HAL
open science

Modélisation du réseau eau pluviale de Chartres et dimensionnement d'un bassin pluvial

Florent Meudec

To cite this version:

Florent Meudec. Modélisation du réseau eau pluviale de Chartres et dimensionnement d'un bassin pluvial. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2021. dumas-03579024

HAL Id: dumas-03579024

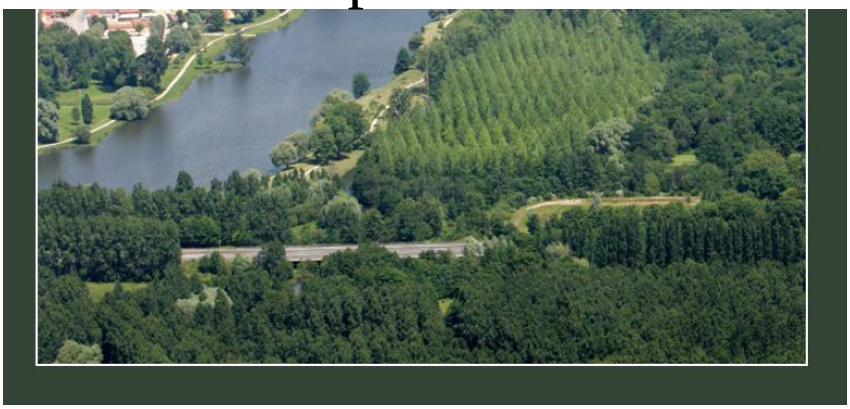
https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03579024

Submitted on 17 Feb 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.

Modélisation du réseau eau pluviale de Chartres et dimensionnement d'un bassin pluvial



Source Chartres métropole

« Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de l'ENGEES en formation par apprentissage »

MEUDEC Florent

Maître d'apprentissage : GANDIN Flora

Promotion Liège 2018 / 2021

Tuteur école : ISENMANN Gilles

Stage réalisé de janvier à octobre 2021

Remerciements

Ce travail de fin d'étude vient conclure les trois années de formations par alternance faite à la Direction du cycle de l'eau de Chartres métropole.

Je souhaite remercier Flora GANDIN, ma maître d'apprentissage pour le temps qu'elle a pu me consacrer, François BORDEAU le directeur du cycle de l'eau et Chartres métropole pour l'opportunité qu'il m'a été donnée pour réaliser cet apprentissage au sein de Chartres métropole.

Aussi je remercie Marlène LEBRUN pour ses conseils au cours des points hebdomadaires notamment lors du calage et du traitement des données de la campagne de mesure et Victor FRANCQUEVILLE pour les conseils sur la construction du réseau et les visites pour comprendre son fonctionnement.

Enfin je remercie chaleureusement toute la Direction du cycle de l'eau qui m'a accueilli durant ces trois années avec laquelle j'ai eu le plaisir de travailler tous les jours.

Résumé

Modélisation pluviale d'un bassin versant à l'ouest de Chartres et dimensionnement d'un bassin pluvial (Eure-et-Loir, 28)

La communauté d'agglomération Chartres métropole qui a la compétence de gestion des eaux pluviales, a besoin d'un modèle pluvial pour pouvoir prendre des décisions.

Donc un modèle sur le bassin versant du Couesnon, un ancien ruisseau busé lors de la création de la gare de Chartres, traversant les communes urbaines de Lucé, Mainvilliers et Chartres a été créé.

Après une campagne de mesure avec quatre capteurs, le modèle a été calé.

Une exploitation du modèle a été faite pour observer les nœuds qui débordent pour une pluie de projet décennale aussi crée.

Des solutions pour réduire les débordements au niveau de la zone de la place du 19 mars 1962 à Lucé sont proposées. Et des situations de renforcement du réseau existant et le pré-dimensionnement d'un bassin seront comparées.

La préconisation d'une modélisation plus précise au niveau de la place du 19 mars est faite pour prendre une décision.

Abstract

Pluvial modeling of a watershed west of Chartres and sizing of a pluvial basin (Eure-et-Loir, 28)

The Chartres metropolis agglomeration community, which has jurisdiction over stormwater management, needs a stormwater model in order to be able to make decisions.

So a model on the Couesnon watershed, an old stream that was piped during the creation of the Chartres train station, crossing the urban municipalities of Lucé, Mainvilliers and Chartres was created.

After a measurement campaign with four sensors, the model was calibrated.

An exploitation of the model was made to observe the nodes which overflow for a ten-year project rain also created .

Solutions to reduce overflows in the area of the place of March 19, 1962 in Lucé are proposed. And situations of reinforcement of the existing network and the pre-sizing of a basin are compared.

The recommendation for a more precise modeling near the March 19 place is made to make a decision.

Sommaire

Remerciements 3
Résumé 3
Abstract 4
Glossaire 7
Sigles. 7
Liste des Figures 8
Liste des Tableaux 10
Introduction 11
I Construction du modèle 12
1. Sous bassins versants 12
2. Réseau 12
1) Jonctions 13
2) Tronçons 14
3) Bassins 16
4) Poste de refoulement 18
3. Déversoirs 20
1) Déversoirs d'orage d'eaux usées 20
2) Déversoirs latéral du Couesnon 20
II. Campagne de mesure 21
1. Position des capteurs 22
2. Pluies de la campagne de mesure 23
1) Pluie du 9 avril 24
2) Pluie du 1er mai 25
3. Pour aller plus loin. 26
III. Calage 27
1. Paramètres servant au calage 28
1) Les pertes initiales (PI) 28
2) Pourcentage d'imperméabilisation 29
3) Largeur 29
4) Rugosité 30
2. Déroulement des différents calages 31
3. Tableau récapitulatif du calage 33
1) Expliquer le choix des paramètres initiaux 33
2) Récapitulatif des écarts entre la mesure et la simulation pour le calage 34
4. Explication et critique des résultats de calage 35

5. Pour aller plus loin 37
IV. Validation 38
1. Optimisation des pluviomètres sur les bassins versant en amont du point de mesure 1 38
2. Récapitulatif des écarts de validation 39
3. Explication et critique des résultats de validation 39
V. Pluies de Projets 40
1. Construction des pluies de projet 40
1) Pluies de projets crées initialement 41
2) Pluies de projet crées 41
VI. Exploitation du modèle 43
1. Débit décennal au niveau de l'impasse des Vauroux 43
2. Exutoire au niveau du Moulins des Graviers 44
3. Carte des débordements en fonction des volumes débordés. 45
4. Etude des débordements place du 19 mars 1962 à Lucé 47
1) Essai renforcement réseau 47
2) Dimensionnement du bassin sous le parking place du 19 mars 1962. 48
3) Caractéristiques du bassin enterré 49
4) Bilan des solutions 50
Conclusion 52
Bibliographie 53
Annexes 54

Glossaire

Les termes définis ci-dessous sont soulignés dans le corps du mémoire.

Période de retour : Une pluie de période de retour de 10 ans correspond à une probabilité d'une chance sur dix que cette pluie se produise tous les ans. La période de retour définie la période d'occurrence des pluies à l'aide de statistiques.

Hyétogramme : (i(t) intensité en fonction du temps qui tombe sur le bassin versant)

Hydrogramme : (Q(t) débit en fonction du temps qui s'écoule dans le réseau)

Pluviomètre : instrument météorologique destiné à mesurer la quantité de précipitations.

Pluviographe : pluviomètre reliés à un enregistreur en continu de la hauteur d'eau précipitée.

Stock surf imperm (mm) : le stockage sur les surfaces imperméables au début des précipitations.

Stock surf perm (mm) : correspond aux millimètres ne participant pas au ruissellement pour les surfaces perméables.

Le temps de réponse (lag-time) « caractérise le décalage de temps entre la pluie et le débit à l'exutoire. Il peut être estimé comme le temps entre le barycentre du hyétogramme et le barycentre de l'hydrogramme »; [1] p86

Sigles.

Les sigles développés ci-dessous sont soulignés dans le corps du mémoire.

MNT, modèle numérique de terrain

tn, terrain naturel

PCRS, (Plan Corps de rue simplifié)

Rugosité n =0.014 ϕ signifie que la rugosité n'a pas d'unité.

PTi, Points de mesure i

BV, (bassin versant)

PI, Les pertes initiales

%Imperm = le pourcentage de surface imperméables sur la surface totale

Courbes IDF, Courbes Intensité Durée Fréquence

DN1000, Tronçon de diamètre 1000 mm

Liste des Figures

Figure 1 Allure des bassins versant avec un rajout sur la partie amont de la zone de Lucé et position de la place du 19 mars 1962, Chartres France source PCSWMM 13
Figure 2 Tronçons modélisés avec une hypothèse, Lucé, France. 14
Figure 3 Rugosités des tronçons dans le modèle, Chartres, France 15
Figure 4 Position des bassins et postes de refoulement Ouest de Chartres, France. 16
Figure 5 Dimensions fossé Vauroux aérien source PCSWMM 16
Figure 6 Schéma succinct vue de travers des lumières du bassin Vauroux piscine 17
Figure 7 Forme du compartiment modélisé (Vauroux piscine) source PCSWMM 17
Figure 8 Modélisation des lumières avec la surverse (profil pas à l'échelle pour pouvoir observer la surverse) source PCSWMM 17
Figure 9 Schéma en vue de dessus du bassin Vauroux piscine 18
Figure 10 Bâche de stockage du poste des Vauroux source PCSWMM 19
Figure 11 Position des Déversoirs d'orages 20
Figure 12 Sonde piézorésistive pour la mesure de hauteur et capteur de vitesse (doppler), source Chartres métropole 21
Figure 13 Position des capteurs, de la surverse et de la rue de Poiffonds, avec ajout de l'antenne en amont du capteur Lucé, Chartres, France. 22
Figure 14 Point de mesure (PT1) capteur Poiffonds, Lucé, France, source Kalitéo 22
Figure 15 Point de mesure (PT2) Lucé, France, source Chartres métropole 22
Figure 16 Vue de la surverse en aval du point de mesure (PT3) source Chartres métropole 22
Figure 17 Regard du capteur PT2 Lucé, France, source Chartres métropole 22
Figure 18 Capteur PT3 parc André Gagnon, Chartres, France, source Chartres métropole 23
Figure 19 PT4 place Drouaise, Chartres, France, source Kalitéo 23
Figure 20 Position des pluviomètres servant à la campagne de mesure Chartres, Mainvilliers Eure-et-Loir (source PCSWMM) 23
Figure 21 Hyétogramme de la pluie du 9 avril 2021 pour le pluviomètre de la Mare Corbonne, Mainvilliers, France 24
Figure 22 Hyétogrammes de la pluie du 1er mai 2021 pour les pluviomètres de la Mare Corbonne et du pôle gare, Chartres, Mainvilliers France 25
Figure 23 Evolution de l'événement pluvieux du 1/5/2021 aux temps de 16h30 et 17h15 (même légende que la figure i_x1) autour de Chartres, Eure-et-Loir issu du site infoclimat.fr [5] 26
Figure 24 Seconde pointe de la pluie du 09/04/2021 27
Figure 25 Représentation des surfaces perméables, imperméables et imperméables avec Zéro-Stock source PCSWMM 29
Figure 26 Comparaison pluie et débit mesurés au point PT1 pour la pluie du 1/5/21 de la Mare Corbonne avec la présentation du lag-time 30
Figure 27 Graphique lag-time (K) en fonction de l'aire du bassin versant (A). Etiquette de données (Nom ; A ; K) 31
Figure 28 Répartitions des bassins versants avec le point de mesure servant à leur calage, Chartres, France 32
Figure 29 Hydrogrammes pour les capteurs PT3 et PT4 avec la hauteur au point PT3 fonction du temps pour la pluie de calage du 9 avril 2021, Chartres France. 36
Figure 30 Hydrogrammes pour les capteurs PT3 et PT4 avec la hauteur au point PT3 fonction du temps pour la pluie de validation du 1er mai 2021, Chartres France. 36
Figure 31 Allure d'une pluie de projet double triangle avec les différentes durées et intensités (source [8] Wikhydro) 40

Figure 32 Tronçon utilisé pour obtenir le débit décennal à l'impasse des Vauroux, Mainvilliers, Eure-et-Loir. Source PCSWMM 43
Figure 33 Profil en long du tronçon affleurant dans l'impasse des Vauroux, Mainvilliers, Eure-et-Loir. Source PCSWMM 43
Figure 34 Profil en long du Couesnon au niveau de l'exutoire du moulin des Graviers pour une pluie décennale, Chartres, France 44
Figure 35 Position des nœuds du profil de l'exutoire du Couesnon au Moulin des Graviers, Chartres, France. 45
Figure 36 Carte représentant les volumes totaux de crues en ML pour une pluie décennale de 6h avec une période intense de 30min, Chartres, France. 45
Figure 37 Carte représentant les volumes totaux de crues en ML pour une pluie décennale de 3h avec une période intense de 15min, Chartres, France. 46
Figure 38 Débordements observés sur les antennes en amont de la place du 19/03/1962 pour la pluie décennale de 3h. 47
Figure 39 Tronçons renforcés avec un diamètre de 1m place du 19 mars 1962, Lucé, France. 47
Figure 40 Emplacement et identification des nœuds en aval de l'antenne de Lucé, France. 48
Figure 41 Emprise foncière modélisation du bassin place du 19/03/1962, Lucé, France 49
Figure 42 Courbe du débit en sortie du bassin créé place du 19/03/1962 au niveau de la sortie contrôlée. 50

Liste des Tableaux

Tableau 1 Légende de la carte représentant les rugosités des tronçons du modèle (Figure 3)..... 15
Tableau 2 Tableau de synthèse des pluies de la campagne de mesure 24
Tableau 3 Récapitulatif des paramètres de pertes initiales calées..... 28
Tableau 4 Récapitulatif des écarts entre la mesure et la simulation pour le volume total et le débit maximal du calage..... 34
Tableau 5 Légende du tableau ci-dessus «Récapitulatif des écarts entre la mesure et la simulation pour le volume total et le débit maximal du calage» montrant les intervalles des écarts par couleur 34
Tableau 6 Optimisation de la répartition des pluviomètres sur les bassins-versant du PT1 pour la pluie du 01/05/2021..... 38
Tableau 7 Récapitulatif des écarts entre la mesure et la simulation pour le volume total et le débit maximal de la validation 39
Tableau 8 Légende du tableau ci-dessus «Récapitulatif des écarts entre la mesure et la simulation pour le volume total et le débit maximal de la validation » montrant les intervalles des écarts par couleur..... 39
Tableau 9 Comparaison des intensités maximales des hyétogrammes des pluies de projets crées ... 42
Tableau 10 Légende de la carte représentant les volumes totaux de crue (Figure 36 et 37..... 46
Tableau 11 Volume déborder en ML (méga litres) en aval de l'antenne de Lucé pour les trois situations de renforcement du réseau (situation initiale, DN300 en DN1000 et DN300 et 600 en DN1000..... 47
Tableau 12 Volume déborder en ML (méga litres) en aval de l'antenne de Lucé pour les trois situations de renforcement du réseau et les deux dimensionnements de bassins (situation initiale, DN300 en DN1000 et DN300 et 600 en DN1000 et volumes de 4575 m^3 et 2600 m^3)..... 50

Introduction

En France, la gestion de l'eau est attribuée aux collectivités territoriales (les communes, communautés de communes ou d'agglomérations et les syndicats de communes).

Chartres métropole est une communauté d'agglomération, regroupant 66 communes autour de Chartres. Chartres métropole comporte plus de 136 000 habitants selon l'INSEE. Parmi ces 66 communes, 7 sont en zone urbaine.

Chartres se situe en région Centre-Val-de-Loire dans le département de l'Eure-et-Loir (28).

En tant que communauté d'agglomération, Chartres métropole a la compétence de gestion des eaux pluviales. Cette compétence a été déléguée à Chartres métropole par les communes membres de la communauté d'agglomération.

Contrairement à l'eau potable et aux eaux usées, la gestion des eaux pluviales n'a pas été déléguée par Chartres métropole. Cette gestion des eaux pluviales est financée par le budget général de Chartres métropole.

Ce travail de fin d'étude tourne autour la création d'un modèle pluvial pour Chartres métropole qui servira d'outil d'aide à la décision.

Le modèle se concentre essentiellement sur le bassin versant du Couesnon, un ancien ruisseau busé lors de la création de la gare de Chartres il y a près de deux siècles. Ce ruisseau traverse les communes urbaines de Lucé, Mainvilliers et Chartres et collecte en amont les eaux de ruissellement des champs vers le bassin aérien en Poiffonds.

La construction du modèle avec les hypothèses choisies est détaillée dans ce mémoire. Le logiciel de modélisation PCSWMM est utilisé pour créer ce modèle.

Pour pouvoir estimer et réduire les erreurs de la modélisation qui est par définition une simplification de la réalité, une campagne de mesure sur quatre points du réseau sera réalisée.

Avec les données de cette campagne de mesure, le modèle va être calé. Mais une validation du calage sera également réalisée.

Des pluies de projets seront créés pour différentes <u>période de retour</u> pour pouvoir les utiliser dans le modèle par la suite.

Mais ce travail de fin d'étude se concentre également sur le pré-dimensionnement d'un bassin au niveau de la zone de la place du 19 mars 1962 à Lucé (Figure 1) pour une pluie décennale crée dans ce projet.

I Construction du modèle

La construction du réseau et des bassins versants a été faite à partir d'un ancien modèle du Couesnon (ruisseau enterré du centre-ville), réalisé par la Direction du cycle de l'eau de Chartres métropole.

Des visites sur le terrain ont été faites afin de bien comprendre le fonctionnement du réseau et des bassins versant, en particulier avec leurs pentes et la mise à jour de la structure et des caractéristiques du réseau.

Le modèle à également utilisé les mises à jour de l'emplacement des regards et des tronçons faites par la Direction du cycle de l'eau. Avec une mise jour de la profondeur des regards.

1. Sous bassins versants

La délimitation des sous-bassins versants fût actualisée après la reprise de ceux de l'ancien modèle.

Cette actualisation a été faite grâce à un modèle numérique de terrain (MNT), représenté par une couche tous les mètres, mais également avec le contour du réseau, des petites antennes et branchements.

Les sous bassins versants sont plutôt grands (en moyenne 43.5 ha). Ils englobent les antennes allant vers le Couesnon. À l'exception de ceux en amont de Lucé (place du 19 mars 1962) (Figure 1) qui sont plus petits et donc plus précis (en moyenne 11.6 ha).

Ensuite les paramètres suivants des bassins versants ont été choisi.

