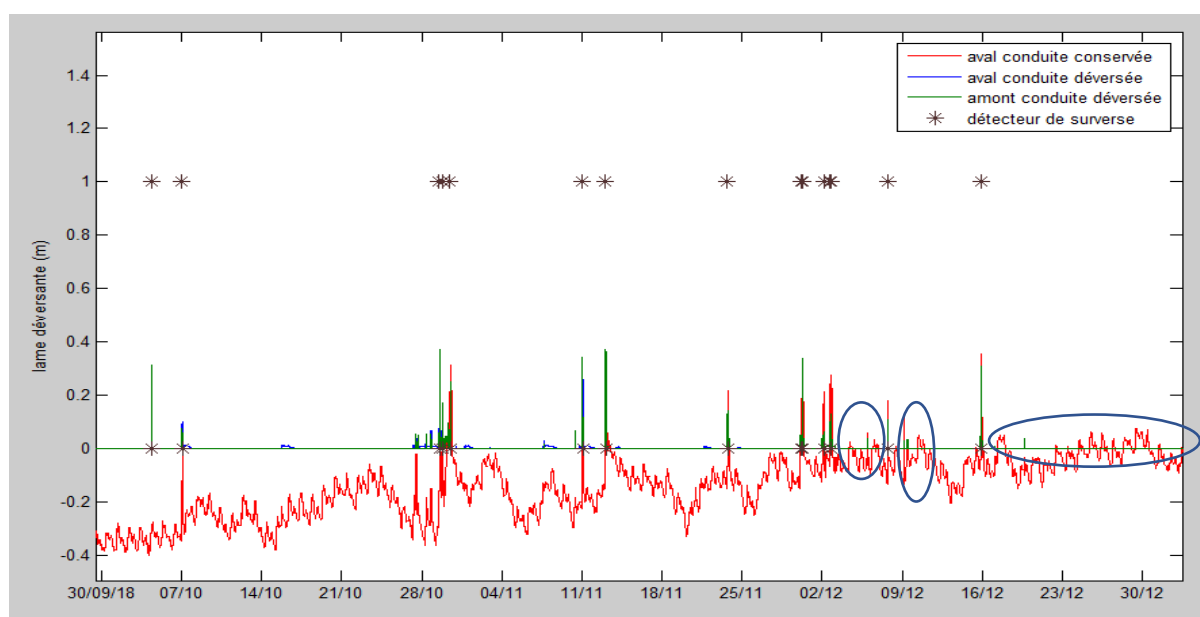


Figure 34 : Déversements non comptabilisés par le détecteur de surverse du déversoir Lac d'Allier

Les volumes déversés pendant les périodes de déversements n'ayant pas été détectées par le détecteur de surverse ne sont pas comptabilisés pour le calcul du volume déversé final. Une vingtaine de déversements n'ont pas été pris en compte par le détecteur de surverse (cf. Tableau 9).

Tableau 9 : Résultats de l'analyse du déversoir Lac d'Allier recalculés à l'aide des données de surverse

Volume déversé (m³)	26 034
Temps de déversement (min)	88,4
Nombre de déversements	38

Étant donné que les données issues du détecteur de surverse peuvent ne pas être fiables, le volume de la galerie d'eaux pluviales (galerie récupérant l'ensemble des eaux pluviales et des rejets déversés par la plupart des déversoirs avant le rejet vers l'Allier, cf. le synoptique du réseau en Annexe 2) est comparé au volume déversé total par les déversoirs déversant dans cette galerie. Pour information, le volume déversé total par les déversoirs représente parfois plus de 50% du volume transitant dans cette galerie.

Pour les déversements « douteux », le volume déversé par les déversoirs est supérieur au volume total dans la galerie d'eaux pluviales. L'exploitation des volumes de la galerie d'eaux pluviales confirme les résultats obtenus avec les données du capteur de surverse.

3.3. Conclusion de l'application de l'outil d'analyse d'un déversoir sur un site grandeur nature

Il est difficile d'avoir exclusivement des données d'analyse fiable dans une chronique de données, c'est pour cela que la validation triviale est fondamentale pour l'analyse des données. La validation triviale peut être automatisée, mais il est primordial d'analyser les données à l'aide de graphiques, tableaux, etc. pour détecter d'éventuelles anomalies. En effet, bien que la supervision envoie des données non nulles, parfois celle-ci n'ont aucun sens physique. C'est pourquoi, les collectivités n'ayant pas les moyens d'analyser ses données sont susceptibles d'envoyer des données non fiables à l'Agence de l'eau, qui les validera car celles-ci ne sont pas nulles. Il est difficile pour l'Agence de l'eau de réaliser une validation dite « métier » des données car ses moyens humains restent limités. De plus, elle n'a pas à disposition toutes les données existantes sur le réseau.

Une validation, dite métier, permet la mise en perspective de toutes les données disponibles sur chaque site, qu'elles soient pluviométriques, de hauteurs, de surverse, etc. (dans l'outil 2). Pour autant, cette analyse métier vise également à l'extension de cette étude de cohérence à toutes les données du réseau disponibles.

Ainsi, le troisième outil présenté dans la partie suivante vise à étendre l'analyse d'un site à l'ensemble du réseau d'assainissement afin d'avoir une vision globale.

Outil d'analyse du réseau

Pour avoir une meilleure connaissance du réseau, il est important de croiser les données de tous les ouvrages et de la pluviométrie. Une meilleure connaissance permettra d'identifier les problèmes liés à la métrologie, de mieux comprendre les déversements et les interactions entre les différents ouvrages. L'analyse du réseau pourra donc valider ou infirmer des données, des positions de capteurs, etc. en vérifiant la cohérence de toutes les données.

Poussée à son terme, cette analyse du réseau permettrait de prévoir un plan d'action à adopter pour avoir un fonctionnement pérenne et moins de déversement.

L'objectif final de cet outil est de hiérarchiser les ouvrages et de calculer le critère de conformité en termes de volume.

1. Présentation de l'outil

L'outil d'analyse du réseau est programmé de la même manière que les outils précédents.

La particularité de l'outil est de récupérer les résultats des outils précédents et de les croiser pour faire une analyse complète du réseau.

Des informations supplémentaires à renseigner, en plus des fichiers de la pluviométrie (issus de l'outil 1) et d'analyse de chaque déversoir d'orage du réseau d'assainissement étudié (issu de l'outil 2), sont :

- Le volume en entrée de station
- Le volume déversé au point A2 (déversoir d'orage en tête de station), si celui-ci n'a pas été étudié dans l'outil 2 (comme c'est le cas à Vichy Val d'Allier)

À partir de ces données, le critère de conformité sur le volume peut être calculé. De plus, une hiérarchisation sur les différents déversoirs en termes de fréquence, de volume déversé et de temps de déversements est réalisée.

2. Méthodologie de l'outil

Plusieurs étapes sont nécessaires pour hiérarchiser les ouvrages et déterminer la conformité du réseau en temps de pluie avec le critère sur le volume.

- Étape 1 : Récupérer les données de chaque déversoir

Les données utiles que l'outil doit récupérer sont les suivantes :

- Le nombre de déversements,
- Le volume déversé total avec l'intervalle de confiance,
- Le temps de déversement total.

Une fois ces données récupérées, elles sont stockées sous forme de tableau dans le fichier Excel.

- Étape 2 : Hiérarchisation des ouvrages

Un tri est effectué sur les données précédentes : le classement permet alors de hiérarchiser les ouvrages.

- Étape 3 : Calcul du critère de conformité

À partir des différentes données de volumes, la formule décrite dans le paragraphe « Conformité en temps de pluie » en page 10 est appliquée et le critère est alors calculé.

3. Application au cas de Vichy

En utilisant les résultats calculés grâce à l'outil précédent, une analyse complète est faite sur le réseau de Vichy Val d'Allier.

3.1. Hiérarchisation des ouvrages

Les résultats de l'analyse statistique de chaque déversoir sont compilés, pour réaliser une hiérarchisation des déversoirs selon le nombre de déversements, les temps de déversement et les volumes déversés.

En termes de nombre de déversements, le déversoir Lac d'Allier est majoritaire. Ce déversoir déverse 3 fois plus que les 6 autres déversoirs. Tous les déversoirs respectent le critère de conformité concernant le nombre de déversements, mis à part le déversoir Lac d'Allier.

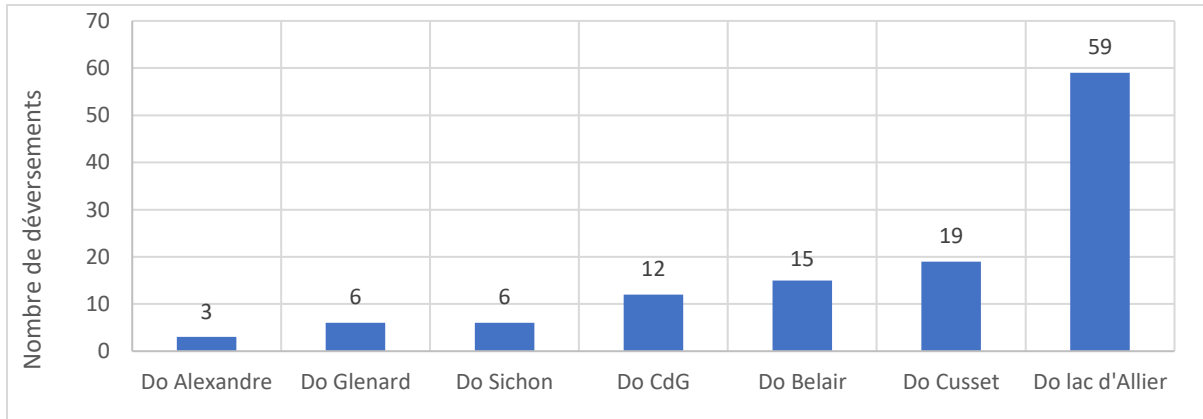


Figure 35 : Nombre de déversements par déversoir

La Figure 35 montre la part importante des déversements de Lac d'Allier (plus de la moitié des déversements observés). Les trois autres déversoirs (Cusset, Bel-Air, Charles de Gaulle) représentent aussi une part non négligeable des déversements (quasiment 40% du volume total).

Remarque : ces résultats sont obtenus avec les données de hauteurs brutes sans confrontation avec le détecteur de surverse (cf. Mise en perspectives des données de hauteur avec les informations du détecteur de surverse et de la galerie EP). Les déversements du déversoir Charles de Gaulle sont donc sous-estimés (cf. Absence de données en page 34), aucune donnée de hauteur n'est pas enregistrée pendant 3 mois. De même, le nombre de déversements du déversoir Lac d'Allier est probablement surestimé, car à partir d'octobre 2018 les données de hauteurs ne sont pas fiables (cf. La dérive du capteur pour les déversoirs Lac d'Allier et Bel-Air).

3.2. Volume et temps de déversement

Sachant que le déversoir Lac d'Allier est majoritaire en nombre de déversements, il est intéressant de comparer ce résultat en termes de volume déversé et de temps de déversement.

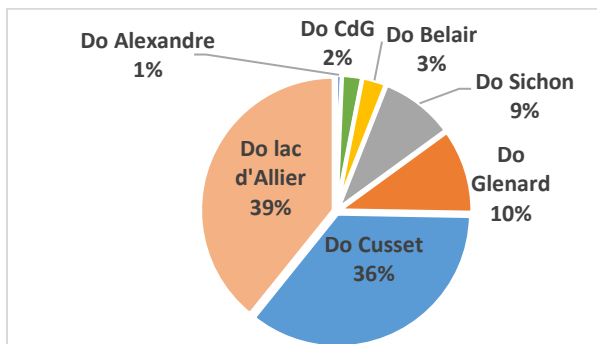


Figure 36 : Part de chaque déversoir sur le volume déversé

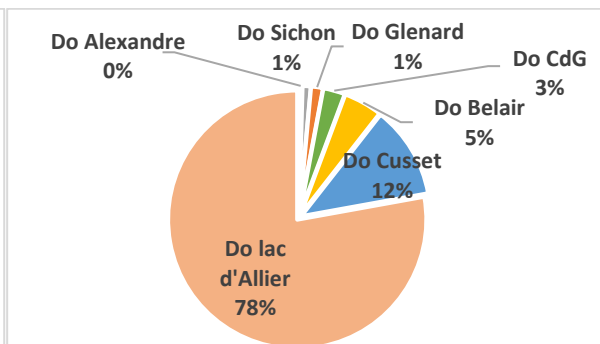


Figure 37 : Part de chaque déversoir sur le temps de déversement

Le déversoir Lac d'Allier est encore une fois majoritaire en termes de volume et de temps de déversement.

En comparant la Figure 36 et la Figure 37, il est en ressort que les déversoirs Lac d'Allier et Cusset déversent un volume similaire, pourtant le temps et le nombre de déversements du déversoir Lac d'Allier sont nettement plus importants que celui du déversoir Cusset. Le déversoir Cusset déverse donc des volumes importants en peu de temps.

De même, les déversoirs Glénard et Sichon contribuent à 10% chacun du volume déversé total pourtant leur contribution en termes de temps et nombre de déversements est très faible.