L'infiltration est modélisée par un modèle d'Horton avec un taux d'infiltration ; maximal de 40 mm/h et minimal de 0.5 mm/h, une constante de décroissance de 4 h^{-1} et un temps de séchage de 7 jours. Ces paramètres dépendent de la nature des sols. La longueur d'écoulement, est celle des collecteurs principaux additionnée à la distance la plus longue pour rejoindre le réseau. Cette longueur représente un paramètre de calage ; la Largeur.

La pente moyenne est celle du réseau pour un bassin versant urbain. Pour un bassin versant rural c'est la pente du terrain naturel sur la longueur d'écoulement qui est utilisée.

Enfin les pourcentages d'aire perméable (espaces verts ou champs), imperméable (voirie) ou zéro imperméable (toiture) choisis ont été estimées avec une vue aérienne. Le pourcentage d'aire imperméable représente un paramètre de calage. Il remplace le coefficient de ruissellement.

Le bassin versant de Chavannes est scindé car le sous bassin versant du bassin d'infiltration de Chavannes est infiltrée et ne s'écoule pas vers le Couesnon. (Annexe 2).

La description des paramètres de calage sera explicité dans la partie calage.

Lors de la phase de calage, les vannes en sortie du bassin de Poiffonds en amont du Couesnon (Figure 4) étaient fermées. Les paramètres du bassin versant en amont du bassin ne pourront donc pas être calés.

2. Réseau

Par ailleurs le rapport d'une visite pédestre sur une portion du Couesnon, allant de l'aval du bassin des Vauroux enterré aux deux exutoires dans l'Eure, [2] (Figure 1 et 4) a été utilisé pour mettre à jour le réseau.

1) Jonctions

Les regards conservés sont ceux qui séparent deux tronçons de diamètres différents, ceux qui sont à la limite d'un changement de pente plutôt significatif sur le profil ou bien à l'exutoire d'un bassin versant.

Avec l'aide de la visite pédestre, [2] la profondeur de certains nœuds a pu être mise à jour.

Les visites sur le terrain ont aussi permis avec la mesure de la profondeur des regards et la cote du terrain naturel (tn) d'obtenir la cote radier.

La cote du terrain naturel est obtenu avec le PCRS (Plan Corps de Rue Simplifié), c'est-à-dire un plan qui donne la cote altimétrique de certains points comme les trottoirs, les feux ou les lampadaires.

La réduction du nombre de regard réduit la précision sur la position exacte d'un débordement modélisé. Mais une optimisation entre la précision du modèle et son temps de calcul doit être faite.

Le regard *J11*, exutoire de deux bassins versant, semble borgne (sous l'enrobée) sa profondeur a été choisie pour permettre une continuité de la pente au radier (11.07m) faute de données. (Figure 1 ci-dessous). Il en est de même pour le regard *EP21* juste en aval du déversoir d'orage eaux usées des Vauroux (Figure 11).

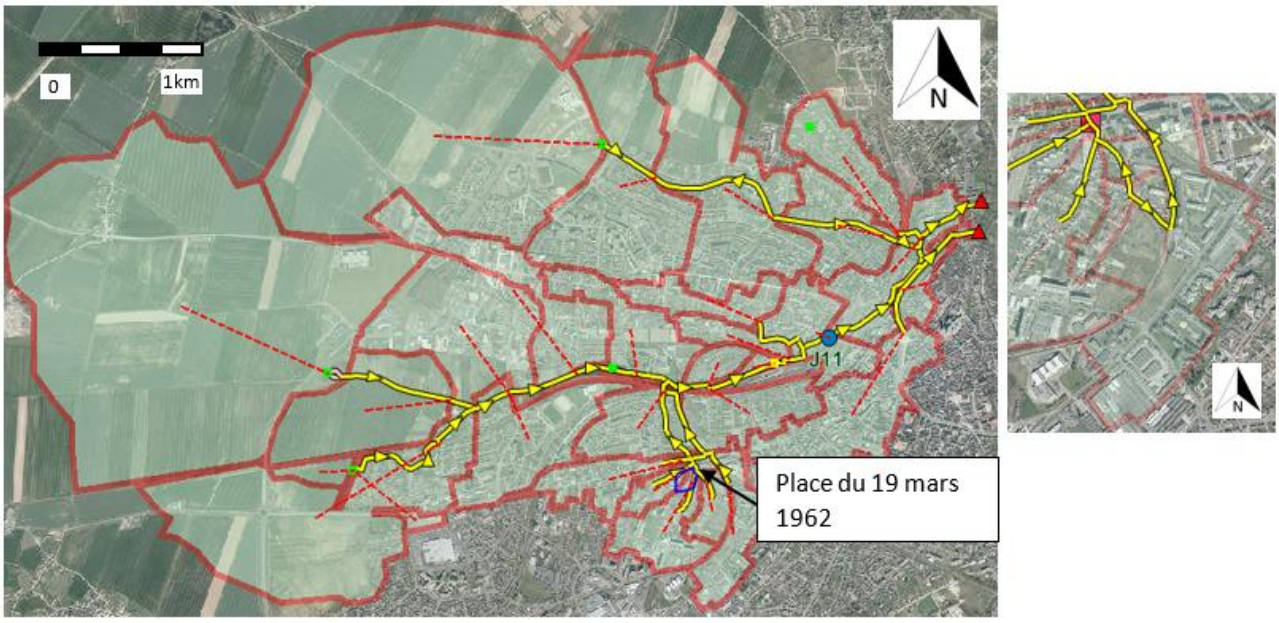


Figure 1 Allure des bassins versant avec un rajout sur la partie amont de la zone de Lucé et position de la place du 19 mars 1962, Chartres France source PCSWMM

La cote radier de l'exutoire *Exu_Couesnon*, l'exutoire nord à l'aval su nœud C21_5 (Figure 2) a été obtenue en prenant la cote radier du nœud précédent compte tenu de la pente du collecteur.

2) Tronçons

La visite pédestre [2] a permis de mettre à jour la géométrie des tronçons cependant il semble que certains tronçons ont des sections qui se rétrécissent sur un court linéaire entre deux regards. Ceci ne peut être modélisé sans ajouter des regards fictifs et alourdir le temps de calcul. Ainsi au besoin, une perte de charge singulière peut être ajoutée sur ces tronçons.

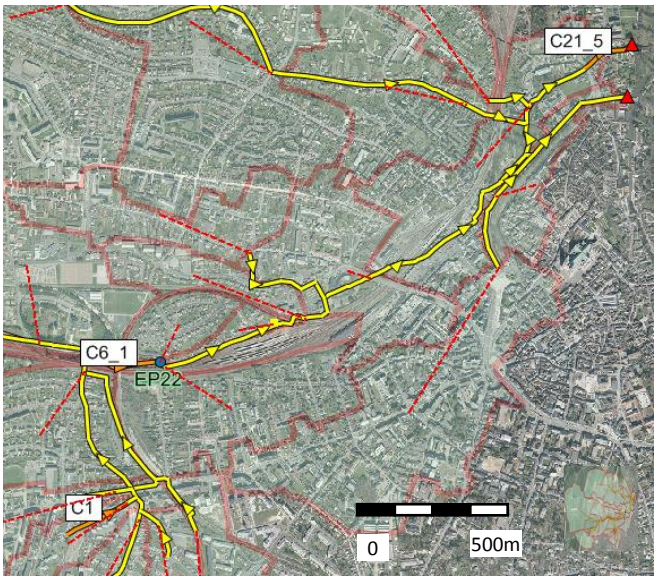


Figure 2 Tronçons modélisés avec une hypothèse, Lucé, France.

Par exemple, le tronçon entre les nœud *EP22* et *EP23* (C6_1) est aplati au niveau du nœud *EP22* mais son diamètre choisi est celui de tout le tronçon. (Figure 2)

Pour le tronçon C21_5 dernier tronçon avant l'exutoire principal du Couesnon (*Exu-Couesnon*), la hauteur mesurée est de 1.7m au regard en amont et 1.5m au niveau des regards intermédiaires. La hauteur retenue est 1.5m sur toute la longueur du tronçon.

Dans la zone de Lucé, le tronçon C1 limité en aval par un diamètre ϕ300mm est simplifié dans un premier temps. (Figure 2)

Par ailleurs le niveau de l'Eure à une influence aval sur l'exutoire nord du Couesnon. La cote radier modélisée de cet exutoire (*Exu_Couesnon*) (Figure 2) vaut 121.24m et le niveau de l'Eure atteint 121.99m au moment de la campagne de mesure.

La rugosité des tronçons dans le modèle est la rugosité de Manning (n), inverse de la rugosité de Strickler (K=1/n).

La rugosité est de 0.014 ϕ pour tous les tronçons plus ou moins récents excepté le fossé en sortie du bassin de Poiffonds (Figures 3) qui n'est pas entretenu et contient des arbres. Sa rugosité est de 0.15 ϕ.

Les parties maçonnées du Couesnon ont une rugosité de 0.016 ϕ car elles sont plus anciennes, certaines ont surement plus de 100 ans. Par ailleurs la visite pédestre [2] montre que le radier est endommagé par endroit d'où l'augmentation de la rugosité.

Dans la partie calage, d'autres informations sur la rugosité seront ajoutées.

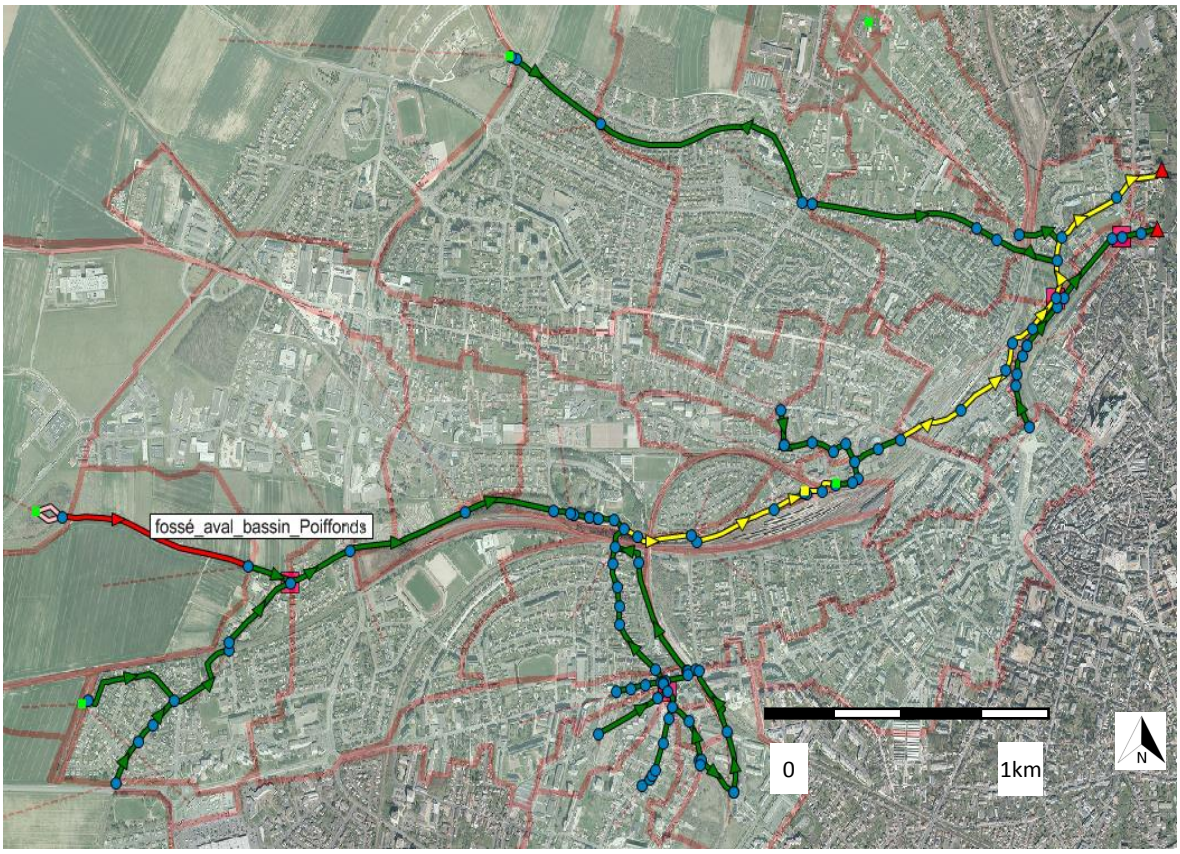


Figure 3 Rugosités des tronçons dans le modèle, Chartres, France

Tableau 1 Légende de la carte représentant les rugosités des tronçons du modèle (Figure 3)

Légende Rugosité Manning (n)	
0.014	
0.016	
0.15	

3) Bassins

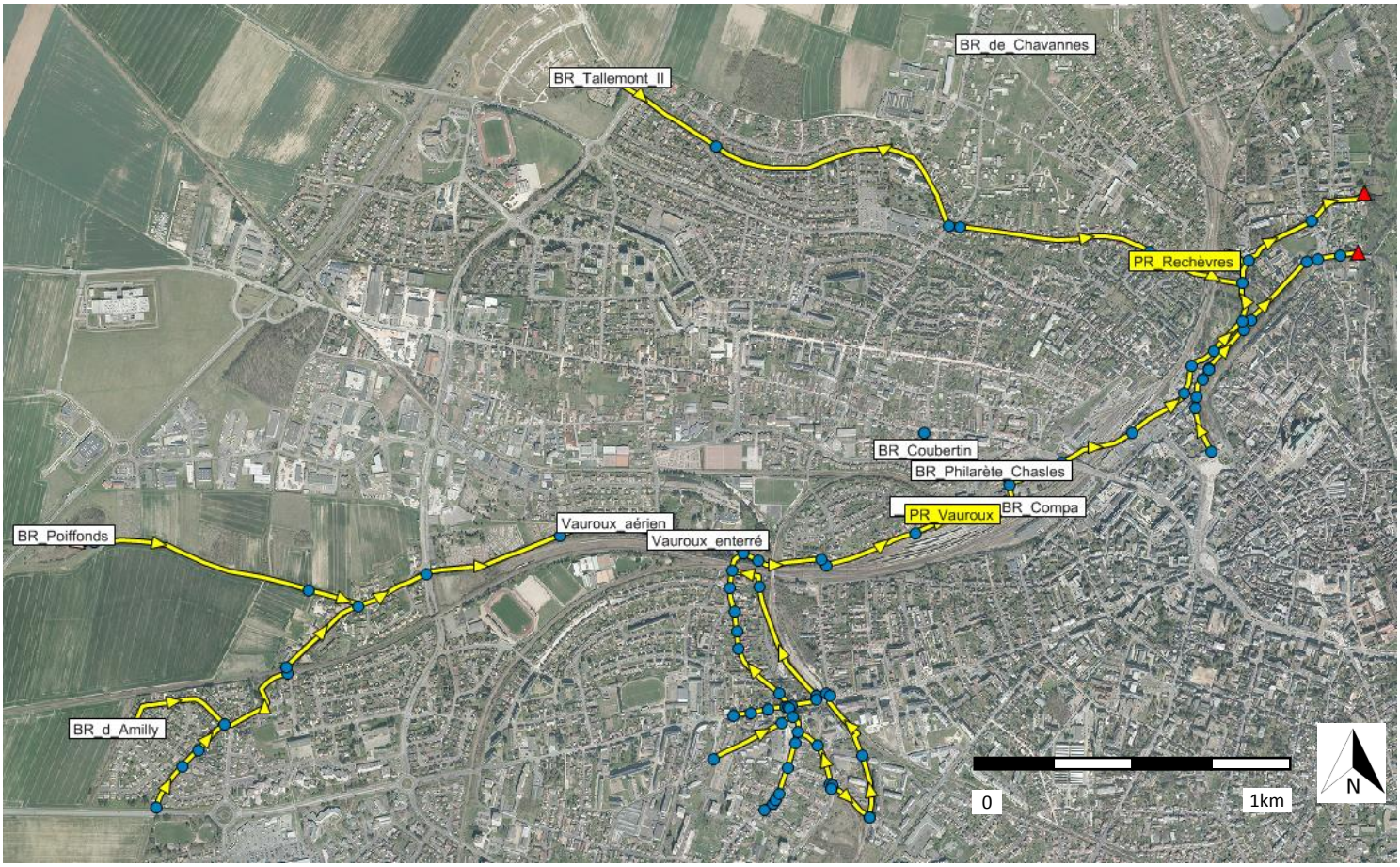


Figure 4 Position des bassins et postes de refoulement Ouest de Chartres, France.

Le **bassin Vauroux aérien** est modélisé avec un fossé de 2m de haut pour 10m de large avec une pente de 1/1 pour un linéaire de 325.6 m (Figure 5 ci-dessous).

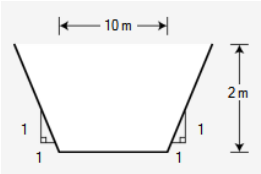


Figure 5 Dimensions fossé Vauroux aérien source PCSWMM

Le volume réellement utilisé est inférieur aux 18000 m^3 prévus. En effet la surverse du premier compartiment du bassin enterré (Figures 4 et 5) en aval de l'autre côté de la route impose la hauteur d'eau maximale dans le bassin aérien. Le volume total estimé est supérieur à 5000 m^3.

Le fossé en béton modélisé permet un volume maximal stocké de plus de 7800 m^3. Par ailleurs ce bassin étant modéliser par un fossé infiltrant, un taux de fuite de 1 mm/h d'infiltration est ajouté au fossé.

Pour les autres bassins aériens, Poiffonds, Amilly et Tallemont II, l'infiltration est modélisée avec une conductivité de 1 mm/h pour le sol saturé et une tension capillaire de 2mm (hauteur d'infiltration quand le sol n'est pas encore saturé) avec un facteur d'évaporation égal à 1.

Le second **bassin** est nommé **Vauroux enterré ou piscine**.

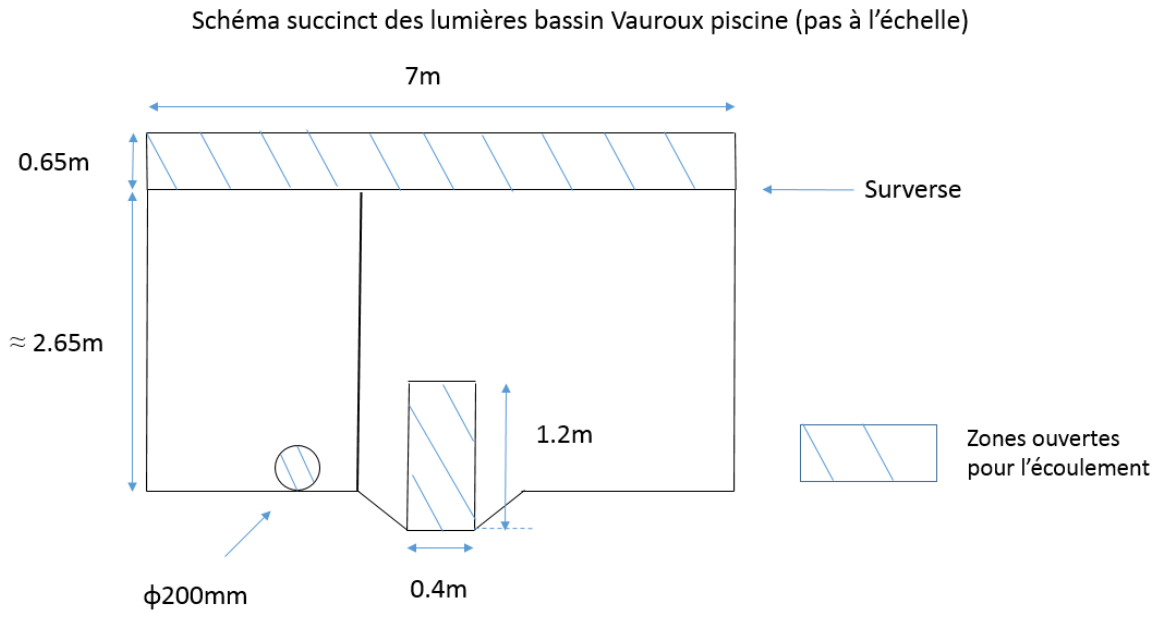


Figure 6 Schéma succinct vue de travers des lumières du bassin Vauroux piscine

Ce bassin est constitué de 4 compartiments de 7 m de large pour une profondeur de 3.3m séparés par des ouvertures nommées par la suite « lumières » (Figure 6 ci-dessus))

Chaque compartiment contient deux espaces de stockage séparés par un mur. Le premier à gauche se vidange par un trou circulaire de diamètre 200mm et le second se vide avec une ouverture rectangulaire de 1.2m de longueur par 0.4m. La profondeur totale est de 3.3m.

Ce bassin est modélisé avec un compartiment regroupant les deux espaces de stockage (Figure 7)

Les exutoires des compartiments, c'est-à-dire le cercle de diamètre 200mm et le rectangle de 1.2m par 0.4m sont modélisés avec un tronçon rectangulaire de 1.51m par 0.4m. Ainsi la section du trou circulaire a été ajoutée à la section rectangulaire.

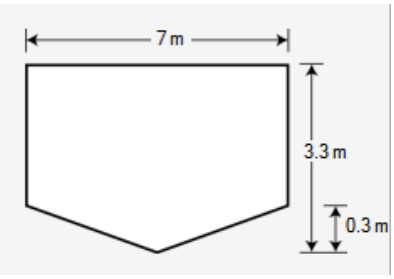


Figure 7 Forme du compartiment modélisé (Vauroux piscine) source PCSWMM

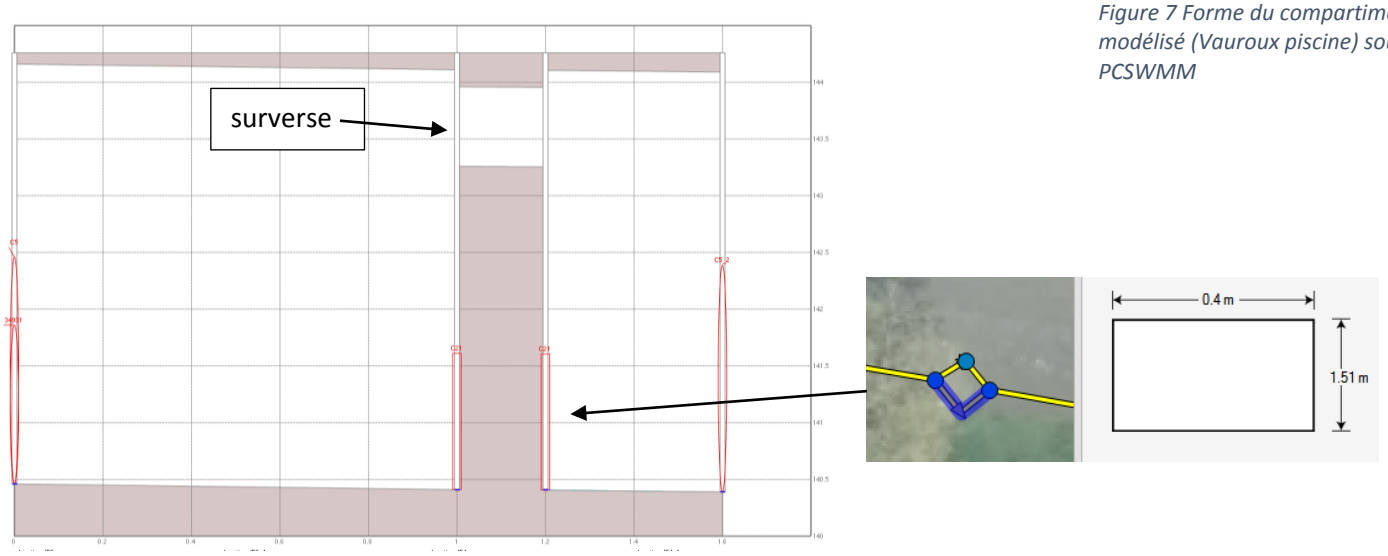


Figure 8 Modélisation des lumières avec la surverse (profil pas à l'échelle pour pouvoir observer la surverse) source PCSWMM

La surverse est modélisée par un tronçon de 20cm de long qui a un décalage en entrée et sortie par rapport au radier du regard permettant la surverse. (Figure 8)

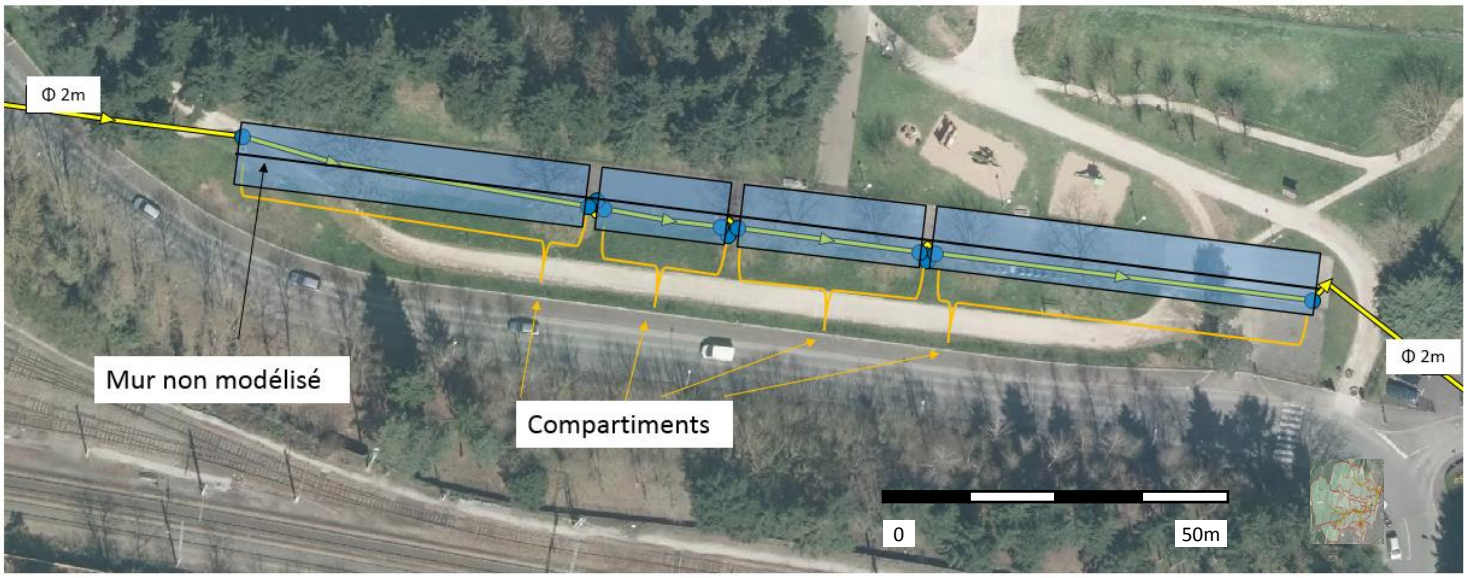


Figure 9 Schéma en vue de dessus du bassin Vauroux piscine

La sortie de ce bassin, est représentée par une conduite circulaire de diamètre 2000mm.

En aval de ce bassin après le regroupement avec le bassin versant venant de Lucé, une autre chambre avec une lumière similaire est modélisée avec uniquement un trou rectangulaire de 1.2m par 0.4m.

Les **bassins de Coubertin de de Philarète Chasles** tous deux enterrés limitent le rejet dans le Couesnon en aval. Ces deux bassins sont modélisés comme un collecteur rectangulaire (3m de large pour 1.9m de haut). Leurs dimensions ont été estimées sur le terrain. La limitation de débit est modélisée par un collecteur de faible diamètre (un orifice de 350mm pour Coubertin et un collecteur de 400mm pour Philarète Chasles) à la place des limiteurs de débit existant. Ce choix surestime le débit rejeté par ces bassins mais est acceptable étant donné que le fonctionnement des limiteurs de débit n'est pas connu

Le **bassin de rétention** avec limiteur de débit **du Compa**, au sud du bassin de Philarète Chasles et légèrement en amont du dévoiement du Couesnon, est modélisé comme le bassin de Poiffonds avec une aire constante de 150 m^2 sur une hauteur légèrement supérieure à 1.8 m. Son volume est estimé à 270 m^3 .

4) Poste de refoulement

Dans le secteur de la vallée de Rechèvres, (Figure 4) un poste de refoulement sert d'exutoire à un petit bassin versant.

Ce poste ne sera pas modélisé car malheureusement le bassin versant de Rechèvres ne pourra pas être calé à cause d'un nombre insuffisant de capteurs (partie campagne de mesure)

Néanmoins le poste de relevage de Philarète Chasles ou des Vauroux situé au fond de l'impasse des Vauroux (Figure 4) est quant à lui modélisé.

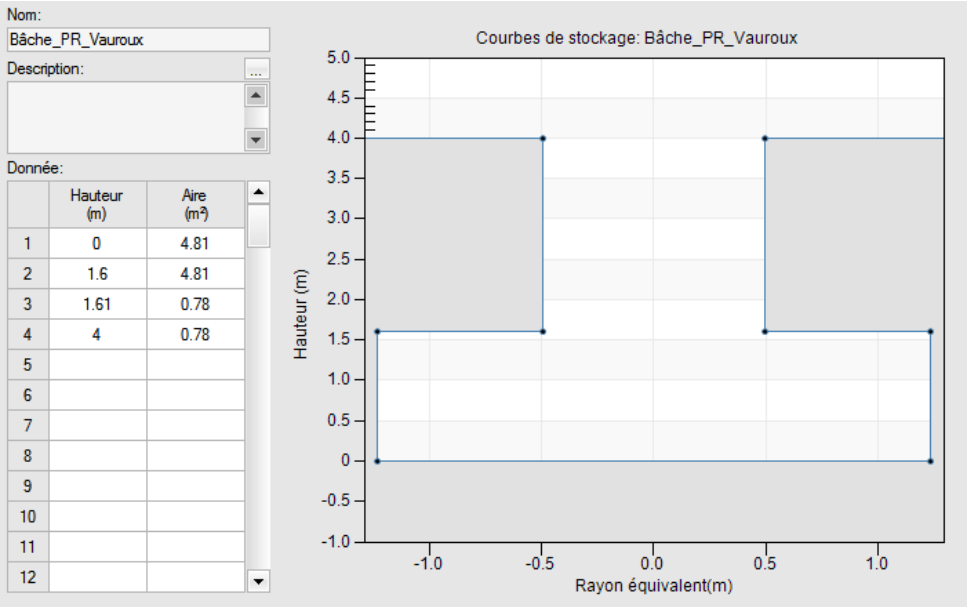
Les dimensions de la bâche de stockage du poste sont :

Une profondeur totale de 4m dont 1.6m entre le radier et le bas de la cheminée du regard. (Figure 10)

Le regard a un diamètre d'un mètre.

Le diamètre de la bâche est estimé à 2,50 m.

Ce poste est l'exutoire d'un petit bassin versant de l'impasse des Vauroux, point bas très sensible au risque inondation. En particulier lors de disfonctionnement des postes eaux usées ou pluviaux.



	Hauteur (m)	Aire (m²)
1	0	4.81
2	1.6	4.81
3	1.61	0.78
4	4	0.78
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

Figure 10 Bâche de stockage du poste des Vauroux source PCSWMM

Le collecteur en amont de la bâche de stockage sert également à retenir un volume d'eau avant le refoulement. Ce dernier est modélisé par une conduite circulaire de diamètre de 2000mm sur une longueur de 30m.

La courbe caractéristique de la pompe modélisée est de 0.6 L/s avec une hauteur de démarrage de 0.6m et la hauteur d'arrêt est de 0.4m

En effet pour une HMT avoisinant les 5 m, le débit d'une pompe avoisine les 60 L/s. Annexe 1.

Le poste de refoulement contient 2 pompes identiques fonctionnant par intermittence.

3. Déversoirs

1) Déversoirs d'orage d'eaux usées

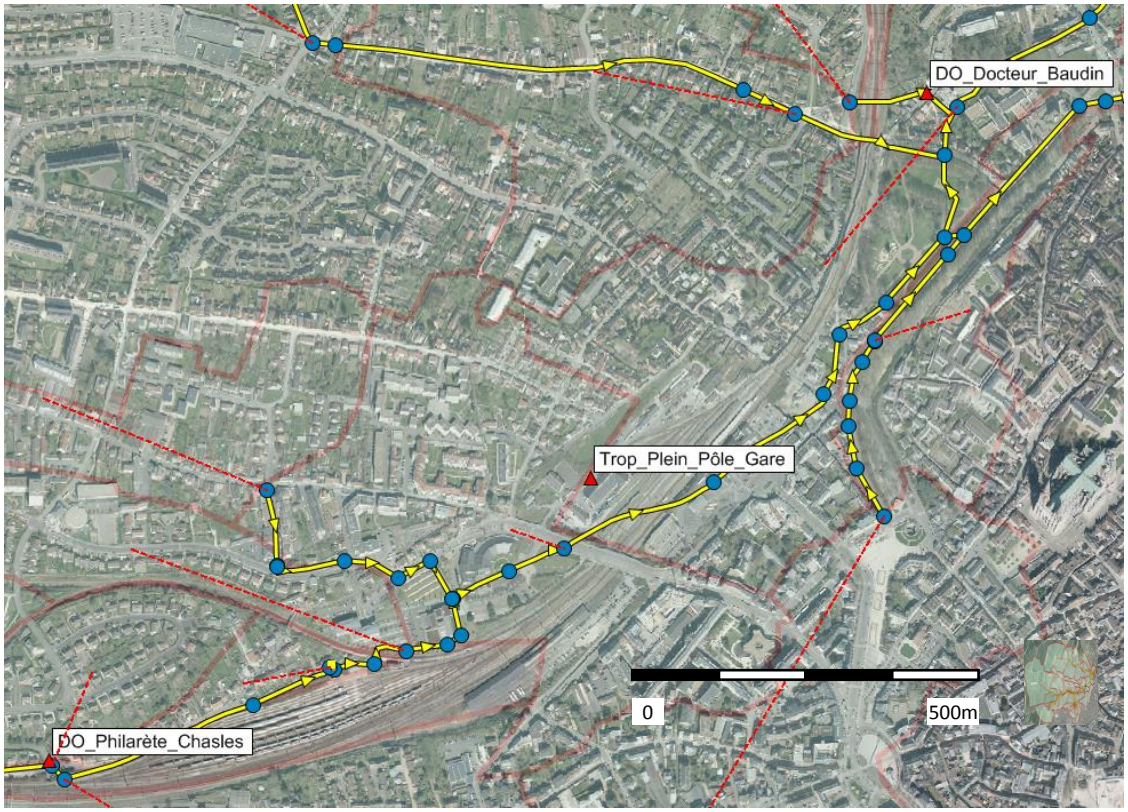


Figure 11 Position des Déversoirs d'orages

Les déversoirs d'orage (Philarètes Chasles et Docteur Baudin et celui du Pôle Gare) seront modélisés par l'injection d'un débit équivalent au débit déversé dans le réseau au niveau des nœuds.

L'autosurveillance des déversoirs d'eaux usées permet de connaître le débit déversé en fonction du temps.

Le trop-plein du poste eaux usées du pôle gare est utilisé lors d'un disfonctionnement des pompes.

Enfin des commentaires sur des hypothèses de modélisation complémentaires sont renseignés dans l'attribut « Description » des éléments concernés.

Le Déversoir d'orage du Docteur Baudin ne commence à déverser que pour une pluie de période de retour de plus de 20 ans [3]

2) Déversoirs latéral du Couesnon

Le déversoir latéral du Couesnon se rejette en aval vers la place Drouaise, sera souvent nommé « surverse » par la suite.

Ce déversoir est présenté aux Annexes 3, 4 et 5mais également dans la sous-partie Explication et critique des résultats de calage.

II. Campagne de mesure

La campagne de mesure sert à caler et valider le modèle, Cela permet de voir la réaction du modèle avec des pluies réelles mesurées.

Pour cela quatre capteurs ont été utilisés sur une durée d'un mois avec une prolongation de deux semaines.

La campagne de mesure a été réalisé par l'entreprise Kalitéo basée 7 rue de l'ancienne auberge 27620 GASNY dans le département de L'Eure. [4]

Figure 12 Sonde piézorésistive pour la mesure de hauteur et capteur de vitesse (doppler), source Chartres métropole

Les appareils de mesure sont constitués d'une sonde piézorésistive pour la mesure de la hauteur et d'un capteur de vitesse doppler. (Figure 12)

C'est pour cela que les capteurs sont placés au fond de la canalisation à contre-courant. (Figures 14,15 et 18)

Les débits sont mesurés en continu selon les prescriptions de la norme AFNOR NFX10.311 d'après le devis de Kalitéo.