Remarque : Le déversoir Cusset est un petit déversoir comparé au déversoir Lac d'Allier (cf. Tableau 3), les résultats de l'analyse ont alors remis en question la validité de la loi utilisée. En effet, les nouvelles conditions de la loi hauteur – débit sont présentées par la suite (cf. Critiques des résultats).

L'évolution du volume déversé cumulé permet de mettre en perspective les résultats obtenus précédemment.

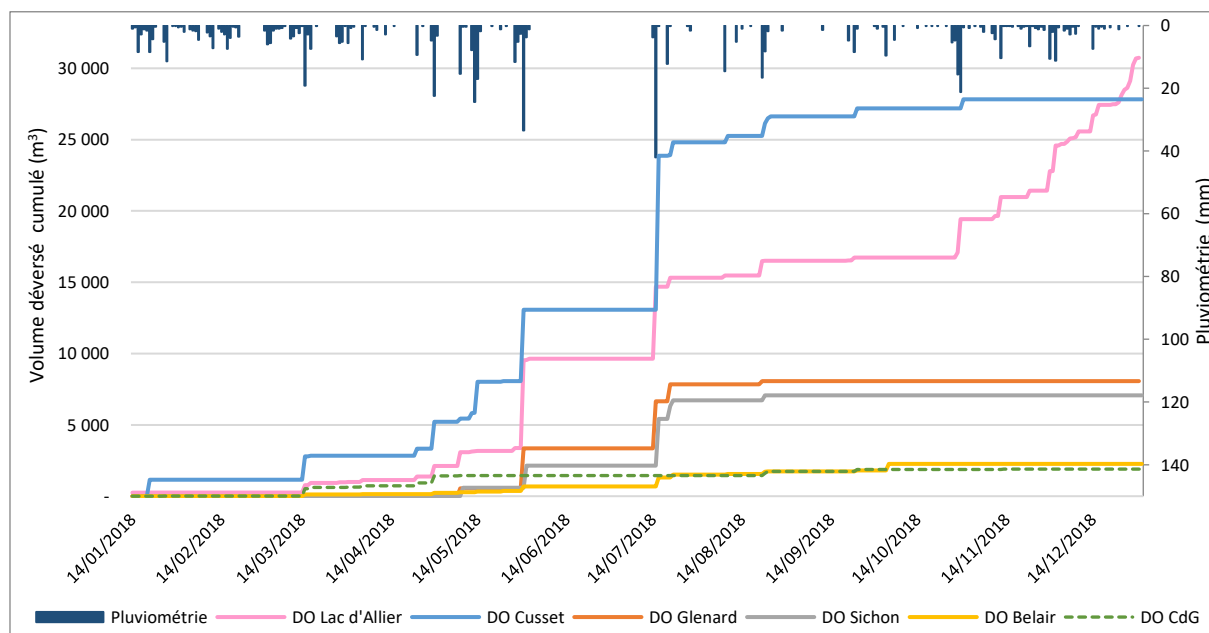


Figure 38 : Volume déversé cumulé des principaux déversoirs sur la période d'étude

En effet concernant le déversoir Lac d'Allier, une succession de petits déversements peut être observée à partir de mi-octobre 2018, représentant près de 10 000 m³, ces déversements peuvent donc être remis en question.

Le déversoir Cusset suit la même tendance que le déversoir Lac d'Allier jusqu'à mi-octobre, mais avec des déversements plus importants, jusqu'à 10 000 m³ déversés en juillet 2018 pour le déversoir Cusset contre 5 000 m³ pour Lac d'Allier.

Les déversoirs Glénard et Sichon ont un comportement similaire : des volumes déversés importants avec une faible fréquence. Par opposition, le déversoir Bel-Air déverse à une fréquence plus importante, mais avec des volumes très faibles.

L'évolution du volume déversé du déversoir Charles de Gaulle n'apporte pas de réelle information, étant donné que le manque de donnée a lieu durant la période où les déversements les plus importants ont lieu.

Dans le but de comprendre la hiérarchisation des déversoirs, les hauteurs du terrain naturel, du seuil et du fil d'eau (profondeur de la canalisation) ont été représentées dans la Figure 39. Les numéros indiquent le rang des déversoirs déversant le plus.

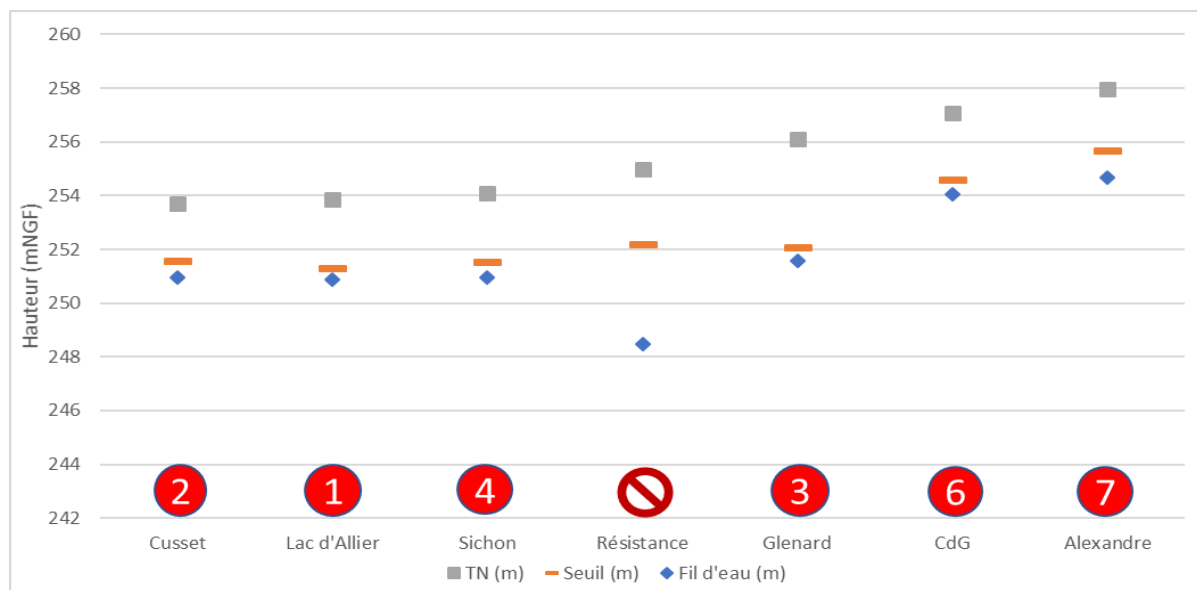


Figure 39 : Localisation du terrain naturel, seuil et fil d'eau pour les déversoirs

Les déversoirs déversant le plus ont des cotes seuil basses comparées à ceux ne déversant peu comme le déversoir Alexandre 1^{er} : une différence de presque 4 m est observée entre la cote seuil Cusset et Alexandre 1^{er}. Il faut noter que Résistance n'est plus un déversoir puisque le trop-plein a été fermé, mais il permet d'avoir une information de hauteur intéressante pour la mise en perspective de données du réseau.

3.3. Critère de conformité du système de collecte sur le volume

Pour déterminer la conformité du système de collecte de Vichy Val en termes de volume, les volumes déversés par déversoir d'orage doivent être récupérés de l'analyse de chaque déversoir (cf. Outil d'analyse d'un déversoir).

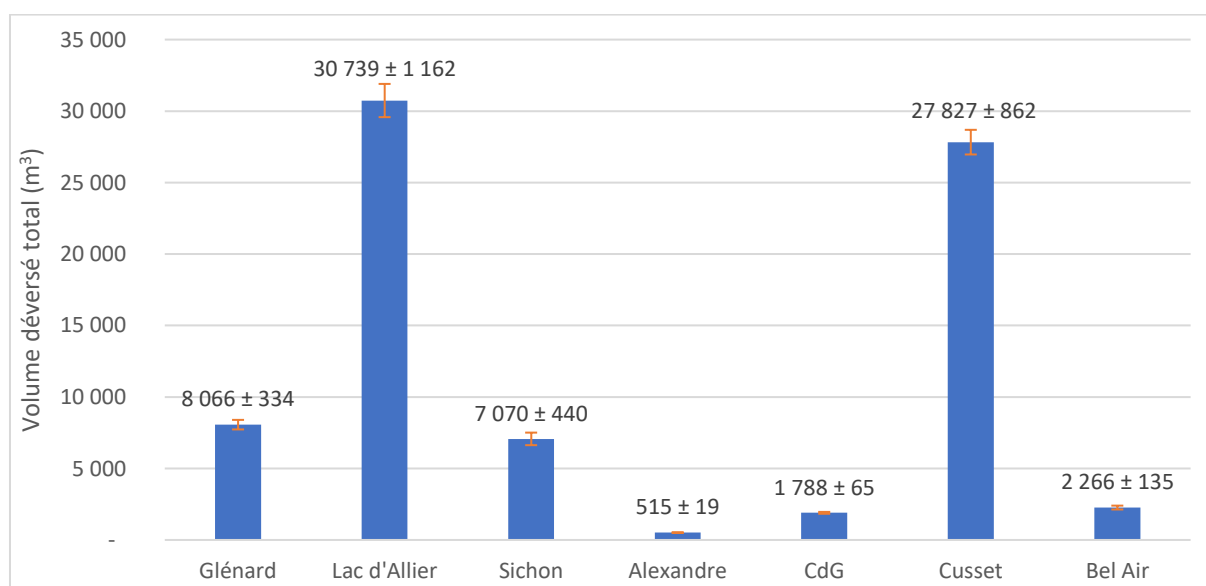


Figure 40 : Volume déversé total par déversoir associé à une incertitude

En utilisant la formule décrite dans le paragraphe de la Conformité en temps de pluie en page 10, la conformité est calculée en prenant compte également des bornes supérieures des volumes déversés.

Tableau 10 : Résultat du critère de conformité sur le volume

	Critère	Borne max
Somme A1	78 616	81 882
Somme totale	7 005 697	7 008 963
Rapport	1%	1%

Le réseau de Vichy Val d'Allier répond donc au critère de conformité sur le volume avec un rapport largement inférieur à 5%.

Remarque : ce résultat est à nuancer car dans le calcul de l'incertitude globale les mesures de hauteurs sont supposées fiables à $\pm 0,01$ m, ce qui n'est pas le cas.

3.4. Confrontation des mesures au niveau des DO avec l'analyse des pluies : combinaison de l'outil 1 et 2

La combinaison des résultats de l'outil d'analyse des pluies et de l'analyse des déversoirs permet de caractériser les pluies ayant engendrées de déversements sur le réseau de Vichy Val d'Allier.

Pour représenter les caractéristiques des pluies ayant engendré un déversement, des boîtes à moustaches sont utilisées (cf. Figure 41 et Figure 42). Ces dernières permettent de représenter les résultats statistiques d'une série de données, notamment la médiane, moyenne et différents quartiles.

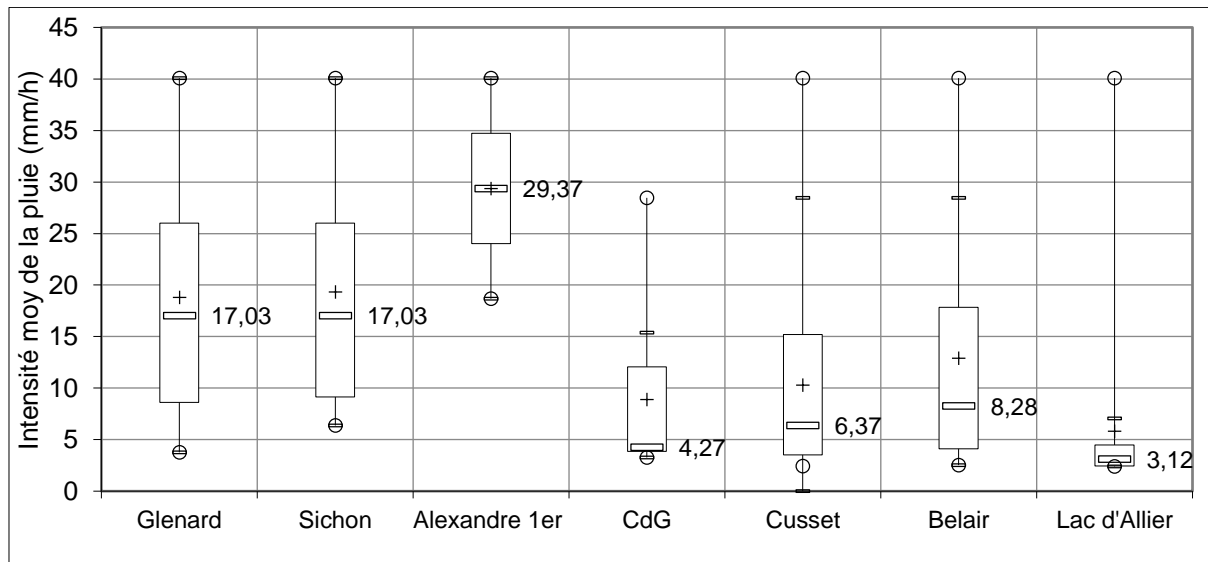


Figure 41 : Boîte à moustache représentant l'intensité moyenne des pluies engendrant un déversement par déversoir

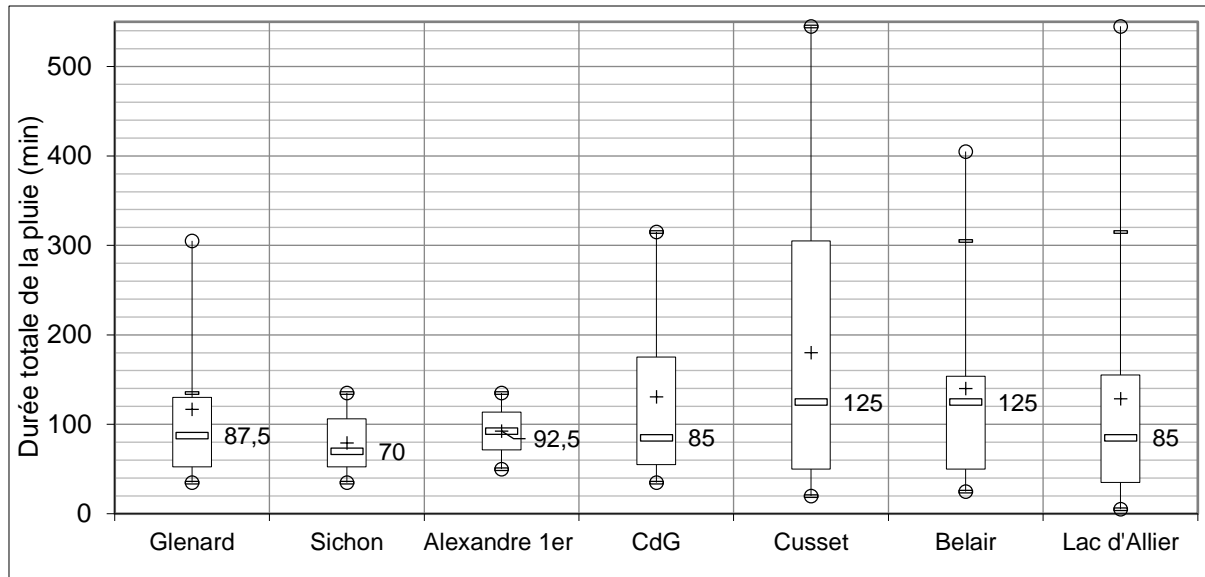


Figure 42 : Boîte à moustache représentant la durée totale des pluies engendrant un déversement par déversoir

L'intensité moyenne de la pluie peut être caractérisée, d'après Météo France, comme étant :

- faible pour une intensité inférieure à 3 mm/h,
- moyenne pour une intensité entre 4 et 7 mm/h,
- forte pour une intensité supérieure à 8 mm/h.

La durée peut être également définie comme étant courte pour des durées d'environ 15 minutes et longue pour des durées d'environ 24h.

Les caractéristiques des pluies générant des déversements sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau 11 : Caractéristique des pluies causant un déversement

	Glénard	Sichon	Alexandre 1er	CdG	Cusset	Bel-Air	Lac d'Allier
Intensité moyenne	Forte	Forte	Forte	Moyenne	Moyenne	Forte	Faible
Durée	Longue	Longue	Longue	Longue	Longue	Longue	Longue

Deux groupes de déversoirs peuvent distinguer : les déversoirs déversant pour des pluies longue et forte (Glénard, Sichon, Alexandre 1^{er}, Bel-Air) et les déversoirs déversant pour des pluies faibles à moyenne et longue (Lac d'Allier et Cusset).

Remarque : le déversoir Charles de Gaulle n'ayant pas de données pour une longue période en été, les résultats pour ce déversoir ne sont pas réalistes.

Le volume déversé par période de retour pour la durée caractéristique de 30 minutes est étudié pour les déversoirs Lac d'Allier et Cusset en Figure 43 et pour tous les autres déversoirs en Annexe 14.

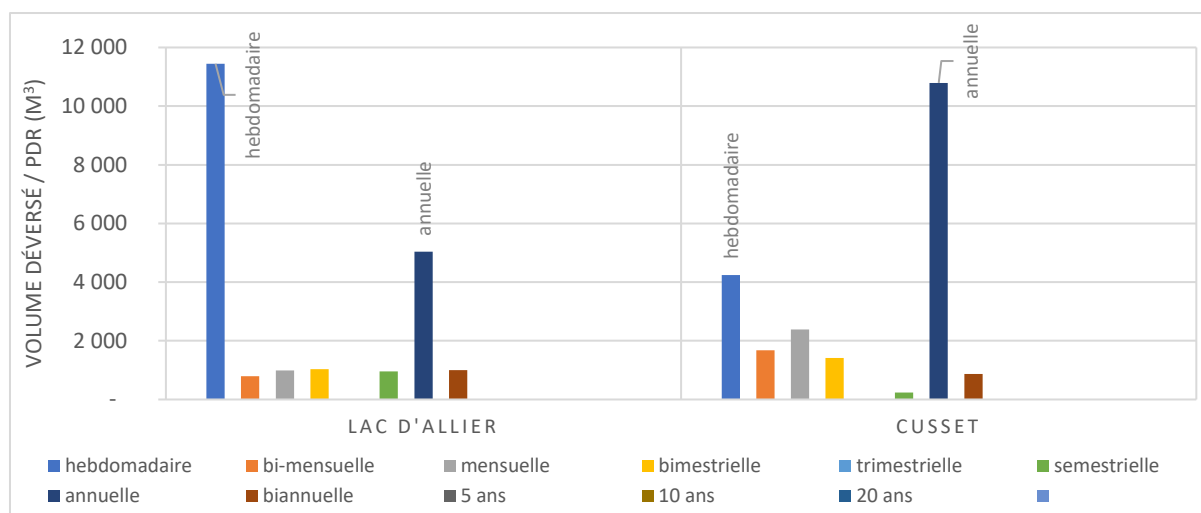


Figure 43 : Volume déversé / PdR pour les déversoirs Lac d'Allier et Cusset pour une durée intense de 30 minutes

Tous les déversoirs déversent en majorité pour des périodes de retour de 1 an et de 50 ans, c'est-à-dire pour des pluies exceptionnelles, à part le déversoir Lac d'Allier. Le déversoir Bel-Air ne semble pas suivre une tendance, car celui-ci est situé à l'aval d'un poste de relevage, des déversements peuvent survenir indépendamment de la pluviométrie.

La collectivité devra donc mettre un plan d'action dans le but d'éviter et/ou supprimer tous déversements pour des pluies récurrentes, donc de faible période de retour afin de protéger le milieu récepteur.

3.5. Étude de l'influence aval du déversoir Lac d'Allier

Pour comprendre l'influence du déversoir Sichon sur le déversoir Lac d'Allier, le taux de remplissage de la conduite déversée est étudié.

En effet, comme précisé en page 37, un remplissage important de la conduite de déversement du déversoir de Sichon entraîne une influence aval du déversoir Lac d'Allier. Pour rappel, le déversoir Lac d'Allier fonctionne plus de 90% du temps en noyé.

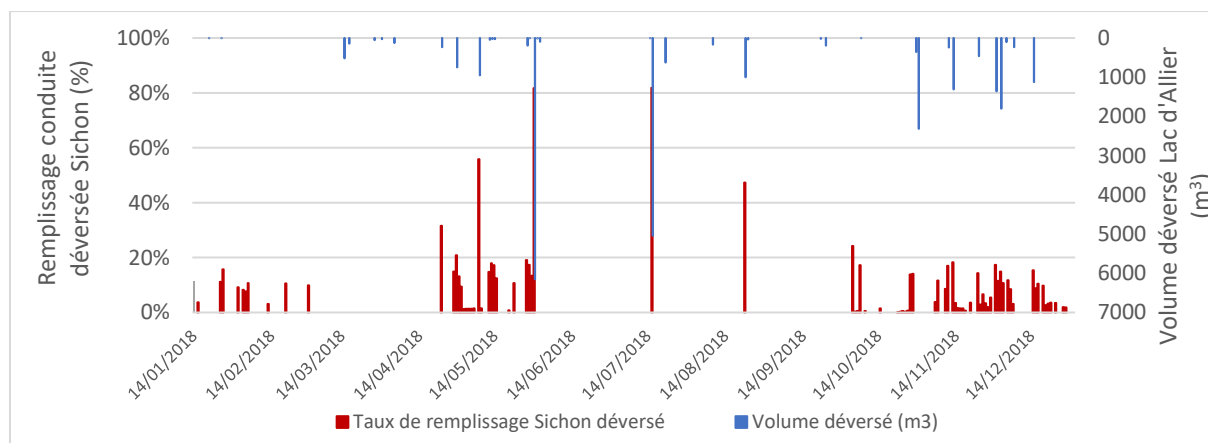


Figure 44 : Taux de remplissage de la conduite déversée du déversoir Sichon par rapport au volume déversé du déversoir Lac d'Allier

Pour les gros déversements du déversoir Lac d'Allier, la conduite déversée du déversoir Sichon est remplie à près de 80%, ce qui influence donc le déversoir Lac d'Allier.

En moyenne, la conduite de déversement du déversoir Sichon est remplie à 11% dû à l'apport d'eaux pluviales. Cet apport influence également le déversoir Lac d'Allier.

3.6. Critiques des résultats

Certains résultats de la partie analyse statistique peuvent être remis en question. En effet, le nombre de déversements du déversoir Charles de Gaulle est sous-estimé et celui du déversoir Lac d'Allier sûrement surestimé. Par ailleurs, l'analyse statistique a montré que le déversoir Cusset déversait autant que le déversoir Lac d'Allier en termes de volume total ; or le déversoir Cusset est nettement plus petit que celui de Lac d'Allier.

Une Analyse en Composante Principale (ACP) est réalisée entre les volumes déversés pour trouver des corrélations entre les déversoirs. Le tableau des corrélations entre les différents volumes déversés est présenté sur la figure suivante :

Tableau 12 : Matrice des corrélations entre les différents volumes déversés

	Lac d'Allier	Alexandre	Sichon	Cusset	Glénard	CdG	Bel-Air
Lac d'Allier	1	0,67	0,77	0,28	-0,02	0,09	-0,01
Alexandre	0,67	1	0,4	0,41	0,01	-0,01	-0,01
Sichon	0,77	0,4	1	0,15	-0,01	-0,01	-0,01
Cusset	0,28	0,41	0,15	1	0,65	0,2	-0,01
Glénard	-0,02	0,01	-0,01	0,65	1	-0,02	0,13
CdG	0,09	-0,01	-0,01	0,2	-0,02	1	0,03
Bel-Air	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,13	0,03	1

Le déversoir Charles de Gaulle n'est corrélé à aucun déversoir, il est éloigné des autres déversoirs du réseau et aucune donnée de capteur n'est disponible pour le déversoir Charles de Gaulle entre mai et juillet 2018, ce qui explique ce résultat.

De même le déversoir Bel-Air a un comportement à part, étant situé à l'aval d'un poste de relevage, son fonctionnement est contrôlé par les pompes et des déversements peuvent survenir indépendamment de la pluviométrie et de ce qui se passe ailleurs sur le réseau.

Il est intéressant d'observer une corrélation non négligeable entre le déversoir Glénard et Cusset alors que ces derniers sont suffisamment éloignés sur le réseau (cf. le synoptique du réseau en Annexe 2).

Cette matrice de corrélation confirme les doutes évoqués sur la fiabilité des résultats de certains déversoirs.

À l'aide des données du capteur de surverse, les déversements de Charles de Gaulle et du déversoir Lac d'Allier ont été recalculés pour les périodes « douteuses », c'est-à-dire de mai à juillet 2018 pour le déversoir Charles de Gaulle et à partir d'octobre 2018 pour le déversoir Lac d'Allier. De même, le temps de déversement total pour le déversoir Charles de Gaulle est recalculé.