Les quatre capteurs ont été installés le vendredi 26/03/2021 dans le courant de la matinée. Les données de hauteur, vitesse et débits s'étendent du 29/03/2021 minuit au 10/05/2021 minuit avec un pas de temps de 5 minutes.

1. Position des capteurs

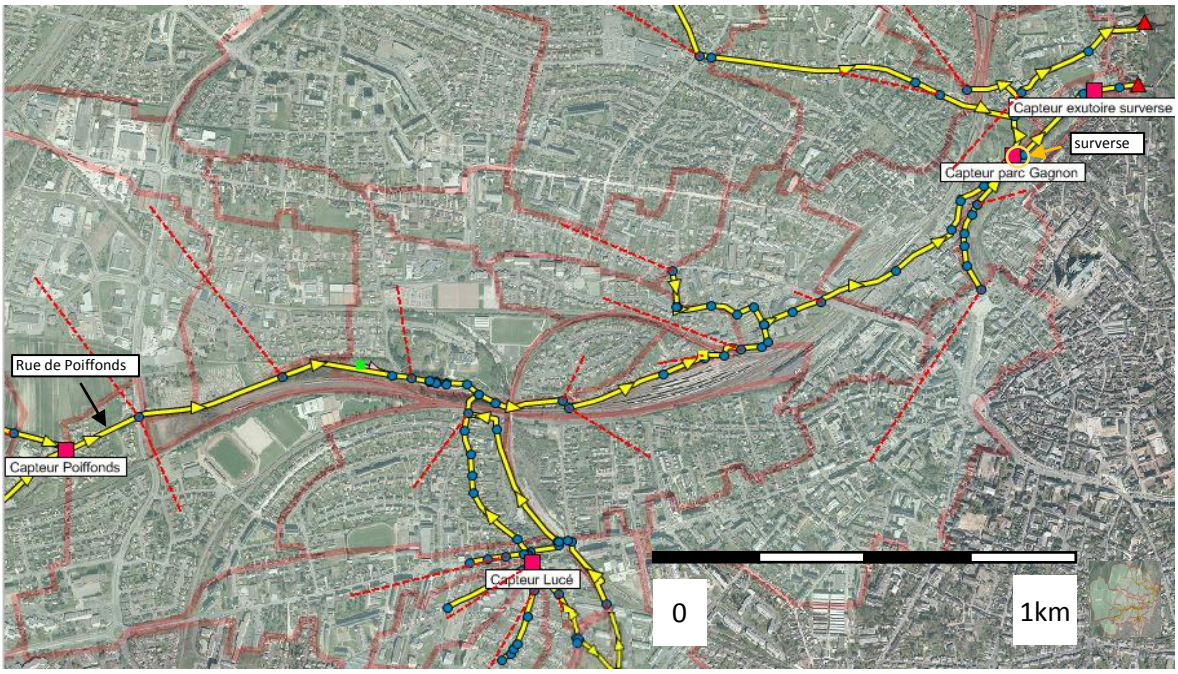


Figure 13 Position des capteurs, de la surverse et de la rue de Poiffonds, avec ajout de l'antenne en amont du capteur Lucé, Chartres, France.

Figure 14 Point de mesure (PT1) capteur Poiffonds, Lucé, France, source Kalitéo

Le « capteur Poiffonds » nommé **PT1** est positionné en amont du bassin versant. Il permet d'obtenir un débit cohérent pour la zone juste en aval. Dans la rue de Poiffonds qui est une zone à fort risque de débordements car c'est un point bas et une zone qui a reçu des plaintes de riverains lors de visites sur le terrain. (Figure 13)

Ensuite le « Capteur Lucé », **PT2** est positionné juste en aval de la place du 19 mars 1962. Cette zone sera utilisée par la suite pour un pré-dimensionnement de bassin.

Figure 15 Point de mesure (PT2) Lucé, France, source Chartres métropole

Figure 16 Vue de la surverse en aval du point de mesure (PT3) source Chartres métropole

Figure 17 Regard du capteur PT2 Lucé, France, source Chartres métropole

Figure 18 Capteur PT3 parc André Gagnon, Chartres, France, source Chartres métropole

Enfin les capteurs situés dans le parc Gagnon, **PT3,** (Figure 13)**,** et celui au niveau de la place Drouaise, le « capteur exutoire surverse » noté **PT4**, (Figure 19), permettent d'estimer le débit déverser du Couesnon maçonné vers le réseau pluvial en parallèle. (Annexe 4) Le capteur PT3 se trouve quelques mètres en amont de la surverse, le déversoir latéral schématisé en (Annexe 3) et localisé sur la (Figure 13) ci-dessus.

Figure 19 PT4 place Drouaise, Chartres, France, source Kalitéo

Des choix ont dû être fait sur la position des capteurs.

L'antenne de Rechèvres partant du bassin Tallemont II (Figure 4) n'a pas pu être calée.

La zone en aval du Parc André Gagnon ne sera pas calée non plus.

Enfin les vannes en sortie du bassin de Poiffonds étaient fermées lors du calage (Figure 4), donc le BV (bassin versant) *S_Couasnon1* en amont de Poiffonds n'a pas pu être calé au point PT1.

2. Pluies de la campagne de mesure

Au cours de cette campagne de mesure, deux pluies significatives ont été observées, une pour le calage et une autre pour la validation.

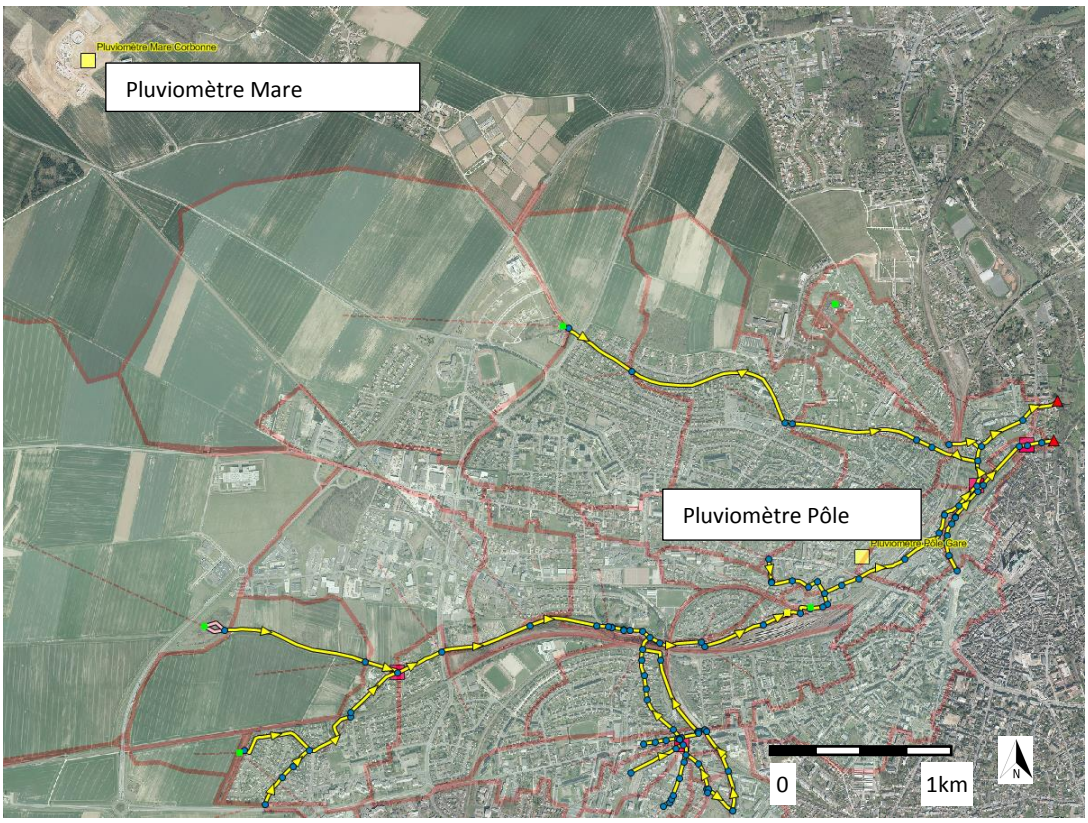


Figure 20 Position des pluviomètres servant à la campagne de mesure Chartres, Mainvilliers Eure-et-Loir (source PCSWMM)

Pour mesurer ces précipitations, deux pluviomètres à auget basculant sont utilisés par le délégataire de Chartres métropole Chartres métropole Eau Assainissement. Le premier à la station de traitement des eaux usées de la mare Corbonne et le second au niveau du déversoir d'orage du poste eaux usées « Pôle Gare » à proximité de la gare de Chartres. (Figure 20).

Ces pluviomètres se situent respectivement en amont en en aval du bassin versant du Couesnon.

Les données du pluviomètre de la Mare Corbonne s'étalent du 15/03/2021 0h au 15/05/2021 23h50.

Alors que les données du pluviomètre du pôle gare s'étendent du 21/04/2021 10h20 au 15/05/2021 à 23h50.

Le tableau de synthèse (Tableau 2 ci-dessous) précise les paramètres des pluies, tels que la durée totale des précipitations, la hauteur totale et la hauteur maximale mesurée, avec la période intense.

Tableau 2 Tableau de synthèse des pluies de la campagne de mesure

Tableau de synthèse des pluies de la campagne de mesure									
	Pluie		Début	Fin	Durée (min)	Durée (h)	htot (mm)	hmax (mm)	Période intense (min)
Mare Corbonne	09-avr		09/04/2021 20:10	11/04/2021 06:30	2050	34.17	28.8	2.6	100
		2nde pointe	10/04/2021 17:40		770	12.83	20		
	01-mai		01/05/2021 17:40	01/05/2021 20:20	160	2.67	1.8	0.4	20
	04-mai		04/05/2021 08:00	07/04/2021 00:10	3850	64.17	5.8	0.6	5
Pôle Gare	01-mai		01/05/2021 17:00	02/05/2021 03:50	190	3.17	8.2	1.4	60
	04-mai		04/05/2021 08:00	06/05/2021 23:40	3820	63.67	9.4	1.6	5

Les sous-parties suivantes décrivent plus précisément deux des pluies mesurées.

1) Pluie du 9 avril

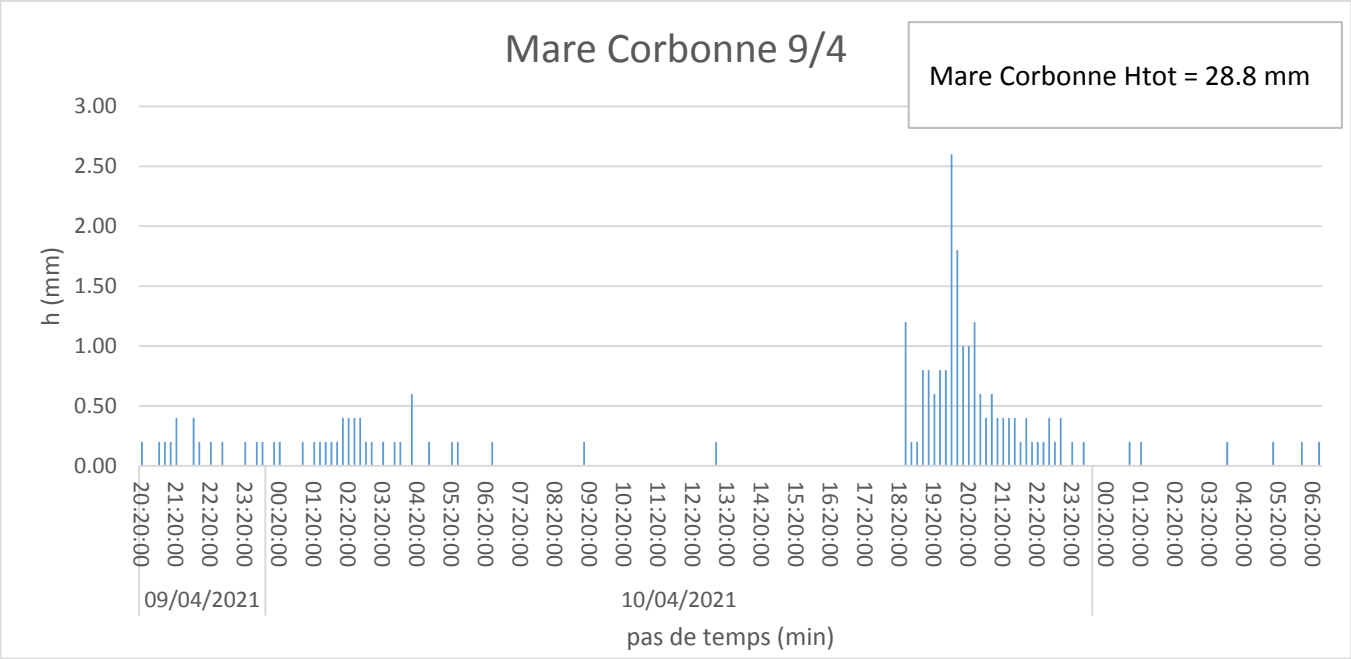


Figure 21 Hyétogramme de la pluie du 9 avril 2021 pour le pluviomètre de la Mare Corbonne, Mainvilliers, France

Le hyétogramme (Figure 21) ci-dessus représente l'événement pluvieux du 9 avril 2021 servant au calage du modèle.

La chronique de données du pluviomètre du pôle gare ne commence qu'à partir du 21 avril.

Ainsi pour la pluie du 9 avril, les données pluviométriques sont issues du pluviomètre de la mare Corbonne uniquement.

Malgré l'utilisation d'un seul pluviomètre, l'allure des hydrogrammes correspond assez bien au hyétogramme de la mare Corbonne de la pluie du 9 avril. (Annexe 6 à 13)

D'après les images radar au court du temps, issues des archives du site infoclimat.fr [5] et (Figure 20), la pluie du 9 avril est arrivée du sud-ouest vers le nord-est sur une zone étendue sur tout le bassin versant.

Le fait de mettre la même pluie sur tous les bassins-versant ne prends pas en compte la variabilité spatiale des événements pluvieux. Néanmoins avec les images radar, on peut observer les zones qui ont reçu des précipitations et les précipitations semblent homogènes sur la zone d'étude.

La plupart du temps reproduire sur toute la zone d'étude la réalité mesurée à un endroit très localisé conduit à une incertitude élevée. Le volume ruisselé peut très bien être nettement sous-estimé ou surestimé. Le calage permet de réduire ces incertitudes, avec la modification de la surface participant au ruissellement.

2) Pluie du 1er mai

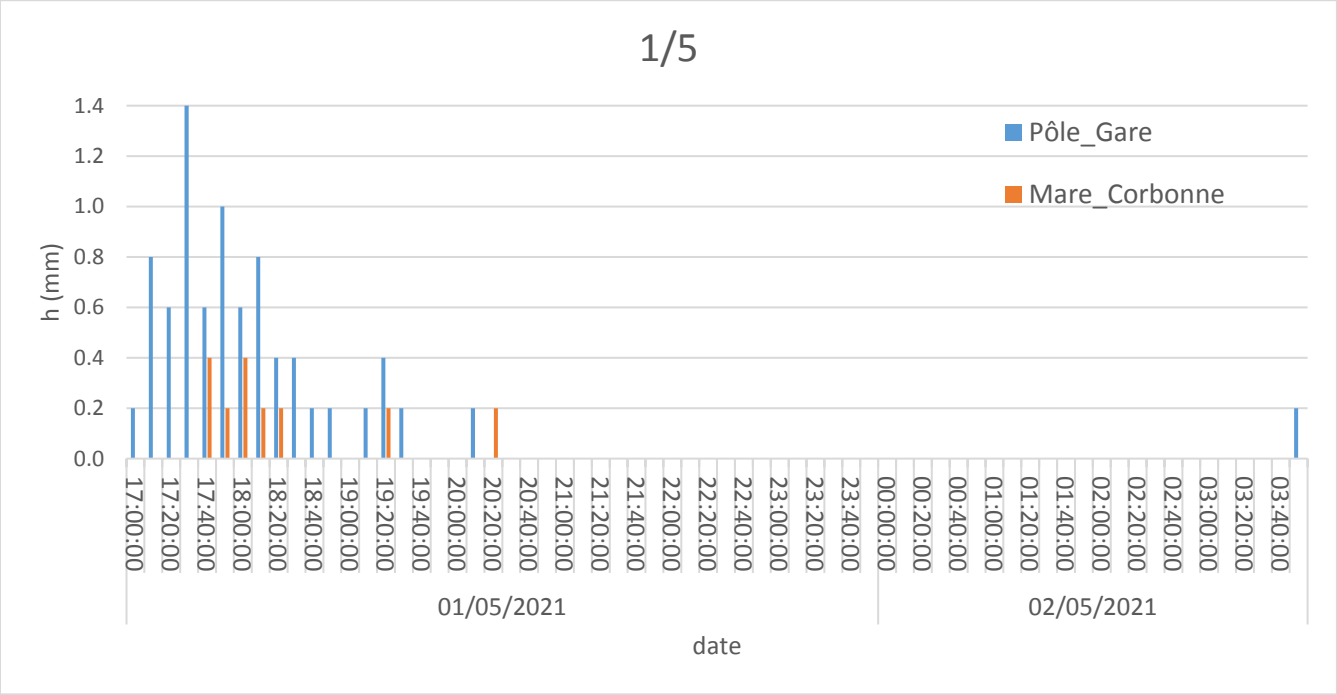


Figure 22 Hyétogrammes de la pluie du 1er mai 2021 pour les pluviomètres de la Mare Corbonne et du pôle gare, Chartres, Mainvilliers France

Les hyétogrammes (Figure 22) ci-dessus représentent l'événement pluvieux du 1 mai 2021 pour les deux pluviomètres servant à la validation du modèle.

Pour cet événement pluvieux, la pluie du pôle gare est plus importante que celle de la Mare Corbonne, 8.4mm pour le pôle gare au total contre 1.8mm à la station de la mare Corbonne. La hauteur maximale sur 10 minutes est de 1.4mm au pôle gare contre 0.4mm à l'autre station. Comme il est synthétisé au (Tableau 2)

D'après le radar, la pluie est passée d'ouest en est sur toute la surface du bassin versant et la pluie devient plus intense au niveau du pôle gare (Figure 23 ci-dessous).