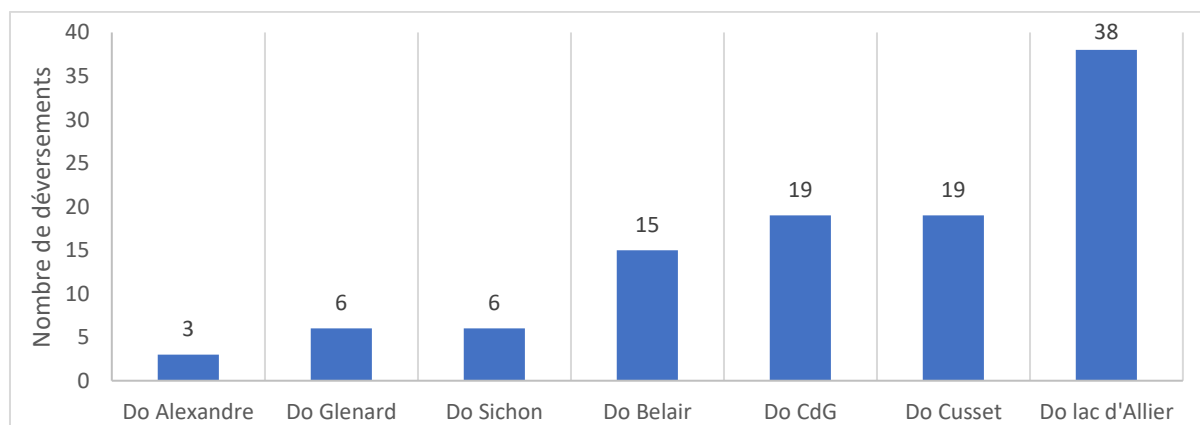


Figure 45 : Nombre de déversements recalculés à l'aide des données de surverse

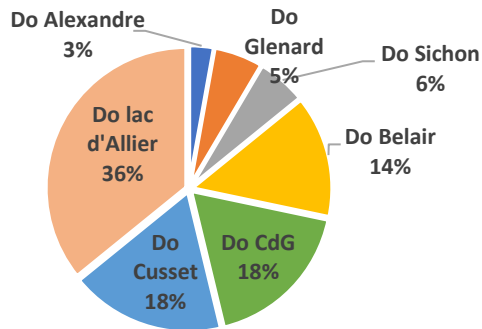


Figure 46 : Part de chaque déversoir sur le nombre de déversements

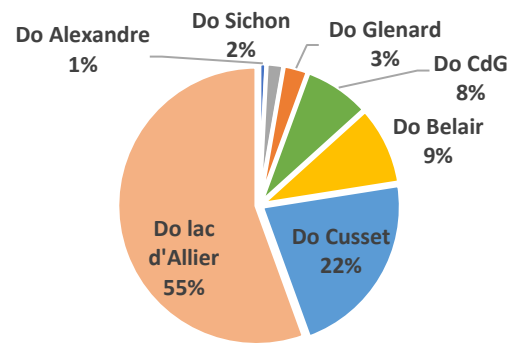


Figure 47 : Part de chaque déversoir sur le temps de déversement

Ainsi le déversoir Charles de Gaulle déverserait autant que le déversoir Cusset et le déversoir Lac d'Allier 1,5 fois moins qu'initialement. Le temps de déversement du déversoir Charles de Gaulle est faible comparé aux autres déversoirs, notamment Cusset. Ces résultats sont à prendre avec précautions, car le capteur de surverse donne parfois des données erronées (cf. Temps de déversement).

Concernant le déversoir Cusset, la gamme de hauteurs atteinte est supérieure à celle qui garantit la cohérence de la loi hauteur/débit. Une nouvelle loi hauteur/débit est déterminée pour les hauteurs supérieures à 0,87 m en prenant en compte la conduite d'engouffrement, dont l'impact n'avait pas été pris en compte dans l'étude initiale.

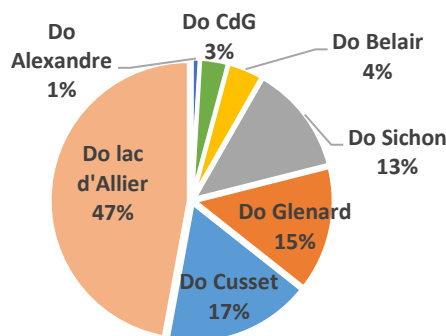


Figure 48 : Part de chaque déversoir sur le volume déversé total

La part du volume déversé du déversoir Lac d'Allier est cohérente avec les résultats obtenus en termes de temps et nombre de déversements, de même pour le déversoir Cusset. Le volume déversé du déversoir Charles de Gaulle est sous-estimé et ne peut être mieux estimé, car aucune donnée de hauteur et de débit n'est disponible durant la période d'absence de données.

3.7. Prédiction d'une chronique de hauteur

La chronique de hauteur d'un des capteurs du déversoir Lac d'Allier dérive en fin d'année 2018. À la vue de la position des déversoirs Sichon, Cusset et Résistance, une reconstitution de cette chronique de hauteurs est envisagée à partir des chroniques des déversoirs environnants.

3.7.1. Présentation de l'outil

Pour cela un outil d'interpolation est utilisé : le réseau de neurones. Le réseau de neurones permet de détecter à partir de plusieurs variables d'entrée des interactions non linéaires entre les variables (ABDALLAOUI, 2011).

De plus, un réseau de neurones permet d'approximer n'importe quelle fonction en ayant au préalable identifié le nombre de neurones adéquat. La fonction permettant de déterminer la

variable de sortie en fonction des variables d'entrées correspond à une somme pondérée des variables d'entrées et d'une constante, effectuée au niveau de chaque neurone du réseau (ISEL, 2014)

Trois étapes sont nécessaires pour la définir la fonction d'interpolation permettant la prédiction de données avec un réseau de neurones :

- 1) L'apprentissage du réseau de neurones : phase principale de l'utilisation d'un réseau de neurones. L'objectif de l'apprentissage est d'optimiser le choix des différents coefficients pondérateurs de chaque neurone du réseau dans le but d'approcher au mieux la variable de sortie. Pour cette première phase, 70% de la donnée disponible sont nécessaires.
- 2) La validation du réseau de neurones. L'objectif de la validation est de réduire le « sur apprentissage » des neurones et de vérifier la concordance entre les données issues de l'apprentissage et les données de l'échantillon. Pour cette deuxième étape, 15% des données restants sont nécessaires.
- 3) La phase de test. L'objectif du test est d'évaluer la prédiction du réseau de neurones sur les données restantes non utilisées dans les étapes précédentes, en connaissant les données de sortie.

Dans le cas du déversoir Lac d'Allier, le réseau de neurones a été testé avec deux jeux de données présentés ci-dessous.

3.7.2. Application du réseau de neurones avec les données de temps sec et temps de pluie

Pour appliquer un réseau de neurones à la chronique de hauteurs du déversoir Lac d'Allier et reconstruire la période de dérive observée, les données de hauteurs des déversoirs Cusset et Résistance sont entrées en tant que variables d'entrée dans un premier temps sur une période de 6 mois. En effet, une forte corrélation (environ 70%) entre ces hauteurs est observée (cf. Figure 49).

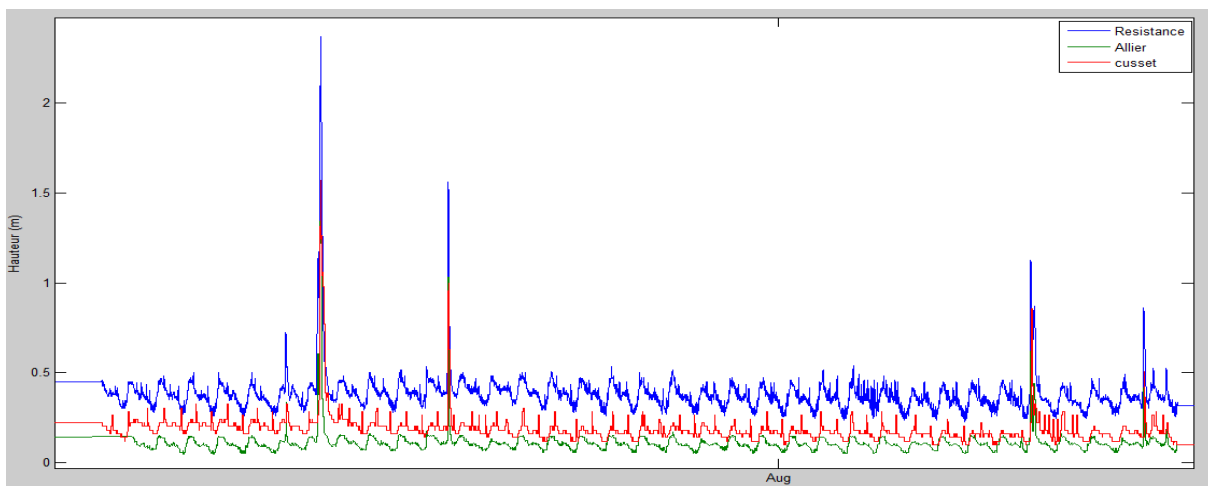


Figure 49 : Chronique de hauteurs des déversoirs Résistance, Lac d'Allier et Cusset

Un réseau de neurones avec une couche de 10 neurones est testé dans un premier temps avec 7 901 valeurs, dont 5 689 utilisées pour l'apprentissage. Étant donné que l'objectif du réseau de neurones est de prédire la hauteur mesurée dans la conduite conservée du déversoir Lac d'Allier à partir d'octobre 2018, c'est-à-dire à partir du moment où le déversoir dérive, les données à entrer dans le réseau de neurones ne prennent pas compte de cette période.

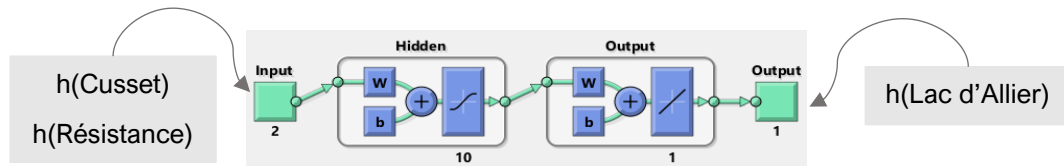


Figure 50 : Schéma du réseau de neurones utilisé

La régression entre les données de sortie et les données apprises permet de juger la pertinence de l'apprentissage du réseau de neurones. Cette dernière est assez faible, avec un coefficient de régression à 0.79, ce réseau à une couche de 10 neurones n'est donc pas pertinent.

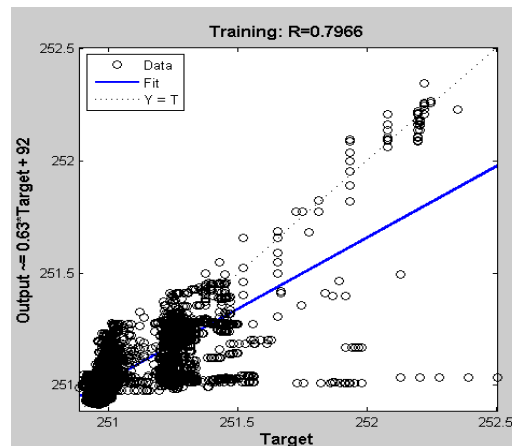


Figure 51 : Régression de l'apprentissage du réseau de neurones

En augmentant le nombre de neurones par couche, le résultat ne s'améliore pas. La même démarche a été mise en œuvre uniquement sur les pics de temps de pluies.

3.7.3. Application du réseau uniquement avec le temps de pluie

Le réseau de neurones est testé avec pour données d'entrée les données du déversoir Sichon et Cusset. Il faut noter que le capteur du déversoir Sichon mesure des lames déversantes, le temps sec n'est donc pas mesuré.

Les variables d'entrée sont :

- La lame déversante de la conduite conservée du déversoir Sichon,
- La lame déversante à l'amont de la conduite déversée du déversoir Lac d'Allier,
- La lame déversante à l'aval de la conduite déversée du déversoir Lac d'Allier,
- La lame déversante du déversoir Cusset.

La variable de sortie est donc la lame déversante de la conduite conservée du déversoir Lac d'Allier.

Un réseau de neurones avec une couche de 10 neurones est également testé avec 1 721 valeurs, dont 787 utilisées pour l'apprentissage.

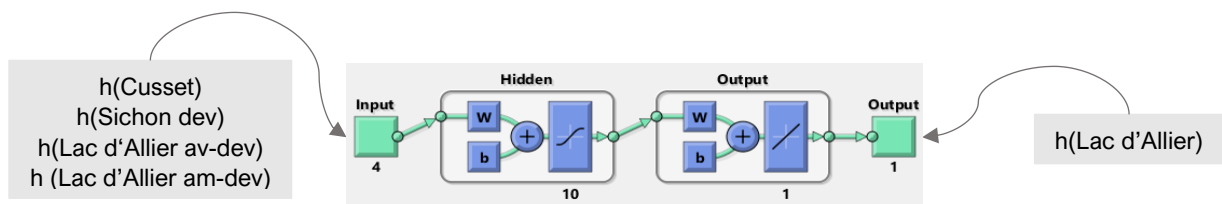


Figure 52 : Schéma du réseau avec une couche de 10 neurones testés en temps de pluie

La régression entre les données issues de l'apprentissage et les données de sortie est correcte, un écart de 2m est observé au maximum(cf. Figure 53).