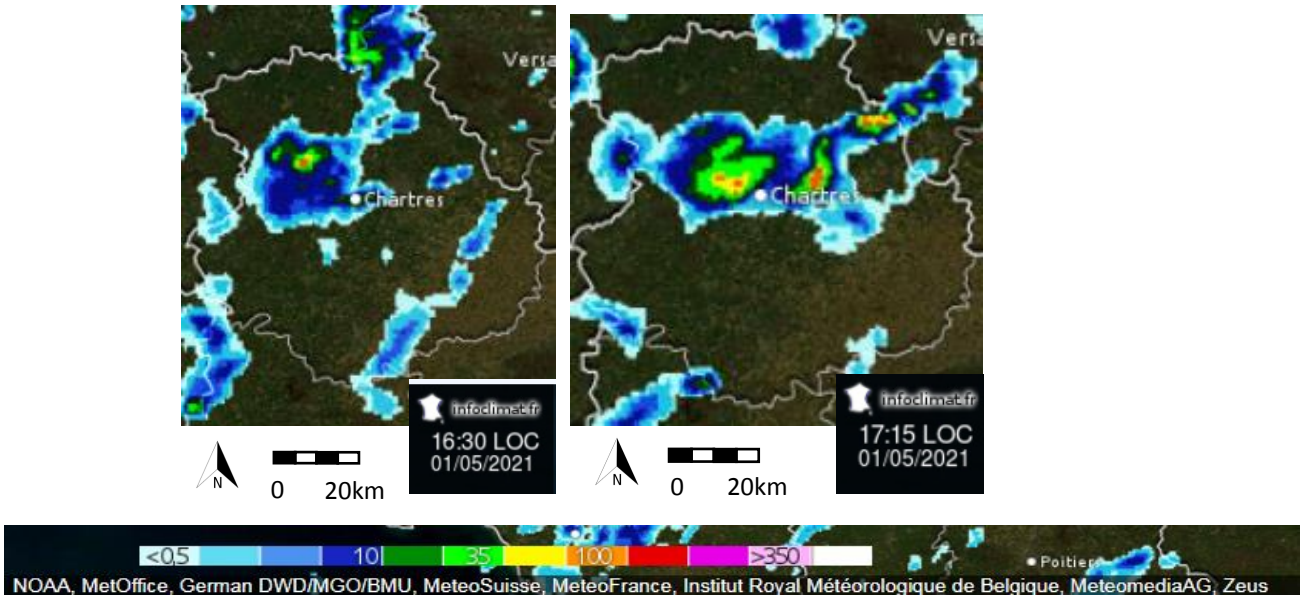


Figure 23 Evolution de l'événement pluvieux du 1/5/2021 aux temps de 16h30 et 17h15 (même légende que la figure i_x1) autour de Chartres, Eure-et-Loir issu du site infoclimat.fr [5]

L'unité des précipitations n'est pas connue, mais cette figure permet de voir l'évolution géographique de l'évènement pluvieux avec les différences d'intensités mesurées.

Le pic de la pluie se situe à peu près au même moment pour les 2 pluviomètres. (Figure 22).

Au point PT1, plus proche du pluviomètre de la Mare Corbonne, cette dernière sera utilisée en partie. Cela se justifie car la pointe de débit maximal est légèrement supérieure à 500 m3/h et donc plus faible par rapport aux autres points de mesure.

Par ailleurs, l'allure de l'hydrogramme du PT1 est similaire au hyétogramme de la Mare Corbonne et les autres points ont leur hydrogramme qui correspond bien au hyétogramme du pôle gare.

L'événement pluvieux du 4 mai, n'est pas significatif. Au total moins de 10mm sur plus de 2 jours cet pluie ne sera donc pas utilisée pour le calage ou la validation.

3. Pour aller plus loin.

Avec la possibilité d'utiliser plus de capteurs pour la campagne de mesure, un capteur aurait été placé en sortie du bassin Tallemont II, un autre à l'exutoire au niveau du moulin des Graviers et un dernier légèrement en amont de l'impasse des Vauroux pour avoir un débit et une pointe plus précise en sortie des bassins, Vauroux aérien et Vauroux piscine.

Par ailleurs si dans le futur, Chartres métropole a besoin d'une modélisation dans le secteur de Rechèvres en aval du bassin Tallemont II, il est préférable de caler cette portion, ou au moins d'être plus précis dans la modélisation du bassin et des bassins-versant.

III. Calage

La partie de calage revient à modifier des paramètres du modèles, définis par la suite, pour essayer de faire correspondre au mieux les hydrogrammes mesurés lors de la campagne de mesure avec ceux issu du modèle. (Annexes 14 à 21)

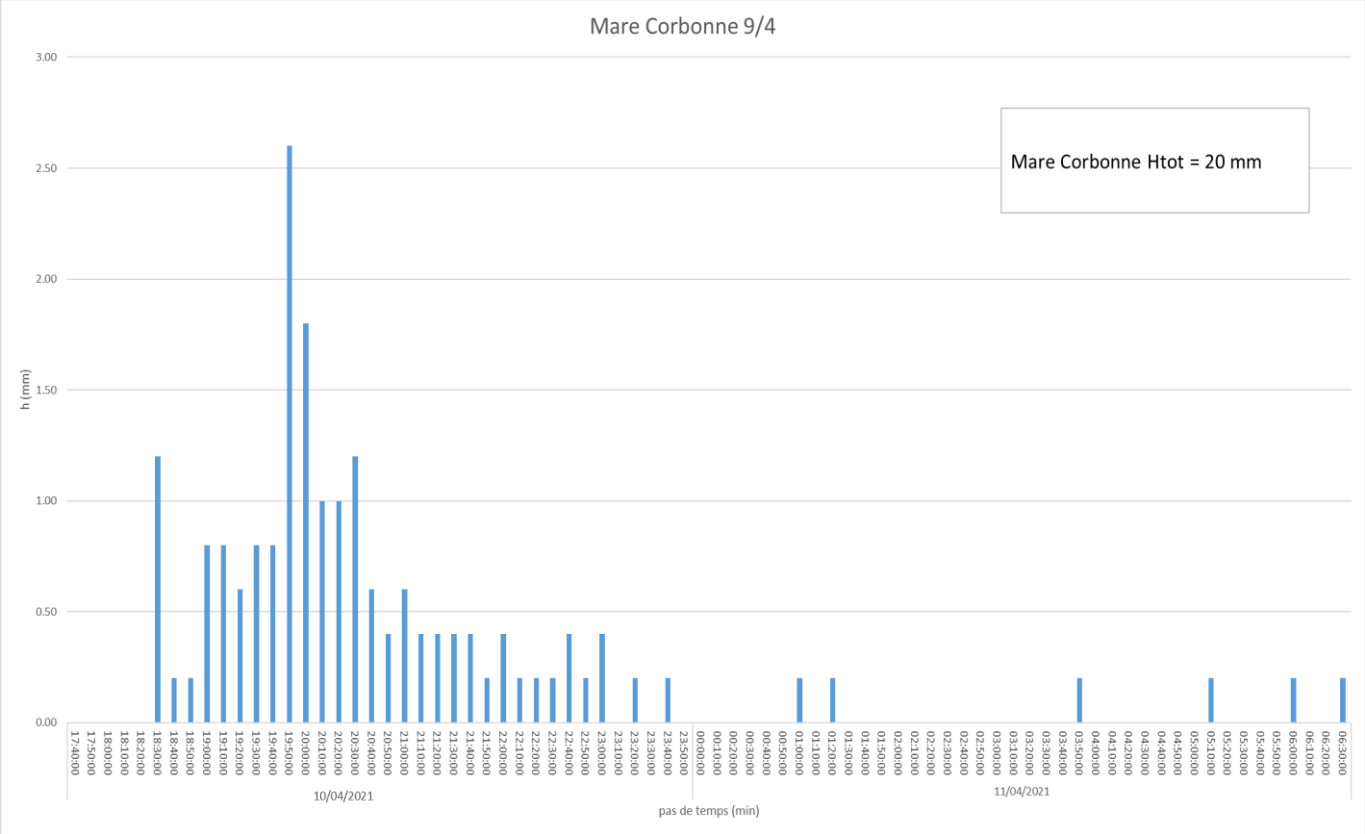


Figure 24 Seconde pointe de la pluie du 09/04/2021

C'est une étape importante car elle permet d'estimer les écarts par rapport à une mesure du comportement réel du réseau. Mais aussi le calage permet de réduire les erreurs causées par la simplification du modèle.

Comme il a été dit précédemment, le calage a été réalisé avec la pluie du 9/4. (Figure 21)

Au final, le calage a été réalisé sur la seconde pointe de la pluie du 9 avril du 10/04/2021 à 17h50 au 11/04/2021 à 12h pour le calcul du volume. (Figure 24 ci-dessus)

Le calage est réalisé pour chaque point de mesure d'amont en aval car une modification des paramètres en amont impacte l'aval. Ainsi le calage commence au point de mesure PT1 puis avec les PT2, PT3 et PT4.

Il convient de modifier les paramètres de calage avec la pluie du 9 avril tout en observant de bons écarts lors de la validation avec la pluie du 1er mai.

1. Paramètres servant au calage

Dans cette partie, les différents paramètres servant au calage d'un modèle sont définis et leur utilisation est expliquée.

Dans un premier temps le premier paramètre à caler sont les pertes initiales qui correspondent aux aspérités sur la routes, les quelques mm stocké en surface qui n'arrivent pas dans le réseau.

1) Les pertes initiales (PI)

Les pertes initiales (PI) sont modélisées par les paramètres **Stock surf imperm** (mm), le stockage sur les surfaces imperméables au début des précipitations et le **Stock surf perm** (mm), c'est-à-dire les millimètres ne participant pas au ruissellement pour les surfaces perméables.

Les pertes initiales permettent de caler les erreurs sur le volume arrivant au réseau au début de l'événement pluvieux.

Une augmentation des PI revient à réduire le volume total dans le réseau grâce aux premières précipitations.

Les pertes initiales ont été calées au départ avec la première pointe de la pluie du 9 avril avec le volume total.

Mais pour les points de mesure PT1, PT2 et PT4, ces PI étaient trop importantes notamment pour le PT4. Alors que pour le PT3 les pertes initiales étaient trop faibles.

Ensuite les PI ont été calées au PT1 avec uniquement la seconde pointe de la pluie de calage (09/04) pour atteindre un volume total simulé au plus supérieur à celui mesuré de 50%.

Pour les trois autres points de mesure les pertes initiales ont été réajustées pour être plus cohérentes (Tableau 3 ci-dessous) par rapport aux paramètres initiaux.

Mais également pour que les débits maximums lors de la phase de validation soit nettement améliorés.

Car le calage des pertes initiales joue grandement sur la pluie de validation.

Tableau 3 Récapitulatif des paramètres de pertes initiales calées

Point de mesure	Stock surf imperm (mm)	Stock surf perm (mm)
PT1	1.5	7.5
PT2	1.8	8
PT3	1.5	5
PT4	1	5

Avec ces paramètres de pertes initiales calés, le premier calage sur le volume de la première pointe permet d'estimer la cohérence du calage bien que les vannes de Poiffonds étaient fermées et donc le volume simulé sera nécessairement surestimé.

- Pour le premier point de mesure, avec les paramètres calés, la simulation surestime le volume de la première pointe d'au plus 130% soit plus du double par rapport à la mesure. Les PI seraient donc sous-estimées.
- Pour le PT2, le volume simulé serait au plus 50% supérieur à celui mesuré. Les PI seraient donc sous-estimées.
- Le PT3 est quant à lui sous-estime d'au moins 30% le volume simulé par rapport au volume mesuré. Ainsi les pertes initiales seraient surestimées.

- Enfin le dernier point de mesure à son volume simulé pour la première pointe (pluie du 9/4) plus de deux fois supérieur à celui mesuré. Donc les pertes initiales seraient aussi sous-estimées.

2) Pourcentage d'imperméabilisation

Le pourcentage d'imperméabilisation est modélisé avec le paramètre **%Imperm**, c'est-à-dire le ratio de la part de surface imperméable sur la surface totale.

Le modèle calcul automatiquement la part des surfaces perméables qui est le ratio de la part de surface perméable sur la surface totale.

Parmi les surfaces imperméables une distinction est réalisée entre les surfaces imperméables avec un stockage de dépression en début de pluie, et les surfaces imperméables avec aucun stockage de dépression. (Figure 25)

Ces dernières sont représentées avec le paramètre Imperm Zéro-Stock (en %). Le pourcentage d'aire imperméable avec aucun stockage de dépression.

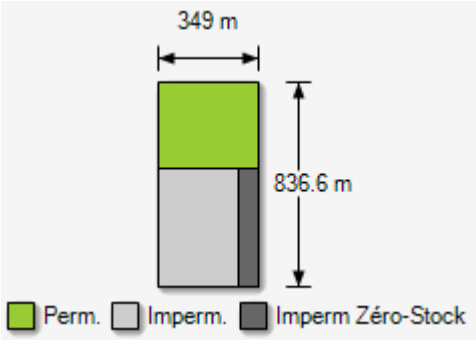


Figure 25 Représentation des surfaces perméables, imperméables et imperméables avec Zéro-Stock source PCSWMM

Ce paramètre permet de caler la quantité d'eau ruisselé sur les bassins-versants et donc le volume total de l'hydrogramme.

Ainsi une augmentation du pourcentage d'imperméabilisation augmente le volume ruisselé dans le réseau et donc le volume total.

3) Largeur

La surface d'un bassin versant est modélisée par un rectangle comprenant une Largeur et une Longueur d'écoulement.

La Longueur d'écoulement représente schématiquement la distance que mets une goutte d'eau à arriver au réseau, 836.6 m sur la (Figure 25)

Alors que la **Largeur** représente l'écoulement préférentiel, initialement la largeur est estimée avec la longueur du réseau principal passant au travers du BV pour les bassins versants urbains, 349 m sur la (Figure 25).

Le fait d'augmenter la Largeur, augmente la pointe maximale de débit. Le ruissellement arrive plus rapidement à l'exutoire du bassin versant en augmentant parfois légèrement le volume total.

4) Rugosité

La rugosité est un paramètre de calage. En effet la modification de la rugosité joue sur la vitesse de l'écoulement et donc sur la position de la pointe de débit. Ainsi avec le calage de la rugosité le lag-time (p), ou temps de réponse caractériser par « le décalage de temps entre la pluie et le débit » [1] p86.

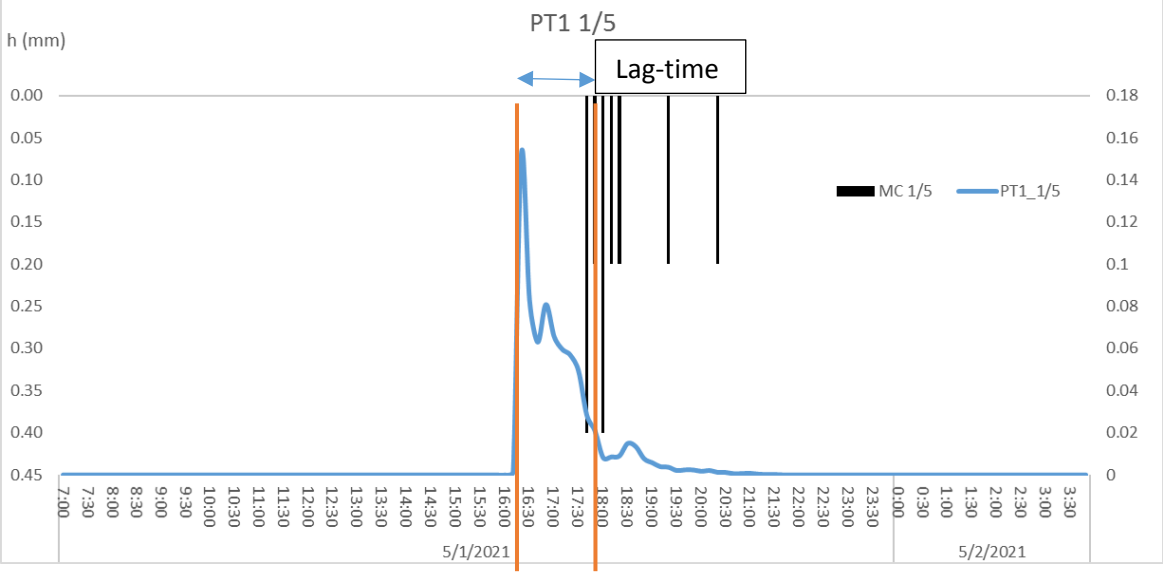


Figure 26 Comparaison pluie et débit mesurés au point PT1 pour la pluie du 1/5/21 de la Mare Corbonne avec la présentation du lag-time

La Figure 26 ci-dessus, montre graphiquement le lag-time.

La rugosité n'a pas pu être calée dans ce modèle car la pointe de débit mesuré arrive avant la pointe de la pluie. (Annexes 14 à 21).

En effet la pointe de débit mesuré arrive entre 0 et 30 minutes avant celle de la pluie du 9 avril et entre 0 et 1h10min pour la pluie du 1er mai. (Annexes 22 et 23)

Ainsi la rugosité est modélisée comme il est précisé dans la partie Tronçon.

Néanmoins la méthode de calcul du lag-time (K) de M. Desbordes, [6] et l'Annexe 24, est un « ajustement de K retenu dans le cas du programme RERAM ».(Annexe 25), permet d'estimer le lag-time des différents bassin versants.

Cet ajustement n'a pas été utilisé, il consistait à comparer les valeurs « ajustement DESBORDES » avec les coefficients de la formule en Annexe 24.

Pour plus de précision, dans l'Annexe 24, le paramètre L correspond à la longueur du bassin en centaine de m. Ce sont les même paramètres que ceux de la méthode RERAM [6] et (Annexe 25), mais avec des unités légèrement différente notés en dessous de la formule.

Dans le calcul pour estimer le lag-time des bassins versants sur le modèle, le paramètre L sera la Largeur du bassin versant, et le paramètre IMP sera le %IMP calé pour les bassins calés.

À l'exception des BV (bassins versants) 21_8, en amont du bassin d'Amilly, et S_Couasnon2_2, en aval du bassin de Poiffonds, car ce sont des bassins ruraux qui ne sont constitués que de champs, des surfaces perméables %IMP =0.001%.

Ainsi comme pour le bassin en amont du bassin de Poiffonds, le paramètre IMP sera pris à 0.03 pour avoir un lag-time cohérent par rapport à la Largeur et la surface de ces bassins.