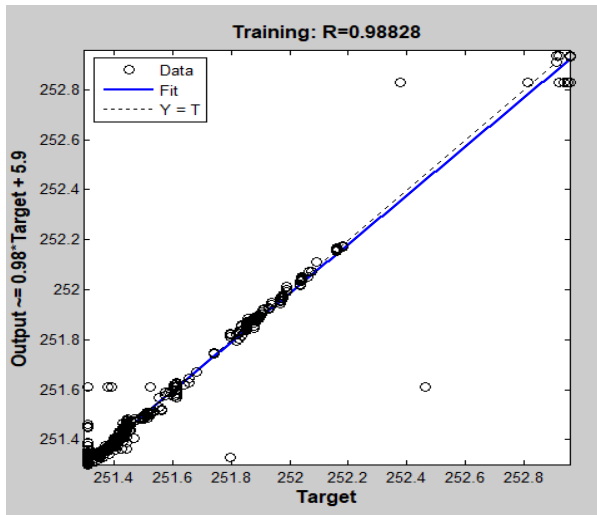


Figure 54 : Régression de l'apprentissage du réseau de neurones à une couche de 10 neurones en temps de pluie

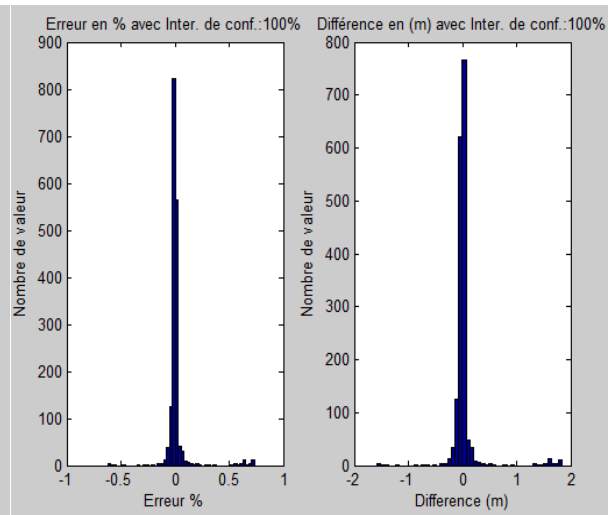


Figure 53 : Erreur et écart entre les données apprises par le réseau et les données de sortie

Dans le but d'optimiser le réseau de neurones, une nouvelle configuration est testée en prenant deux couches à 10 neurones avec les mêmes variables d'entrée.

La régression de l'apprentissage du réseau avec 2 couches de 10 neurones est meilleure que celui avec une seule couche, mais l'écart est bien plus important le réseau de neurones à 2 couches, un écart d'environ 20 mètres est observé.

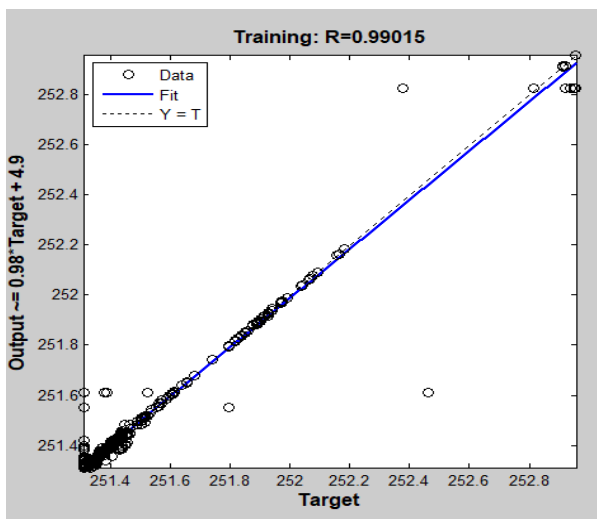


Figure 56 : Régression de l'apprentissage du réseau de neurones à 2 couches et 10 neurones en temps de pluie

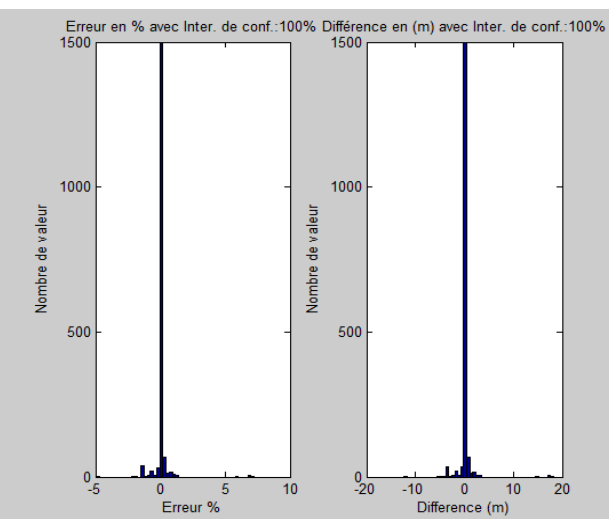


Figure 55 : Erreur et écart entre les données apprises par le réseau à 2 couches et 10 neurones et les données de sortie

Le choix d'une couche de 10 neurones est le meilleur compris pour l'apprentissage. Une fois l'étape d'apprentissage faite, la validation du réseau de neurones est réalisée.

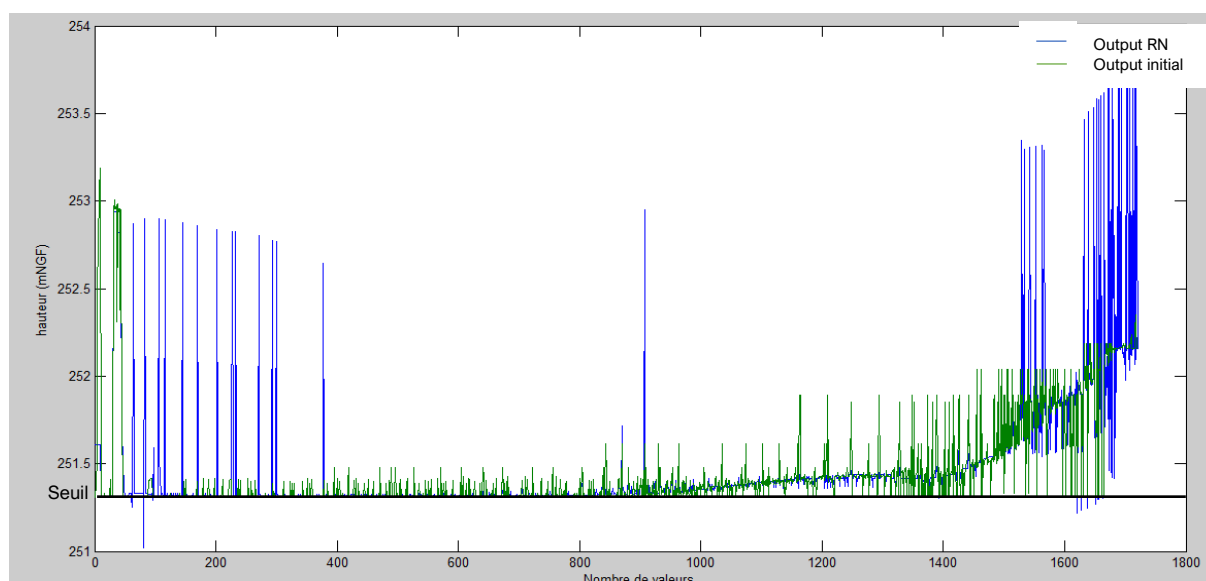


Figure 57 : Validation du réseau de neurones (vert : données réelles - bleu : données prédites)

Les données prédites ne suivent pas la tendance des données réelles, des écarts importants sont constatés. De tels écarts ne sont pas acceptables, une différence de 2 mètres sur la lame déversante entraîne une erreur très importante sur le débit et donc le volume déversé.

Pour améliorer la prédiction du réseau de neurones, des données antérieures à 2018 seraient nécessaires pour avoir plus de déversements observés sur la chronique. Seulement une vingtaine de déversements sont observés pour les déversoirs Lac d'Allier et Cusset, et 6 pour le déversoir Sichon.

Il serait intéressant également de tester le réseau de neurones avec les données de tous les déversoirs environnants, même si certains déversoirs ne présentent pas de données en temps sec. Avec une période temporelle plus longue et plus de données d'entrée, la prédiction serait peut-être meilleure.

La sensibilité sur le nombre de couches et le nombre de neurones par couches a été testée, cependant il faudrait s'intéresser également à la sensibilité du réseau de neurones aux différentes fonctions d'activations.

3.8. Conclusion de l'application de l'outil 3

La combinaison des résultats de l'outil 1 et 2 permet d'avoir une analyse plus globale et complète du réseau d'assainissement, permettant une meilleure connaissance du fonctionnement du réseau et ainsi l'identification d'actions à mettre en place pour améliorer sa gestion. Par ailleurs, la reconstitution de données en cas de capteur non fiable est une bonne alternative pour prédire les résultats à condition d'avoir suffisamment de données disponibles.

Dans le cas de Vichy Val d'Allier, le plan d'action à court terme consisterait à vérifier l'instrumentation de chaque site, notamment les zéros de chaque capteur et leur paramétrage (problème de créneau). Une attention particulière devra être portée au déversoir Lac d'Allier, étant donné que celui-ci déverse le plus fréquemment. Malgré la forte incertitude sur les données de débit et de volume, la hiérarchisation en termes de fréquence de déversements est fiable et l'objectif serait de limiter les déversements pour de petites pluies. A moyen terme, des aménagements seraient à prévoir et pourraient être testés avec le modèle 1D du réseau (cf. Conclusion et perspectives en page 58) (par exemple, augmenter la hauteur de crête sur plusieurs fenêtres de déversement afin d'améliorer les incertitudes de mesure aux petits débits). Pour autant, étant donné que le critère de conformité sur le volume est très largement inférieur à 5%, Vichy Val d'Allier n'a pas d'obligation à réduire le volume déversé.

Conclusion et perspectives

Les collectivités sont amenées à collecter de plus en plus de données issues du réseau d'assainissement pour répondre aux exigences réglementaires.

L'exploitation des données est essentielle pour détecter des anomalies au niveau des capteurs et comprendre le fonctionnement du réseau.

Pour cela, toutes les données sont à exploiter : données pluviométriques ; données de hauteurs, vitesses, débits, surverses ; fonctionnement de vannes, pompes ; niveau du milieu naturel, etc. Le croisement de ces données est une étape clé pour analyser le fonctionnement du réseau et l'améliorer.

L'analyse de données en assainissement repose sur 4 étapes présentées ci-dessous.

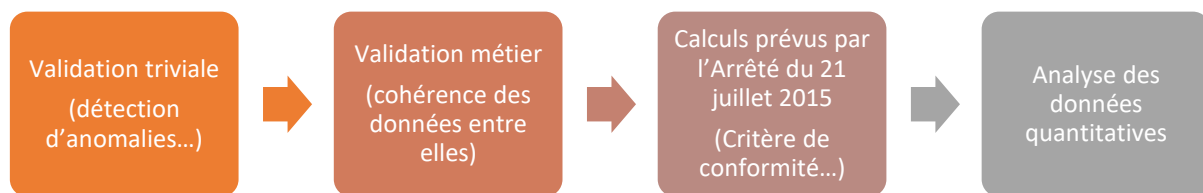


Figure 58 : Méthodologie utilisée pour l'analyse de données

Cette analyse de données permet aux collectivités de :

- valider la pertinence de l'instrumentation mise en place vis-à-vis du fonctionnement réel de chaque ouvrage
- comprendre le fonctionnement hydraulique des ouvrages en cas de déversement (influence aval, interaction entre les ouvrages...)
- hiérarchiser les ouvrages en termes de fréquence de déversement et de volumes déversés dans le but proposer un plan d'action pour une meilleure gestion du système.

Enfin, les collectivités n'ayant pas les moyens ou le temps nécessaire à l'analyse complète des données du réseau, les bureaux d'études sont là pour élaborer des méthodes d'analyse et des outils généralisés pour aider les collectivités.

Finalement, le travail réalisé durant ce stage a permis dans un premier temps d'informer la communauté d'agglomération Vichy Val d'Allier de certains problèmes et dysfonctionnements rencontrés lors de l'analyse de leurs données, dont ils n'étaient pas au courant. Dans un deuxième temps, cette analyse complète des données de Vichy Val d'Allier m'a permis de généraliser la méthode d'analyse de données utilisée et de programmer des outils permettant d'appliquer cette méthode à d'autres réseaux. Ces outils sont un gain de temps pour l'analyse des données et permettent à 3D EAU d'aider les collectivités à mieux comprendre le fonctionnement du réseau des collectivités.

Ce travail de fin d'études m'a permis de mobiliser mes connaissances en assainissement et de les mettre en pratique sur un cas concret. Par ailleurs, j'ai pu développer de nouvelles compétences notamment en programmation et en analyse de données.

Pour donner suite au travail réalisé durant ce stage, il serait intéressant d'utiliser les résultats des 3 outils développés pour dimensionner des ouvrages, mais également prévoir des aménagements.

Dans le cas où le critère de conformité choisi par la collectivité n'est pas respecté, l'outil 3 d'analyse de réseau pourrait calculer le volume d'un ouvrage de stockage, par exemple un

bassin, permettant de stocker le volume déversé par les plus petites lames déversantes et ainsi respecter le critère de conformité soit en nombre de déversement ou alors en volume.

Par ailleurs, combiner les résultats de l'analyse de données avec un modèle 1D du réseau d'assainissement permettrait de vérifier que les résultats du modèle sont similaires à l'analyse de données en termes de débits et de volume pour une même pluie. Par faute de temps, il n'a pas été envisageable de faire une comparaison des résultats du modèle 1D de Vichy Val d'Allier avec les résultats de l'analyse présentée dans ce rapport.

Néanmoins, cette comparaison envisagée initialement aurait pu permettre, dans le cas où les résultats sont similaires, d'améliorer l'interprétation du fonctionnement du réseau. De plus des scénarios d'aménagement auraient pu être également simulés, comme la construction d'un bassin en l'ayant préalablement dimensionné ou bien la rehausse d'une crête de déversoir. Ces simulations auraient alors permis d'observer la répercussion d'un aménagement sur l'ensemble du réseau et notamment d'éviter qu'à l'aval du réseau le débit n'augmente et que plus de volume soit déversé ; l'impact sur le risque inondation à certains endroits clés du réseau aurait dû être étudié.

En revanche, si les résultats avaient divergé, deux solutions auraient été envisageables :

- Dans le cas où le calage du modèle 1D n'est pas fiable, les résultats de l'analyse permettront de le caler,
- Dans l'autre cas, il faudra comprendre pourquoi le capteur observe certains fonctionnements que le modèle ne prend pas en compte.

Dans un souci de généralisation de l'outil d'analyse et étant donné que la communauté de Vichy Val d'Allier avait transmis des données de qualité des eaux en entrée de station, dans la galerie eaux pluviales (EP) et au niveau du déversoir en tête de station (point A2), nous nous sommes également intéressés au calcul du critère de conformité en termes de flux de pollution. Le déversoir Alexandre ne déversant pas dans la galerie EP, le critère de conformité est rejeté par l'Agence de l'Eau pour le réseau de Vichy Val d'Allier. La méthode n'a donc pas été programmée, mais serait intéressante à développer pour les collectivités ayant choisi ce critère pour leur conformité.

Ainsi, l'analyse de données d'autosurveillance peut être combinée avec d'autres outils et être valorisée dans d'autres contextes.

Bibliographie

- ABDALLAOUI A.** Utilisation des réseaux de neurones artificiels pour l'analyse des données. [Conférence] // Journée de Formation TAPC. - Meknès : Université Moulay Ismail, 2011.
- AGENCE DE L'EAU** Étude des agences de l'eau // Guide de spécification de la structure des fichiers de données échangés dans le cadre de l'autosurveillance. - Réseaux d'assainissement et station d'épuration : échanges de données de l'autosurveillance, 1999. - Vol. 2.
- ASSEMBLE NATIONAL ET SÉNAT** LOI n° 2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques [En ligne]. - Journal officiel, n°0303 du 31 décembre 2006. - 11 juin 2019. - <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000649171&categorieLien=id>.
- ASSEMBLE NATIONAL ET SÉNAT** LOI n°92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau [En ligne]. - Journal officiel, n°3 du 4 janvier 1992. - 11 juin 2019. - <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000173995&dateTexte=&categorieLien=id>.
- ASTEE MEMENTO TECHNIQUE** // Conception et dimensionnement des systèmes e gestion des eaux pluviales et de collecte des eaux usées. - Guide technique, 2017. - p. 275.
- BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L. [et al.]** Mesures en hydrologie urbaine et assainissement [Livre]. - Paris : Éditions Tec et Doc, 2000. - Partie 5. - ISBN 2-7430-0380-4.
- BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L.** Autosurveillance des réseaux d'assainissement : fiabiliser la métrologie, les données et leur exploitation [Article] // L'eau, l'industrie, les nuisances. - 2013. - n°362. - pp. 84-89.
- BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L.** Autosurveillance, diagnostic permanent et modélisation des flux polluants en réseaux d'assainissement urbains [Article] // La Houille Blanche. - Marne-la-Vallée : Conférence SHF-GRAIE-ASTEE, 2006. - n°3. - pp. 97-98.
- BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L. et JOANNIS C.** Validation et critique des résultats de mesure en hydrologie urbaine [Article] // La Houille Blanche. - 2009. - n°3. - pp. 60-67.
- CEREMA et DGALN** Conditions pluviométriques locales // fiche instructeur n°3. - Procédures d'autorisation et de déclaration des projets d'aménagement au titre du code de l'environnement rubrique 2.1.5.0 : rejets d'eaux pluviales, 2014. - p. 16.
- CHABANEL-DURRAND P., FOUILLOUX R.-C. et VARATHARASA S.** Autosurveillance et gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement, Retour d'expérience sur le bassin Seine-Normandie [Article] // Techniques Sciences Méthodes. - 2018. - n°3. - pp. 27-38.
- CROS D.** Orage violent à Vichy : 50 interventions des pompiers en quelques heures [En ligne] // France 3 - Auvergne - Rhône-Alpes. - France Info, 30 mai 2018. – 11 juin 2019. - <https://france3-regions.francetvinfo.fr/auvergne-rhone-alpes/allier/vichy/orage-violent-vichy-50-interventions-pompiers-quelques-heures-1485057.html>.
- DAUPHIN S. et GUEZENNEC Y.** Mise en œuvre de l'autosurveillance sur la commune de Lorient [Article] // La Houille Blanche. - 2001. - n°5. - pp. 31-38.
- DEMOGUE R.** Traité des obligations en général [Livre]. - Paris : Librairie Arthur Rousseau, 1925. - Vol. 5 : p. 536.
- EINFALT T.** La valeur pluviométrique mesurée : une valeur douteuse [Article] // La Houille Blanche. - 2001. - n°5. - pp. 52-57.
- HAMIOUD F.** Validation de données débitométriques issues de réseaux d'assainissement // Thèse de doctorat : Automatique / Robotique. - Nancy : Institut National Polytechnique de Lorraine, 2007.
- ISEL S.** Développement de méthodologies et d'outils numériques pour l'évaluation du débit en réseau hydraulique à surface libre // Thèse de doctorat : Science de l'ingénieur – Hydraulique Urbaine. - Strasbourg : Université de Strasbourg, 2014.
- LAPLACE D., JOANNIS C. et GUIVARCH J.-Y.** Mesurer en réseau d'assainissement pour quoi faire ? [Article] // La Houille Blanche. - 2009. - n°2. - pp. 46-51.
- LAURENT N. [et al.]** Mise en œuvre de l'autosurveillance sur un déversoir d'orage : retour d'expériences [Article] // La Houille Blanche. - 2006. - n°4. - pp. 106-112.
- MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE DE L'ÉNERGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE LA MER** Arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement [En ligne]. - Journal officiel, n°46 du 24 février 2010. - 24 juin 2019. - <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000021865259&categorieLien=id>.

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE Arrêté du 21 juillet 2015 [En ligne] // relatif aux systèmes d'assainissement collectif et aux installations d'assainissement non collectif, à l'exception des installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO5. - Journal officiel, n°0190 du 19 août 2015. - 11 juin 2019. - <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000031052756&categorieLien=id>.

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE DU DÉVELOPPEMENT ET DE L'AMÉNAGEMENT DURABLES. Arrêté du 22 juin 2007 [En ligne] // relatif à la collecte, au transport et au traitement des eaux usées des agglomérations d'assainissement et à la surveillance de leur fonctionnement et de leur efficacité, [...] recevant une charge brute de pollution organique supérieure à 1,2 kg/j de DBO5. - Journal officiel, n°162 du 14 juillet 2007, 22 juin 2007. - 11 juin 2019. - <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000276647&dateTexte=&categorieLien=id>.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DE L'ÉNERGIE ET DE LA MER Autosurveillance des systèmes d'assainissement collectif // Commentaire technique. - 2015. - p. 54.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DE L'ÉNERGIE ET DE LA MER Évaluation de la conformité réglementaire des systèmes d'assainissement // Commentaire technique. - 2015. - p. 22.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT Arrêté du 22 décembre 1994 [En ligne] // fixant les prescriptions techniques relatives aux ouvrages de collecte et de traitement des eaux usées mentionnées aux articles L. 372-1-1 et L. 372-3 du code des communes. - Journal Officiel, n°35 du 10 février 1995, 22 décembre 1994. - 11 juin 2019. - <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000735207&categorieLien=id>.

MOSIO D. Les traitements automatisés des données d'autosurveillance des systèmes d'assainissement en vue de leur qualification et de leur expertise [Conférence]. - Colombes : Colloque ASTEE SHF « Fonctionnement des systèmes d'assainissement : l'arrêté du 21 juillet 2015... esprit et pratiques », 2019.

MOUROT G., MAQUIN D. et RAGOT J. Validation de mesures en pluviométrie [Conférence]. - Saint-Etienne : Colloque Automatique et Environnement, 2001.

PALLU D. [et al.] Calcul de l'impact et hiérarchisation d'un grand nombre de déversoirs d'orage, exemple sur un bassin versant du Grand Lyon [Conférence] // Novatech. - Lyon : 7^{ème} Conférence internationale sur les techniques et stratégies durables pour la gestion des eaux urbaines par temps de pluie, 2010.

PARLEMENT EUROPEEN et CONSEIL DE L'UNION EUROPEENNE Directive 91/271/CEE du Conseil des communautés européennes du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux urbaines résiduaires [En ligne]. - Journal officiel, n° L 135 du 30 mai 1991, 11 juin 2019. - https://aida.ineris.fr/consultation_document/1059.

PARLEMENT EUROPEEN et LE CONSEIL DE L'UNION EUROPEENNE Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau [En ligne]. - Journal officiel, n° L 327 du 22 décembre 2000. - 11 juin 2019. - https://aida.ineris.fr/consultation_document/995.

PASTANT D. et SALLERON J.L. Assainissement des agglomérations : objectifs de protection des milieux par temps de pluie – éléments méthodologiques [Article] // La Houille Blanche. - 1994. - n°1-2. - pp. 105-108.

RAGOT J. [et al.] Validation de données et diagnostic [Livre]. - Hermès, 1990. - Chapitre 1, 3, 5. - ISBN 2-86601-238-0.

STIEBER P., BUES M. A. et GRANDJEAN B. P. A. Simple approche d'une période de retour de la pollution en hydrologie urbaine, à partir des données de pluviométrie [Article] // Hydrological Sciences. - Journal des Sciences Hydrologiques, 1999. - n°2 : Vol. 44. - pp. 163-172.

TAHRI H. Filtrage et estimation univariés des débits et des concentrations de polluants // Mémoire de maîtrise en génie de la construction. - Montréal : École de technologie supérieure, 2001.

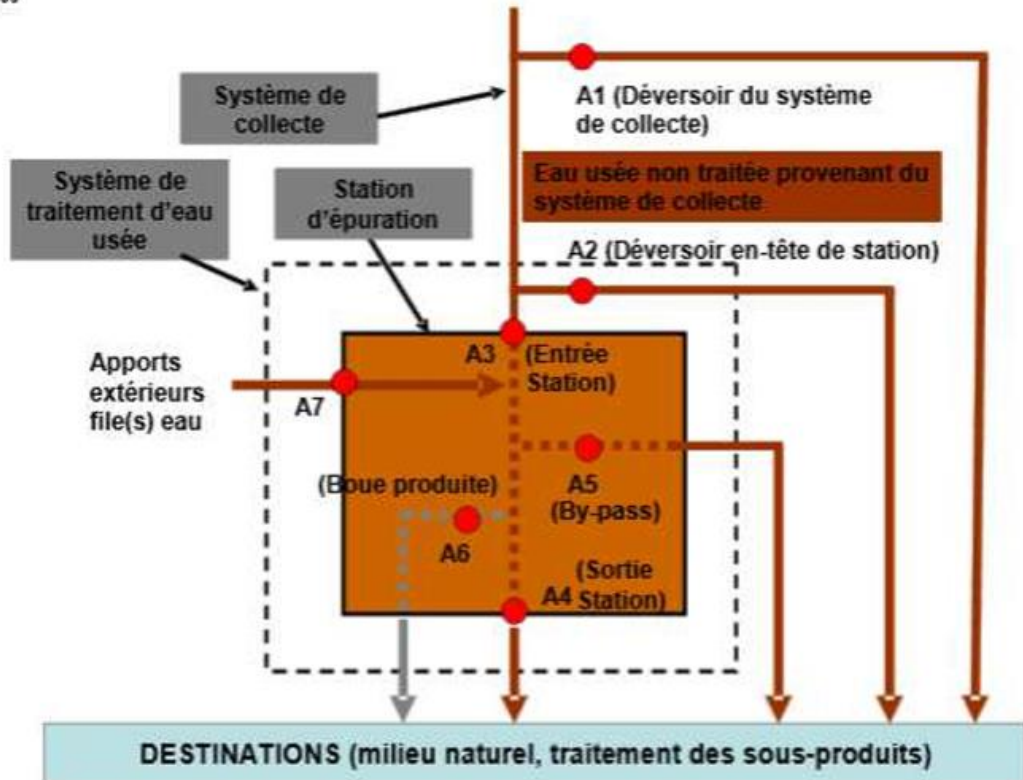
VAZQUEZ J. Hydrologie et hydraulique Urbaine en réseau d'assainissement // Support de cours formation d'ingénieurs ENGEES. - 2016.