Le lag-time moyen obtenu est K_{moy} = 16 min

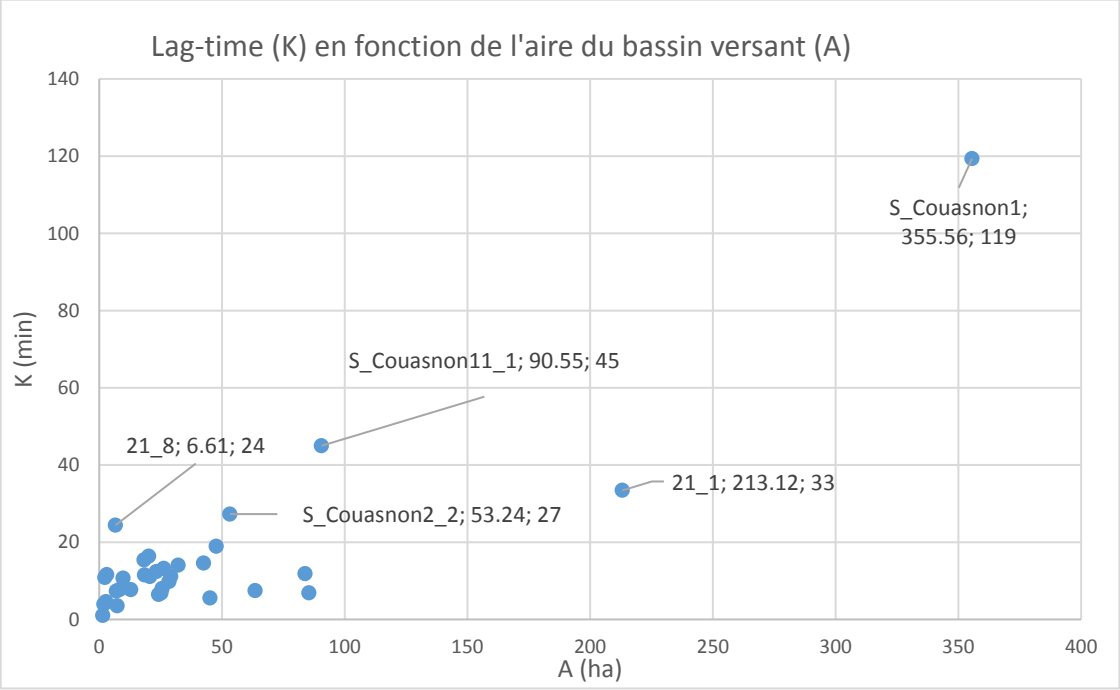


Figure 27 Graphique lag-time (K) en fonction de l'aire du bassin versant (A). Etiquette de données (Nom ; A ; K)

Pour une grande proportion des bassins-versants, le lag-time calculé est inférieure à 20 minutes.

Tous les BV qui ont un lag-time calculé supérieur à 20 minutes (21_1, 21_8, S_Couasnon1, S_Couasnon2_2, S_Couasnon11_1) ont leur valeur de lag-time et leur aire afficher dans l'étiquette de donnée. (Figure 27 ci-dessus).

Ensuite les hydrogrammes mesurés lors de la campagne de mesure et ceux simulés par PCSWMM sont comparés à l'aide du Volume total (Vtot) et du débit maximal (Qmax),

2. Déroulement des différents calages

Comme il a été dit précédemment, le calage commence au point de mesure PT1 puis se poursuit avec le PT2, puis le PT3 et enfin le PT4.

Les points de mesure sont considérés comme l'exutoire de plusieurs bassins-versants (Figure 28 ci-dessous)

Ainsi le volume total et le débit maximal de l'hydrogramme au niveau des points de mesure est calé avec les paramètres décrits précédemment (PI, %Imperm et Largeur) des bassins-versants.

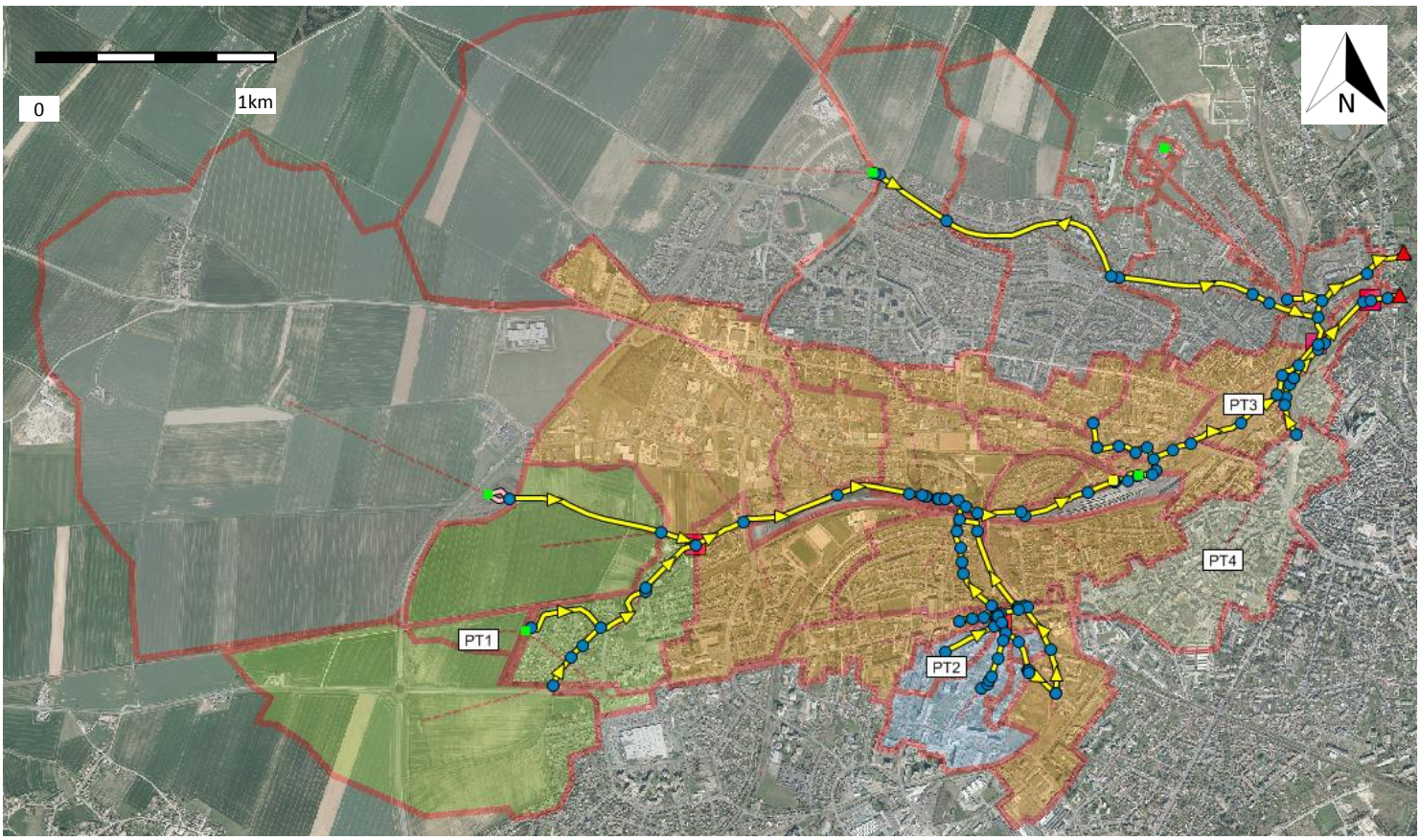


Figure 28 Répartitions des bassins versants avec le point de mesure servant à leur calage, Chartres, France

Le calage a été réalisé au départ avec les pertes initiales pour caler le volume perdu au début de l'événement pluvieux.

Ensuite le pourcentage d'imperméabilisation a servi à caler le volume total, la quantité d'eau arrivant dans le réseau.

Enfin la Largeur a servi à caler la pointe avec le débit maximal.

Le calage consiste donc en un tâtonnement sur le choix des paramètres, c'est-à-dire la modification progressive des paramètres pour se rapprocher des valeurs de volume total et de débit maximal au niveau des hydrogrammes au points de mesure (Vtot et Qmax)

Le paramètre %Imperm a été réduit en fonction de l'importance de chaque bassin versant, avec leur aire et leur part de surface imperméables. Pour essayer de conserver une cohérence d'apport entre les bassins versants.

En particulier pour le point de mesure 1 les BV, S_Couasnon2_2 et 21_8, qui ne sont constitués que de champs ont un pourcentage d'imperméabilisation nul mais pour le modèle, il a été fixé à une valeur proche de zéro, 0.001%. Il est essentiel de ne pas confondre le coefficient de ruissellement avec le pourcentage d'imperméabilisation. Ces coefficients sont proches pour les pluies exceptionnelles, ce qui n'est pas le cas de la pluie du 9 avril 2021.

Le paramètre Largeur dans le calage, est modifié équitablement par rapport à la valeur initiale pour tous les bassins-versants impactant le point de mesure calé, (Figure 28)

Or comme il a été vu dans la partie sur la rugosité et le temps de réponse du réseau (lag-time) (rugosité), le réseau réagit très rapidement aux précipitations. Ainsi le paramètre Largeur doit nécessairement être élevé pour obtenir un hydrogramme simulé avec une pointe fine mais aussi pour avoir un volume plus satisfaisant. (Annexes 14 à 17).

La Largeur calée est nettement plus grande que la largeur initiale pour les points de mesure 1,2 et 4 alors que pour le PT3 la Largeur est divisée par trois par rapport à sa valeur initiale. (Annexe 26 à 29)

De plus au cours des différents calages, des oscillations sont apparues dans les hydrogrammes des points de mesure 3 et 4.

Dans le but de supprimer ces oscillations qui sont apparues lorsque le débit devenait faible en entrée du bassin Vauroux piscine (Figure 4). Les tronçons (C3) et (Chambre_lumière_1), au niveau des nœuds *J53* et *J53_1*(Figure 40) en aval du bassin Vauroux piscine, ont vu leur longueur allongée jusqu'à 5m. La conduite en aval a vu sa longueur réduite proportionnellement à l'allongement des deux autres tronçons, pour conserver une longueur totale cohérente du tronçon. Aussi le tronçon (39938_1), l'exutoire du bassin de Coubertin, (Figure 4), a été converti en orifice avec une largeur de 0.35m.

3. Tableau récapitulatif du calage

1) Expliquer le choix des paramètres initiaux

Les pertes initiales avant le calage étaient estimées initialement à 1.5mm pour les surfaces imperméables et 10mm pour les surfaces perméables.

Les pourcentages d'imperméabilisation et les largeurs des bassins-versants initialement ont été estimées avec les vues aériennes de PCSWMM.

En Annexes 26 à 29, sont présentés les tableaux récapitulatifs des paramètres de calage initiaux et calés pour les bassins versants des quatre points de mesure.

2) Récapitulatif des écarts entre la mesure et la simulation pour le calage

Tableau 4 Récapitulatif des écarts entre la mesure et la simulation pour le volume total et le débit maximal du calage

Récapitulatif écarts		PT1	PT2	PT3	PT4
Calage					
09-avr	% écart Qmax et Qmax_mes	109%	100%	102%	106%
	% écart V et V_mes	147%	108%	88%	190%
Calage					
09-avr	Ecart Qmax ED1 = |Qpmes - Qpsim|	280.8	7.4	409.5	211.1
	Ecart Vtot EV1 = |Vmes - Vsim|	1619.3	265.8	8004.0	3962.1

Tableau 5 Légende du tableau ci-dessus «Récapitulatif des écarts entre la mesure et la simulation pour le volume total et le débit maximal du calage» montrant les intervalles des écarts par couleur

<= +/- 5%	>= 95%	<= 105%
<= +/- 10%	>= 90%	<= 110%
<= +/- 15%	>= 85%	<= 115%
> +/- 15%	< 85%	> 115%

La comparaison des hydrogrammes mesurés et simulés pour le calage et la validation est faite avec les paramètres (volume total et débit maximal) défini par :

- Volume total (Vtot)

Le volume total, Vtot est obtenu en intégrant le débit avec la méthode des trapèzes sur une partie de la simulation.

% écart V et Vmes = V_simulé / V_mesuré*100, c'est donc la part du volume mesuré que représente le volume simulé.

Par exemple un % écart V et Vmes de 150% signifie que le volume simulé est 50% plus important que le volume mesuré. Il en est de même pour le % écart Qmax et Qmax_mes.

- Débit maximal (Qmax)

Le débit maximal comparé est en m^3/h.

% écart Qmax et Qmax_mes = Qmax_simulé / Qmax_mesuré*100, c'est donc la part du débit maximal mesuré que représente le débit maximal simulé.

Les écarts en valeur absolue entre les volumes et les débits maximum mesurés et simulés sont aussi présents dans le tableau récapitulatif.

Qpmes et Qpsim sont respectivement les débits maximums mesurés et simulés.

Les valeurs numériques des volumes et débits de pointes sont présenté en Annexe.30.

4. Explication et critique des résultats de calage

Le calage définitif des pertes initiales aurait pu être vérifié avec la première pointe de la pluie du 9 avril (PI).

Aussi le calage a pris beaucoup plus de temps que prévu car plusieurs modifications du réseau ont nécessité de réajuster les paramètres de nombreuses fois.

Il est difficile d'avoir une construction du réseau définitive au moment du calage pour réduire ces contraintes, une bonne méthode d'ajustement des paramètres semble importante.

Le calage du volume a été difficilement optimiser pour les points de mesure 1 et 4.

Le calage du volume au PT1 est 47% supérieur au volume mesuré. Le problème est que malgré une Largeur élevée, vingt fois supérieure à la Largeur initiale, la pointe ne décroit pas aussi rapidement que la mesure et le plateau n'est pas modélisé. (Annexe 14).

Cette zone est sensible aux inondations (la rue de Poiffonds est un point bas), ainsi le calage réalisé en volume est critiquable, si une modélisation future se concentre sur cette zone, il sera recommandé de créer des bassins versants plus petits et si possible de faire une campagne de mesure avec plusieurs points Mais aussi pour une meilleure modélisation, il serait intéressant de modéliser le bassin de Poiffonds avec les vannes ouvertes.

Pour le point de mesure 4, le volume calé est 90% supérieur à celui mesuré.

Le déversoir latéral dans le parc André Gagnon nommé également « **surverse** » déverse dans le réseau en parallèle à partir d'une hauteur de 20cm dans le Couesnon maçonné.

En annexe 3 et 4, la surverse du Couesnon dans le réseau pluvial à droite dans le parc André Gagnon est décrite.

En effet les Figures 29 et 30 ci-dessous montrent que pour les pluies du 9 avril et du 1er mai, lorsque la hauteur d'eau atteint les 20cm au niveau du PT3, le débit augmente sensiblement au niveau de la place Drouaise au point de mesure 4.

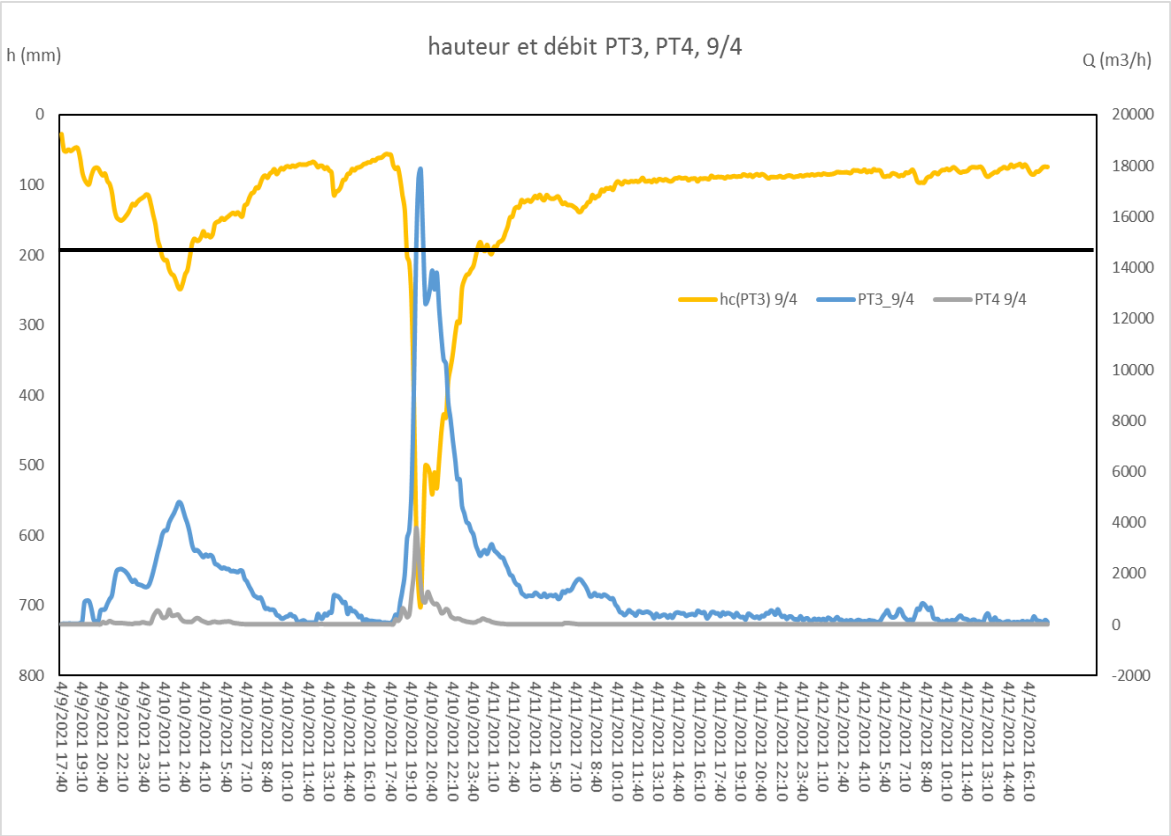


Figure 19 Hydrogrammes pour les capteurs PT3 et PT4 avec la hauteur au point PT3 fonction du temps pour la pluie de calage du 9 avril 2021, Chartres France.

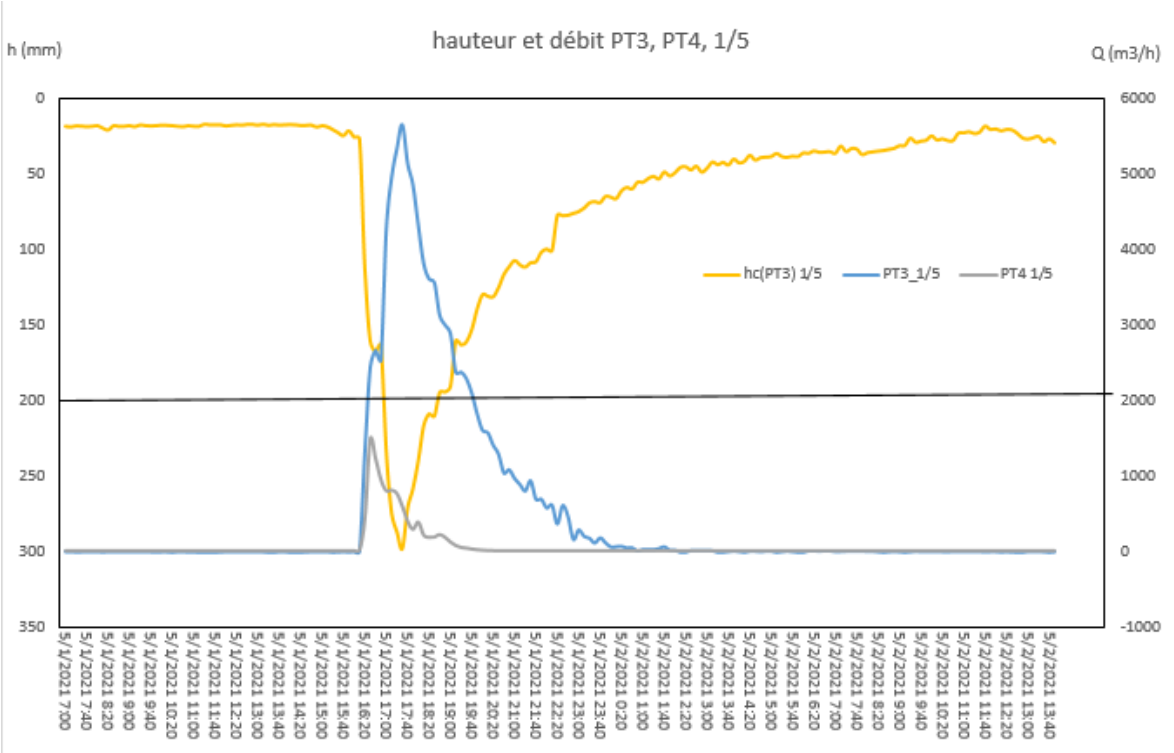


Figure 30 Hydrogrammes pour les capteurs PT3 et PT4 avec la hauteur au point PT3 fonction du temps pour la pluie de validation du 1er mai 2021, Chartres France.

La position des points de mesure 3 et 4 permettent d'estimer le débit transitant par la surverse par l'ovoïde de 1.8m de haut. (Annexe 3).

Dans la modélisation un choix de déverser à partir d'une hauteur de 20cm a été fait.

Mais une réflexion sur le coefficient de débit du déversoir d'orage aurait pu être faite en remplaçant le tronçon par un seuil.

Le déversement par le déversoir latéral apporte sur le modèle la moitié du volume arrivant au capteur PT4. Le calage permet de réduire les erreurs sur le débit déverser.

La pointe mesurée au niveau de la place Drouaise, est extrêmement fine et intense. Le modèle ne peut pas épouser cette allure car :

Le calage au PT4 de la Largeur n'a pas d'impact sur l'hydrogramme de calage simulé. (Annexe 17). Et même avec les pertes initiales, qui initialement étaient de 26mm pour les surfaces perméables et de 6.5mm pour les surfaces imperméables. Avec ces dernières pertes initiales, le calage donnait pour la pluie de calage du 9 avril, un volume 55% plus élevé que celui mesuré mais pour la validation, le débit maximal représente seulement 24% du débit maximal mesuré pour un volume de 53% du volume mesuré. La réduction des pertes initiales était donc nécessaire pour la validation. Or cette réduction des pertes initiales augmente le volume final.

5. Pour aller plus loin

Le calage est réalisé pour des faibles à moyennes périodes de retour.

La réaction du réseau lors de fortes pluies (pluies de projet) n'est pas forcément la même que celle des pluies de calage et de validation.

Mais ce calage permet d'estimer et corriger en partie les erreurs du modèle.

IV. Validation

La partie validation consiste à vérifier la cohérence des paramètres de calage dans l'idéal avec au moins deux autres pluies de la campagne de mesure. La validation montre la réaction du modèle à d'autre événement pluvieux pour voir si le calage représente bien le fonctionnement réel du réseau.

Une seule pluie est utilisée pour la validation car la pluie du 4/5 n'est pas significative au plus 8mm sur plus de 63 heures. D'après le Tableau 2, mais aussi après un point avec des collègues de Chartres métropole, il a été choisi de n'utiliser que la pluie du 1er mai 2021 (Figure 22).La validation est réalisée pour la pluie du 1er mai 2021 entre le 01/05/2021 7h20 et le 02/05/2021 à 3h20.

1. Optimisation des pluviomètres sur les bassins versant en amont du point de mesure 1

Un pseudo-calage sur la répartition entre les pluviomètres de la Mare Corbonne et du pôle gare pour les bassins versants du PT1 a été réalisé.

Car le point de mesure 1 est plus proche du pluviomètre de la Mare Corbonne mais le volume simulé est bien plus satisfaisant avec un mélange des deux pluviomètres pour les BV du PT1 (Tableau 6 ci-dessous).

Tableau 6 Optimisation de la répartition des pluviomètres sur les bassins-versant du PT1 pour la pluie du 01/05/2021

PT1			
21_8	P	M	M
S_Couasnon2_2	P	M	M
S_Couasnon11_1	P	M	P
S_Couasnon11_2	P	M	M
S_Parking_Geant	P	M	P
% écart Qmax et Qmax_mes	241%	26%	89%
% écart V et V_mes	439%	60%	179%
Ecart Qmax ED1 = |Qpmes - Qpsim|	773.4	408.1	62.2
Ecart Vtot EV1 = |Vmes - Vsim|	1533.7	182.7	357.7

Mare Corbonne	Pôle gare	
M	P	
<= +/- 5%	>= 95%	<= 105%
<= +/- 10%	>= 90%	<= 110%
<= +/- 15%	>= 85%	<= 115%
> 15%	> 115%	
< -15%	< 85%	

En utilisant uniquement le pluviomètre de la Mare Corbonne, le volume simulé représente seulement 60% du volume mesuré avec une pointe simulée très faible, plus de 70% inférieure à la pointe mesurée.

Alors que l'utilisation du pluviomètre du pôle gare pour tous les bassins-versants conduit à un volume simulé qui représente plus de 400% du volume mesuré pour une pointe plus de deux fois supérieur à la mesure.

Avec l'optimisation de l'utilisation des pluviomètres, c'est-à-dire, le pluviomètre de la Mare Corbonne pour les bassins versants, 21_8, S_Couasnon2_2 et S_Couasnon11_2, et donc celui du pôle gare pour les BV, S_Couasnon11_1 et S_Parking_Géant. Le volume simulé représente 179% du volume mesuré mais la pointe de débit simulée atteint 89% de celle mesurée.

Cette optimisation semble importante car ces bassins versants sont situés entre les deux pluviomètres et cela permet de profiter de l'opportunité d'avoir deux pluviomètres pour cette pluie de validation.

2. Récapitulatif des écarts de validation

Tableau 7 Récapitulatif des écarts entre la mesure et la simulation pour le volume total et le débit maximal de la validation

Récapitulatif écarts		PT1	PT2	PT3	PT4
Validation					
	% écart Qmax et Qmax_mes = Qsimulé/Qmes*100	100%	102%	111%	100%
	% écart V et V_mes = Vsimulé/Vmesuré*100	158%	110%	121%	113%
01-mai					
	Ecart Qmax ED1 = |Qpmes - Qpsim|	1.6	24.0	597.8	6.6
	Ecart Vtot EV1 = |Vmes - Vsim|	262.3	114.2	3246.5	206.1

Tableau 8 Légende du tableau ci-dessus «Récapitulatif des écarts entre la mesure et la simulation pour le volume total et le débit maximal de la validation » montrant les intervalles des écarts par couleur

<= +/- 5%	>= 95%	<= 105%
<= +/- 10%	>= 90%	<= 110%
<= +/- 15%	>= 85%	<= 115%
> +/- 15%	< 85%	> 115%

Comme pour le calage La comparaison hydrogrammes mesurés et simulés pour la validation est faite avec les paramètres ; volume total (Vtot) en m et le débit maximal (Qmax) en m^3/h.

Les écarts en valeur absolue entre les volumes et les débits maximum mesurés et simulés sont aussi présents dans le tableau récapitulatif.

Les paramètres Qpmes et Qpsim sont respectivement les débits maximums mesurés et simulés.

Les valeurs numériques des volumes et débits de pointes sont présenté en Annexe.30.

3. Explication et critique des résultats de validation

Contrairement au calage, le volume au point de mesure 4 est satisfaisant avec 13% de plus que le volume mesuré.

Le volume simulé au PT1 représente plus de 150% du volume mesuré. Les bassins-versants auraient pu être réduits pour plus de précision mais ce n'était pas une zone du bassin versant du Couesnon qui était étudiée dans ce projet. (Annexes 18 à 21)

V. Pluies de Projets

Les pluies sont toutes différentes. Leur durée totale ou intense, leur intensité maximale avec sa position dans l'évènement pluvieux sont très variable.

C'est pour cela que Météo France réalise des études statistiques sur des chroniques de pluies de plusieurs années pour les classer selon leur fréquence d'apparition.

Des courbes statistiques d'intensité durée fréquence souvent noté IDF sont utilisées avec les coefficients de Montana [7]. Ces coefficients a et b relient l'intensité ou la hauteur précipitée au temps par une loi puissance. Ils ne sont valides que sur une plage de durée spécifique.

Les pluies de projet double triangle permettent de synthétiser en une pluie les pluies au niveau d'un pluviomètre de Météo France dans la zone d'étude pour une période de retour donnée.

Une pluie de période de retour de 10 ans correspond à une probabilité d'une chance sur dix que cette pluie se produise tous les ans.

1. Construction des pluies de projet

Les pluies de projet en double triangle sont définies par 5 paramètres.

- La durée totale : t3 (quelques heures)
- La dure de période intense : t1 (quelques dizaines de minutes)
- L'intensité moyenne pendant la période de pluie intense : i1
- L'intensité moyenne en dehors de la période de pluie intense : i2
- La position de la pointe d'intensité par rapport au début de la pluie : t2/t3 avec t2 le temps pour atteindre l'intensité i1.

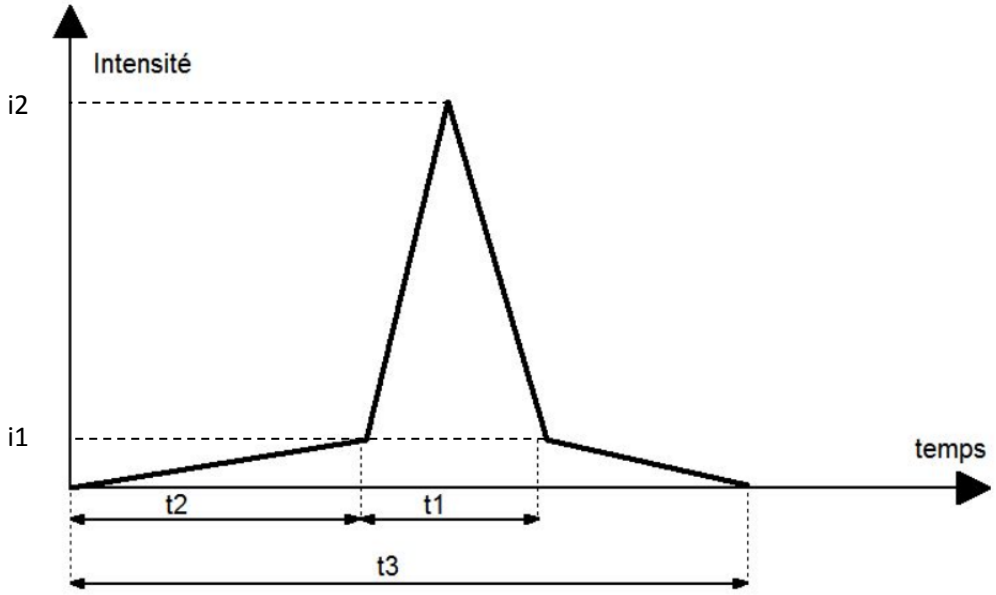


Figure 31 Allure d'une pluie de projet double triangle avec les différentes durées et intensités (source [8] Wikhydro)

Les paramètres i1 et i2 dépendent des coefficients de Montana [7] décrit plus haut.

1) Pluies de projets crées initialement

Initialement les pluies de projets ont été créés sur un tableur vierge pour bien comprendre la construction de ces dernières.

Un choix de créer des pluies de projet symétriques a été fait.

Ces pluies de projet ont été créés grâce au cours d'hydrologie urbaine de l'INSA Lyon [9] p24 mais aussi l'article scientifique [6] pour utiliser la méthodologie à la fin de l'article.

Dans les grandes lignes, « La hauteur précipitée pendant la période de pluie intense […] pourra être prise égale à l'intensité moyenne maximum correspondant à la même durée sur les courbes Intensité-Durée-Fréquence » et «la hauteur précipitée en dehors de la période de pluie intense […] devra correspondre à une période de retour plus faible que celle pour laquelle on calcule le débit de pointe. » [9]
Les temps t1 à t3 dépendent du lag-time et i1 et i2 dépendent en plus des coefficients de Montana pour différentes périodes de retour.

Ensuite il convient de tracer les quatre droites situées entre les trois points caractéristiques les deux points d'ordonnée i1 et celui en i2. (Figure 31)

Et donc de trouver les équations de ces dernières pour tracer la pluie de projet pour différentes périodes de retour.

Et enfin pour pouvoir utiliser ces pluies de projet, il est nécessaire de discrétiser les droites dans un pas de temps normalement entre 6 et 10 minutes.

Ces premières pluies de projets ont utilisé la moyenne des coefficients de Montana (sur la durée privilégiée de chaque coefficient. Ce choix a été abandonner dans la construction définitive des pluies de projet pour prendre les coefficients de Montana les plus récents.

Un choix a dû être fait sur la durée totale et la durée intense de la pluie.

2) Pluies de projet crées

Finalement les pluies de projet définitives (Annexes 31 à 44), ont été créés à l'aide d'un tableur Excel déjà existant, fourni par une collègue d'un autre service de Chartres métropole, pour obtenir plus rapidement les pluies pour les différentes périodes de retour.

Ce document déjà existant a été utiliser car les pluies ont été construites plus rapidement. Mais aussi les résultats n'étaient plus à jour car les temps t1, t2 et t3 dépendent du lag-time qui a été modifié ultérieurement.

Pour chaque période de retour un jeu de deux pluies de projet a été créé pour pouvoir utiliser la pluie impactant le plus le réseau pour un pré-dimensionnement.

La première pluie de projet est une pluie décennale de durée totale de 3h avec une période intense de 15 minutes (Annexe 35)

La seconde pluie de projet est aussi une pluie décennale mais de durée totale de 6h pour 30 minutes de période intense. (Annexe 35)

Dans ce document automatisé, il suffit de rentrer la durée totale de la pluie, la durée intense, le pas de temps et les coefficients a et b de Montana.

Une autre méthode est utilisée pour calculer i1 et i2, (Figure 31) ces deux paramètres utilisent les mêmes coefficients de Montana.

En comparant les intensités maximales entre les deux lots de pluies projets créés, l'ordre de grandeur est le même, le plus grand écart est de plus de 30 mm/h sur les 135mm/h de la pluie centennale de 6h, intense 30minutes.

Tableau 9 Comparaison des intensités maximales des hyétogrammes des pluies de projets crées

Pointe hyétogramme pluies de projet	**(1) 6h30min (mm/h)**	**(2) 430min 46min (mm/h)**	**imax(1) – imax(2)**
T100ans	135.83	104.4	31.36
T50 ans	120.2	92.03	28.17
T10ans	86.1	65.49	20.61
T5ans	71.54	55	16.54
T1an	38.59	45.41	-6.82
T6mois	29.46	27.32	2.14
T1mois	12.77	11.85	0.92

VI. Exploitation du modèle

Ensuite le modèle calé va être utilisé pour observer les éventuels débordements sur le bassin versant du Couesnon en particulier aux alentours de la place du 19 mars 1962 à Lucé et au niveau de l'impasse des Vauroux à Mainvilliers.

Suite à la demande d'un élu, un bassin de rétention pluvial enterré est à l'étude au niveau de la place du 19 mars 1962. (Figure 1)

Le Couesnon est affleurant dans l'impasse des Vauroux. Cette zone est le point noir du bassin versant car c'est un point bas, mais aussi le bassin versant pluvial de cette rue à pour exutoire le poste de relevage pluvial des Vauroux et en amont une surverse du poste de refoulement des eaux usées (Figures 4 et 11). Le disfonctionnement des postes entraîne d'importants problèmes d'inondations et de sécurité sanitaire.

Ainsi le modèle montrera le débit et un éventuel débordement à l'impasse des Vauroux.

Les pluies de projets décennales de 6h dont 30 minutes intense **(1)** et de 3h avec une période intense de 15 minutes **(2)** seront utilisées par la suite.

1. Débit décennal au niveau de l'impasse des Vauroux

Le débit décennal maximal au niveau du tronçon en béton affleurant le long de la voie SNCF, est de 7.2 m3/s.

Le volume total transitant dans ce tronçon dépasse les 78 000 m^3 en 17h en moyenne avec les deux pluies décennales (Annexes 38 et 39).