Annexes

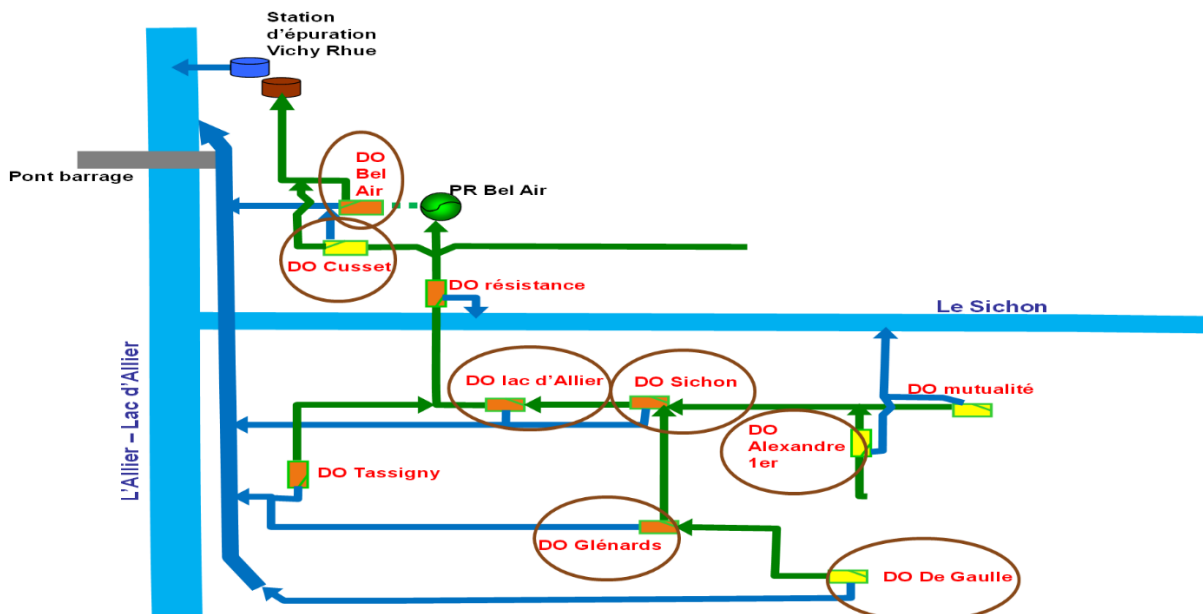
Annexe 1 : Définition des points règlementaires au format SANDRE (d'après (MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, 2015).....	2
Annexe 2 : Synoptique du réseau d'assainissement de Vichy Val d'Allier, avec les déversoirs étudiés encadrés.....	2
Annexe 3 : Vue du dessus du déversoir Sichon	3
Annexe 4 : Vue du dessus du déversoir Lac d'Allier	3
Annexe 5 : Schéma du déversoir Cusset vue du dessus	4
Annexe 6 : Schéma du déversoir Glénard vue du dessus.....	4
Annexe 7 : Schéma du déversoir Alexandre 1er	5
Annexe 8 : Vue du dessus du déversoir Charles de Gaulle	5
Annexe 9 : Schéma du déversoir Bel-Air	6
Annexe 10 : Définition et objectif des différents niveaux de service du réseau d'assainissement (ASTEE, 2017).....	6
Annexe 11 : Extrait des résultats de l'outil 2 pour le cas de Vichy Val d'Allier.....	7
Annexe 12 : Volume déversé (%) par classe d'incertitude sur le débit	8
Annexe 13 : Volume déversé (%) par classe d'incertitude sur le débit	8
Annexe 14 : Volume déversé / PdR pour tous les déversoirs (hormis Lac d'Allier et Cusset) pour une durée intense de 30 minutes.....	8

Annexe 1 : Définition des points règlementaires au format SANDRE (d'après (MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, 2015))

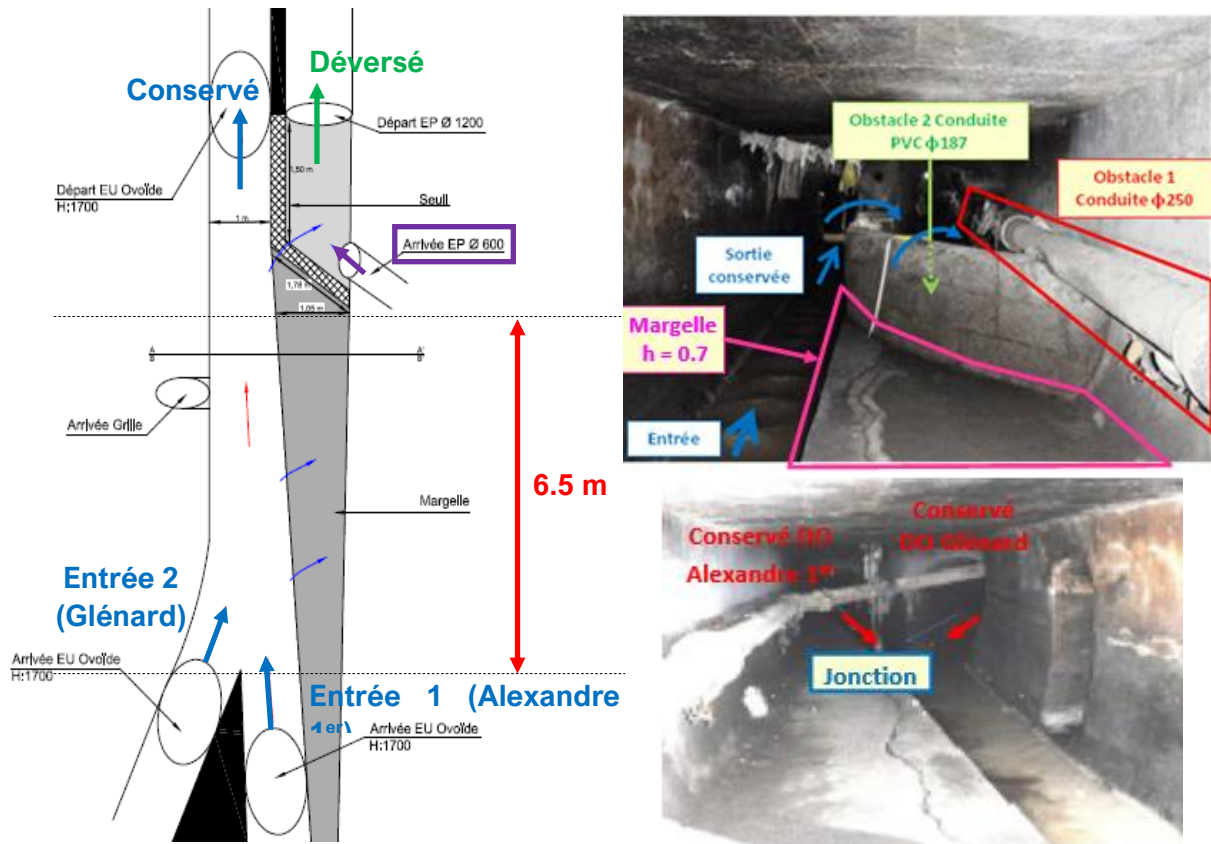
© Sandre – 2009



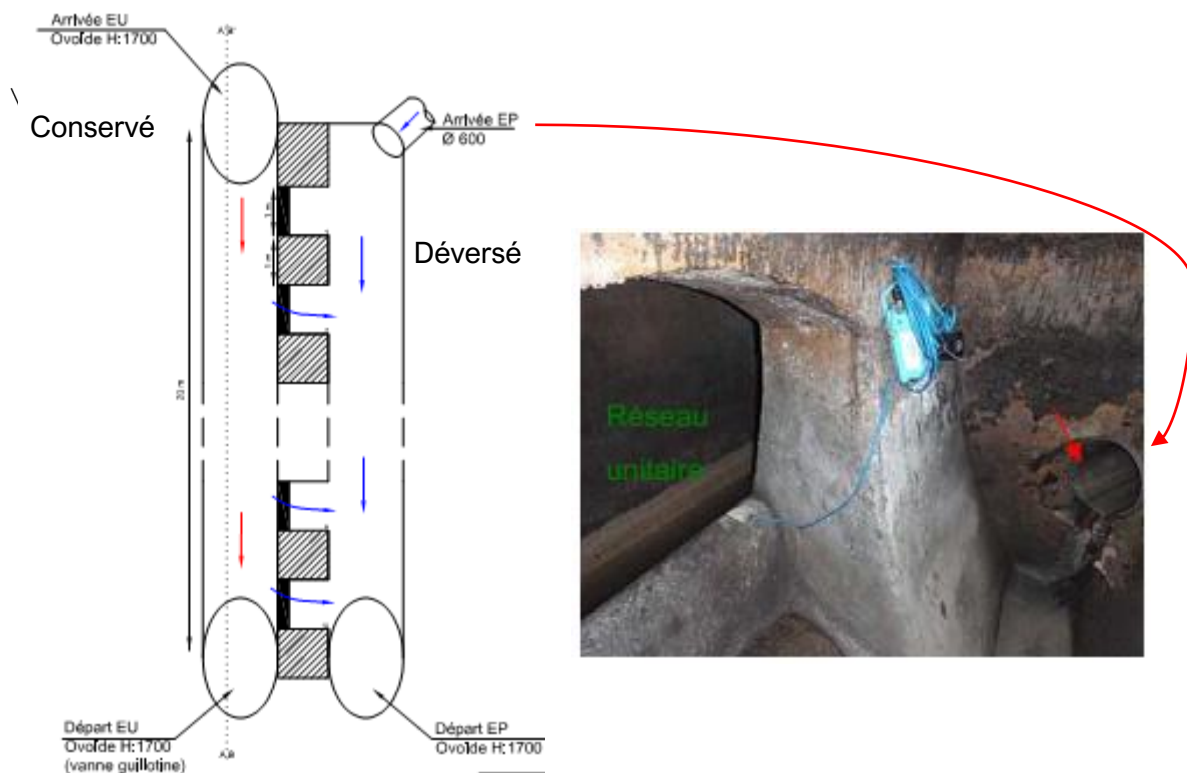
Annexe 2 : Synoptique du réseau d'assainissement de Vichy Val d'Allier, avec les déversoirs étudiés encerclés



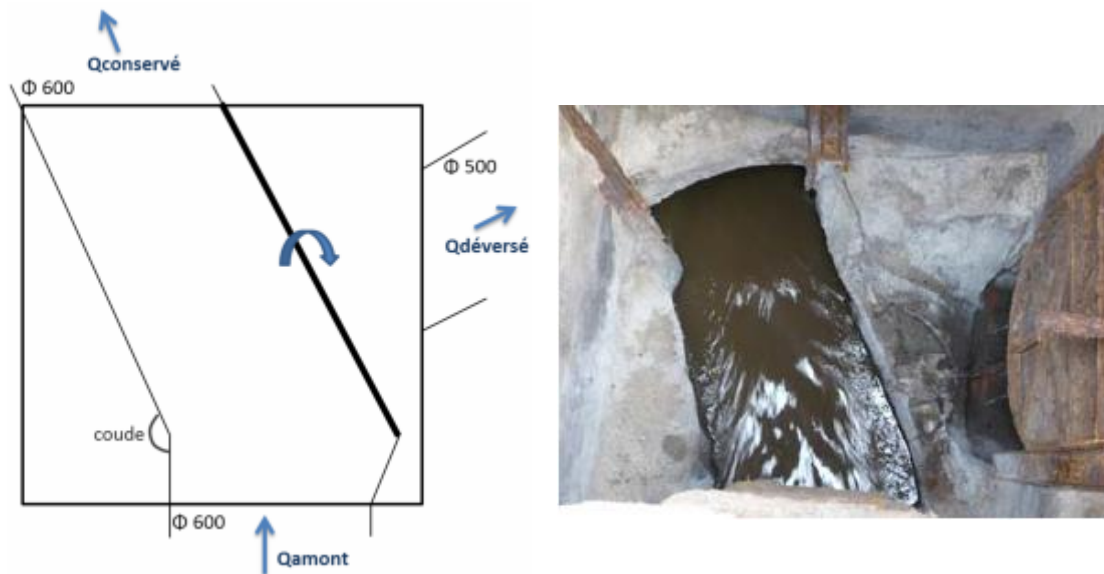
Annexe 3 : Vue du dessus du déversoir Sichon



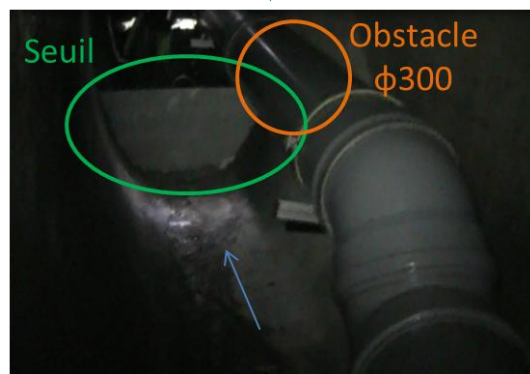
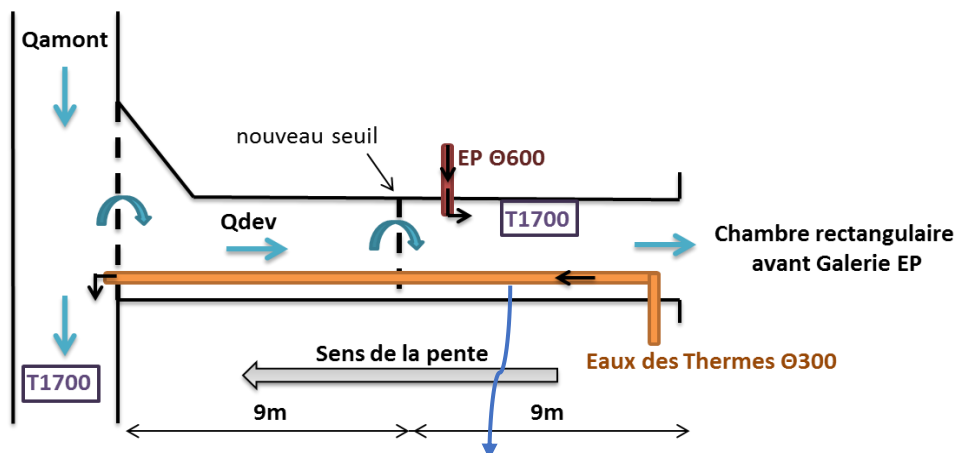
Annexe 4 : Vue du dessus du déversoir Lac d'Allier



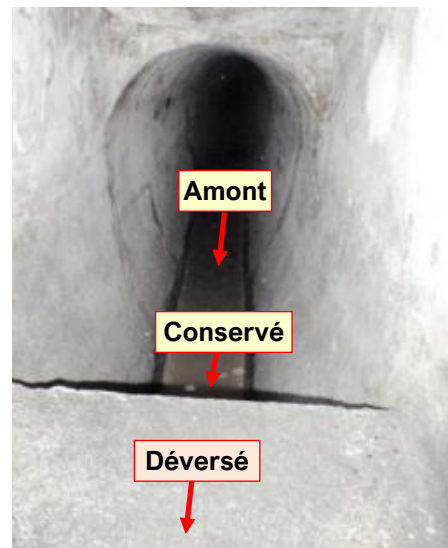
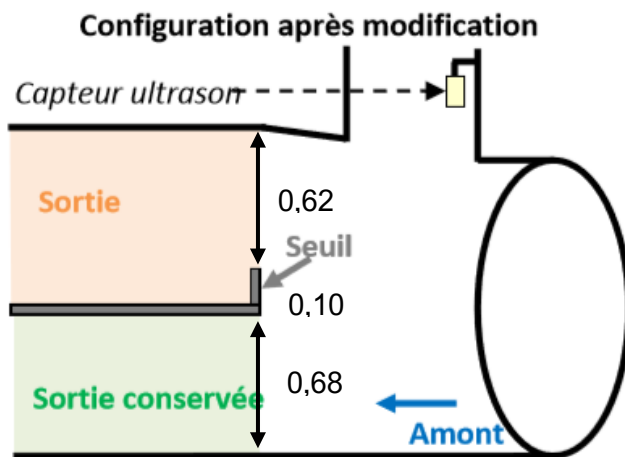
Annexe 5 : Schéma du déversoir Cusset vue du dessus



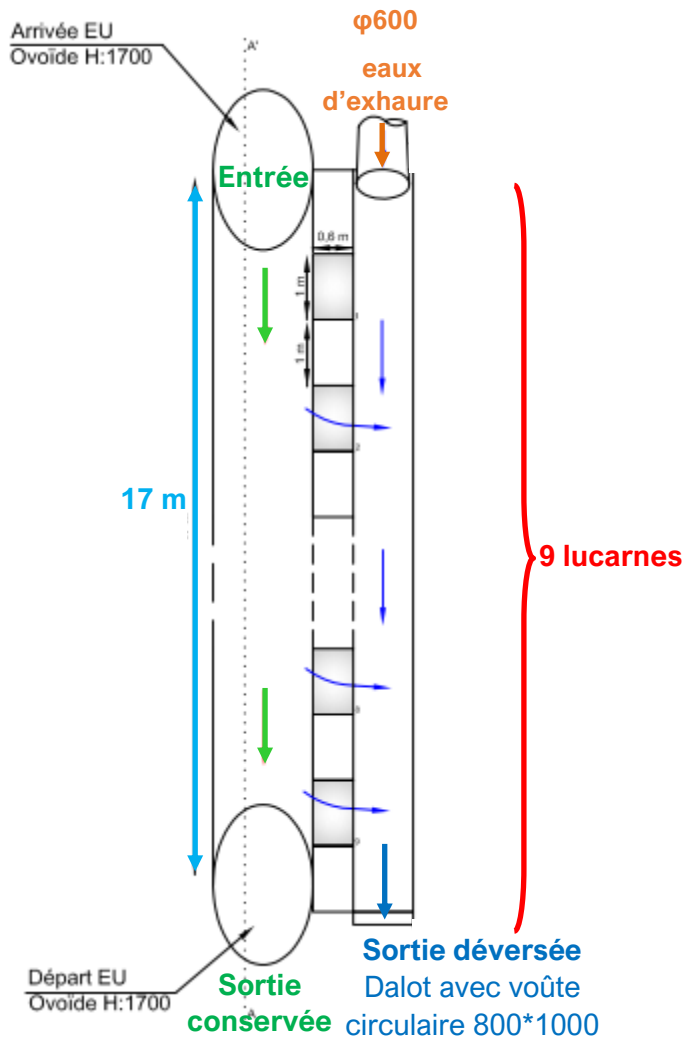
Annexe 6 : Schéma du déversoir Glénard vue du dessus



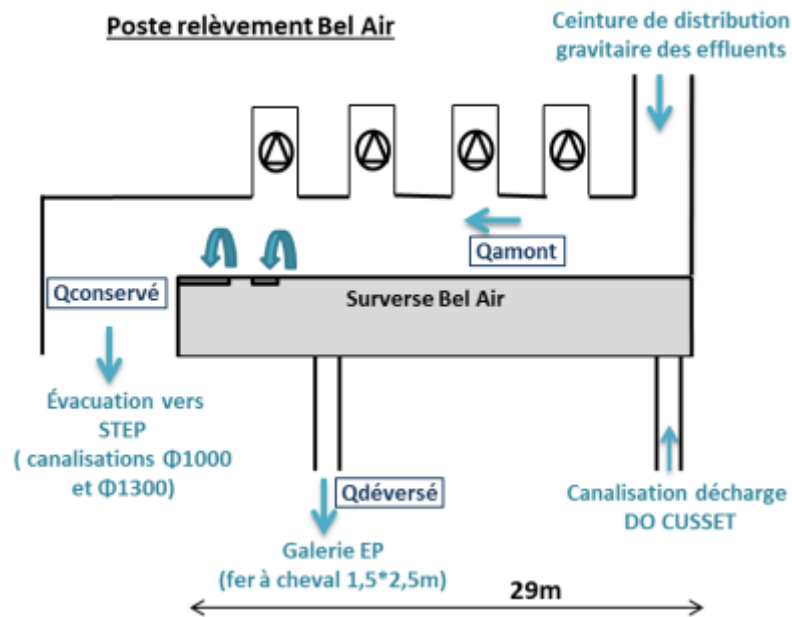
Annexe 7 : Schéma du déversoir Alexandre 1er



Annexe 8 : Vue du dessus du déversoir Charles de Gaulle



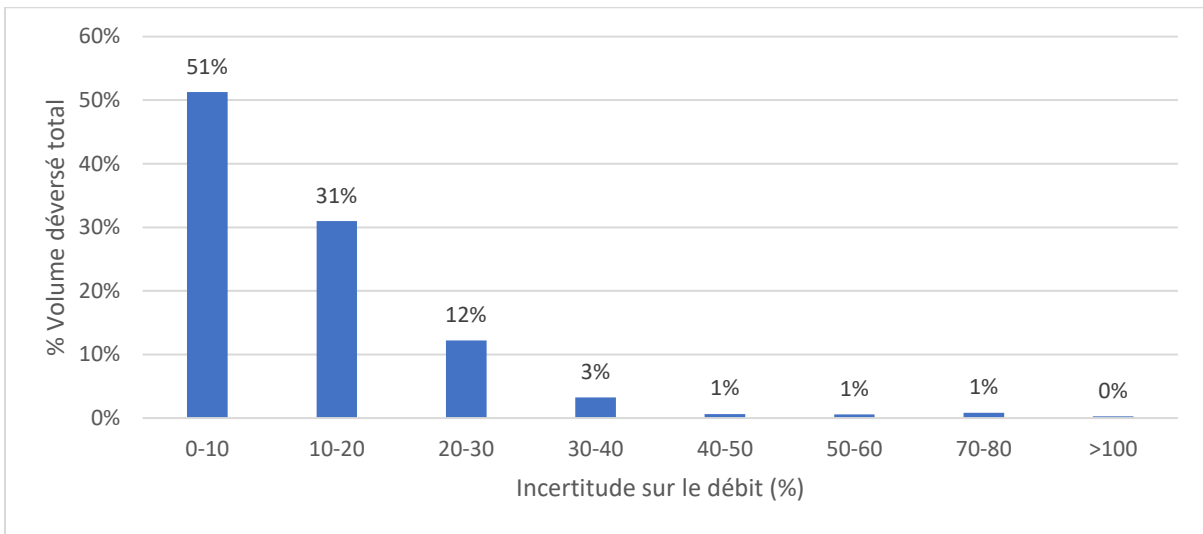
Annexe 9 : Schéma du déversoir Bel-Air



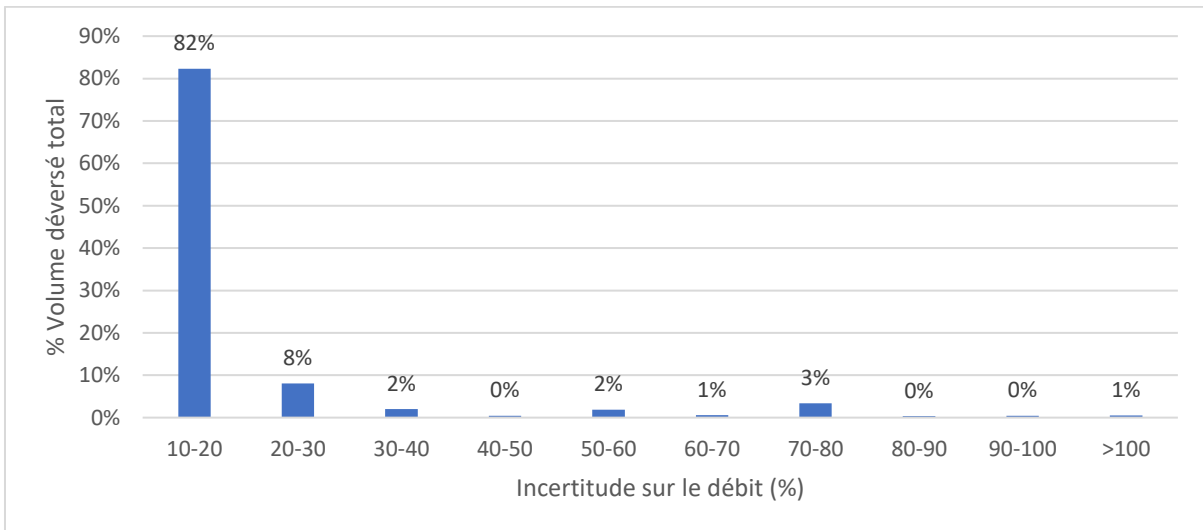
Annexe 10 : Définition et objectif des différents niveaux de service du réseau d'assainissement (ASTEE, 2017)

Objectifs de gestion du système d'assainissement	Aucun déversement d'eaux usées non traitées	Aucun déversement non autorisé	Déversements acceptés et maîtrisés Pas de débordement	Débordements localisés acceptés et maîtrisés	Protection des personnes – Organisation de la gestion de crise
Niveau de service et conditions pluviométriques correspondantes	Niveau de service N0 <i>Temps sec</i>	Niveau de service N1 <i>Pluies faibles</i>	Niveau de service N2 <i>Pluies moyennes</i>	Niveau de service N3 <i>Pluies fortes</i>	Niveau de service N4 <i>Pluies exceptionnelles</i>
Exemples de périodes de retour de pluie correspondant aux seuils entre niveaux de service		↑ 0,5 à 6 mois	↑ 2 à 20 ans	↑ 10 à 50 ans	↑ De l'ordre de 100 ans
Terminologie DERU	Conditions climatiques normales		Pluies fortes à exceptionnellement fortes		
Conception et dimensionnement	Vérification du fonctionnement pour les eaux usées	Hydraulique des ouvrages du système d'assainissement		Prise en compte des débordements dans l'espace urbain et vérification hydraulique des niveaux et écoulement	

Annexe 12 : Volume déversé (%) par classe d'incertitude sur le débit pour le déversoir Cusset



Annexe 13 : Volume déversé (%) par classe d'incertitude sur le débit pour le déversoir Sichon



Annexe 14 : Volume déversé / PdR pour tous les déversoirs (hormis Lac d'Allier et Cusset) pour une durée intense de 30 minutes