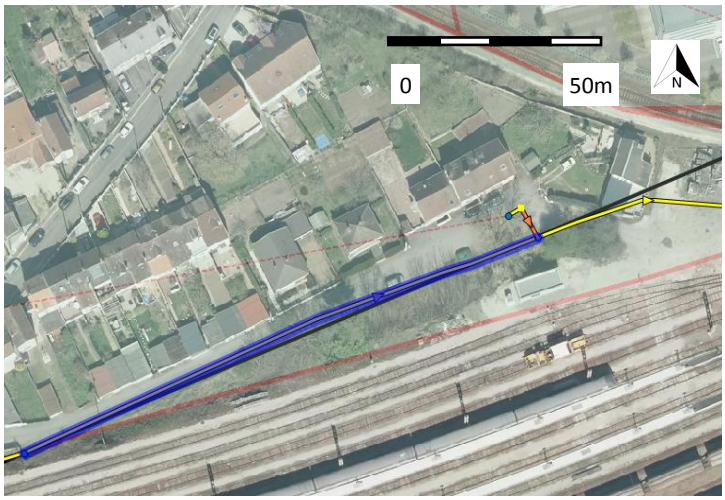


Figure 32 Tronçon utilisé pour obtenir le débit décennal à l'impasse des Vauroux, Mainvilliers, Eure-et-Loir. Source PCSWMM

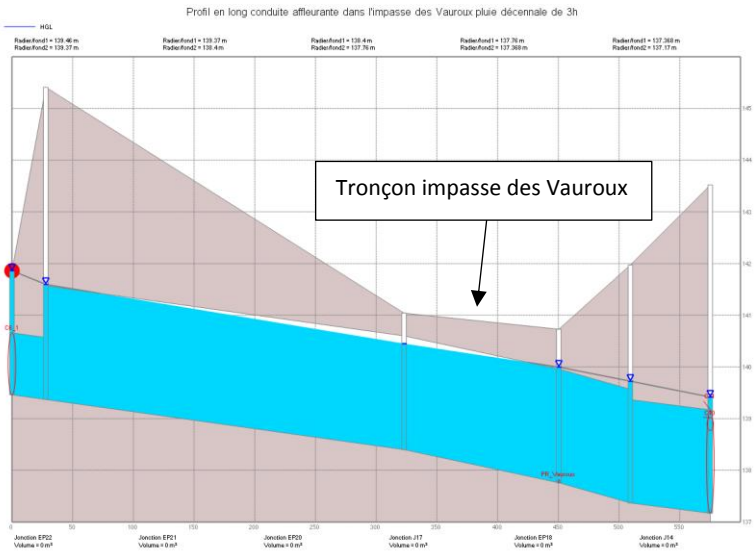


Figure 33 Profil en long du tronçon affleurant dans l'impasse des Vauroux, Mainvilliers, Eure-et-Loir. Source PCSWMM

Sur le profil en long, le réseau est légèrement en charge sur une courte partie en aval (Figures 32 et 33 ci-dessus). Dans tous les cas, aucun débordement n'est à déclarer du réseau au refoulement de l'impasse des Vauroux.

Mais un débordement conséquent en amont vers cette impasse pose un problème à cause du ruissellement en surface. Le débordement au nœud *EP23* dépasse les 40 000 m^3 dans le modèle en partie à cause de l'aval et avec la pente naturelle, le ruissellement de surface est dirigé vers l'entrée de l'impasse des Vauroux (Figure 40).

Ces résultats peuvent manquer de précision avec la modélisation des chambres dont le bassin Vauroux piscine. Mais ce débordement montre tout de même un problème de débordement.

Les parties suivantes vont proposer des solutions plus en amont et l'impact de ces modifications sur le débordement au nœud *EP23* sera étudié.

2. Exutoire au niveau du Moulins des Graviers

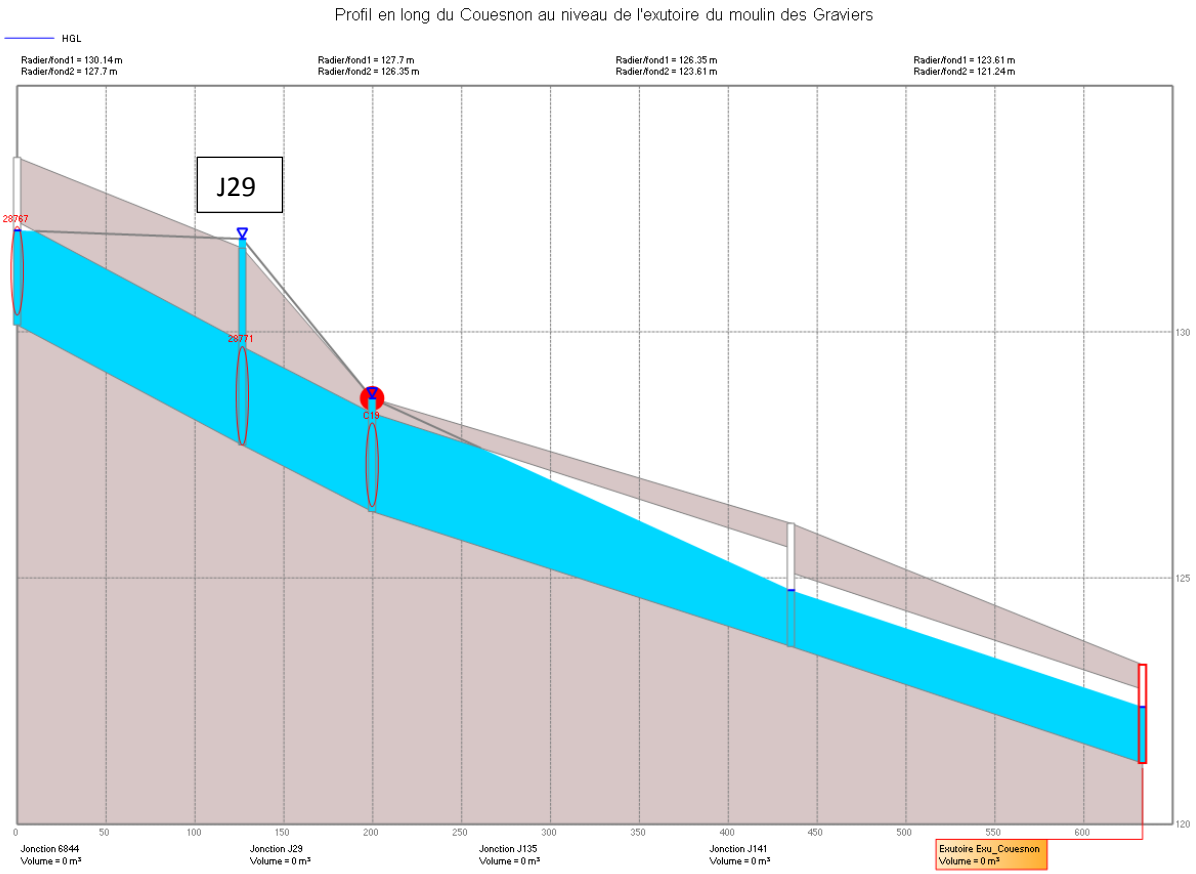


Figure 34 Profil en long du Couesnon au niveau de l'exutoire du moulin des Graviers pour une pluie décennale, Chartres, France.

Aucun débordement n'est observé à l'exutoire au moulin des Graviers.

Cependant concernant le Nœud *J29* (cf Figure 34), le nœud directement en aval du PT3 (Figure 13), la charge se trouve au-dessus du tn (terrain naturel) car l'antenne de Rechèvres est raccordée en piquage direct au Couesnon, c'est-à-dire que le regard le plus proche se situe quelques mètres en aval du raccordement.

Le débordement réel au niveau de ce nœud à lieu quelques mètre en amont sur l'antenne de Rechèvres. (Figure 35 ci-dessous)

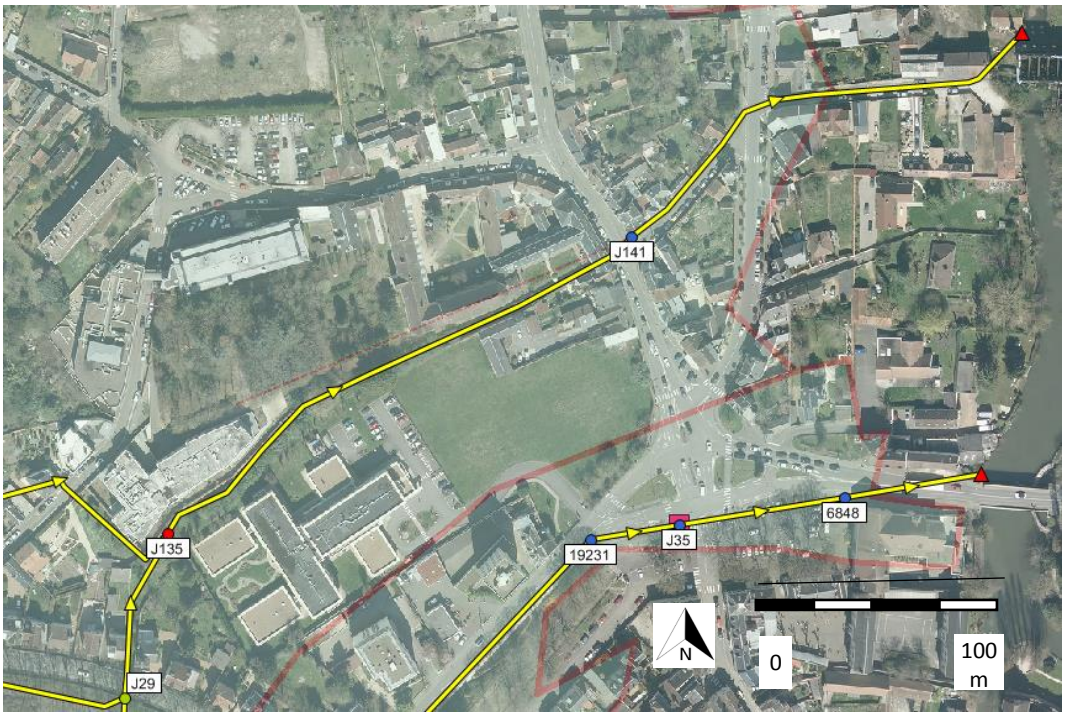


Figure 35 Position des nœuds du profil de l'exutoire du Couesnon au Moulin des Graviers, Chartres, France.

3. Carte des débordements en fonction des volumes débordés.

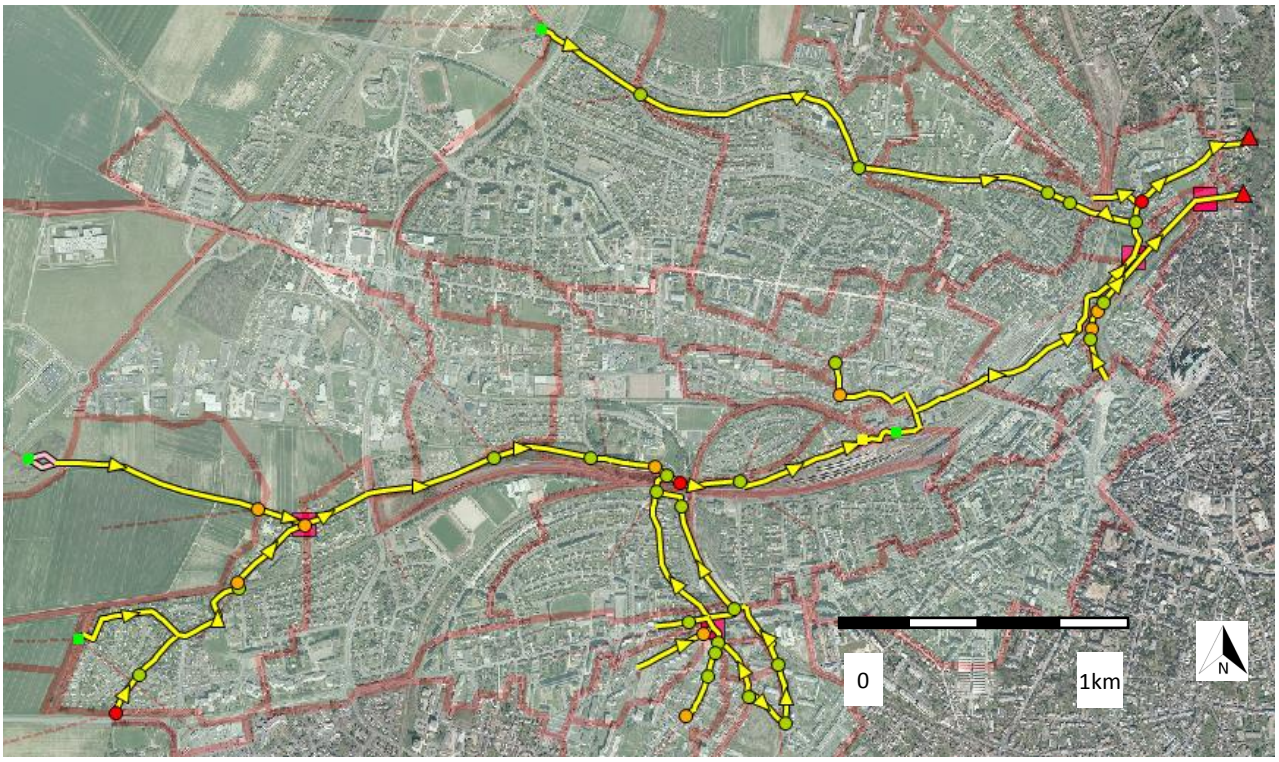


Figure 36 Carte représentant les volumes totaux de crues en ML pour une pluie décennale de 6h avec une période intense de 30min, Chartres, France.

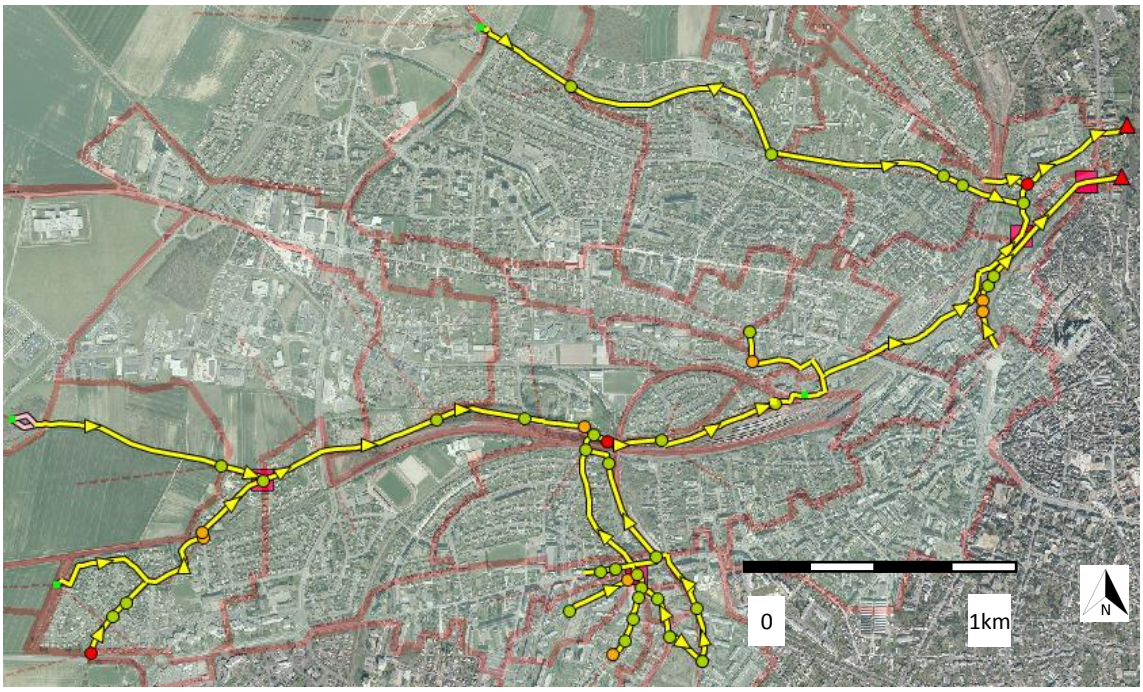


Figure 37 Carte représentant les volumes totaux de crues en ML pour une pluie décennale de 3h avec une période intense de 15min, Chartres, France.

Tableau 10 Légende de la carte représentant les volumes totaux de crue (Figure 36 et 37

Légende Volume total de crue (débordement) (ML ou 10^6L)	
1 m^3 <= Volume < 1 ML	
1 ML <= Volume < 5 ML	
Volume >= 5 ML	

Les Figures 36 et 37 montrent les débordements classés par volume total débordé en méga litre (ML) pour les deux pluies décennales.

Certains débordements de 1 m^3, dans le modèle, n'existent pas. Avec des profils en long, seulement une légère mise en charge est observée.

4. Etude des débordements place du 19 mars 1962 à Lucé

Les débordements observés en situation initiale sont concentrés en deux points.

Le nœud *J103*, le nœud sur l'antenne Jules Ferry qui fait la jonction entre le collecteur de DN1000 (tronçon de diamètre 1000 mm) et celui de DN300.

Et le nœud *J72* exutoire du bassin versant de la rue René Langlois (Figure 38).

Le DN1000 a été posé pour stocker une partie du volume pour remédier à des débordements. Cependant avec le modèle, des débordements sont observés

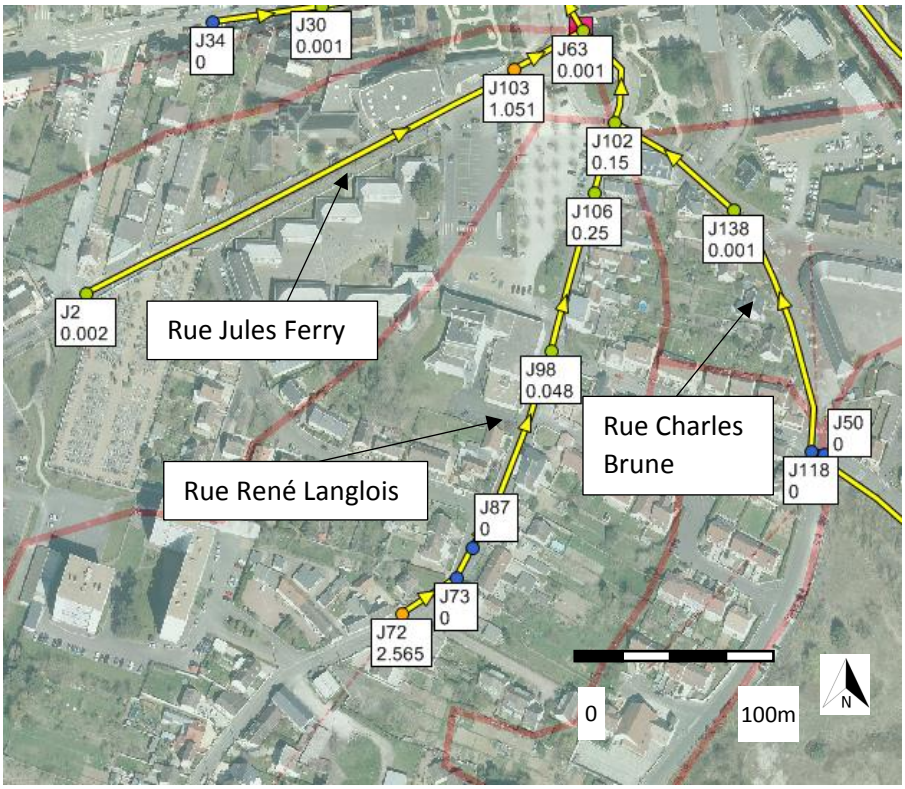


Figure 38 Débordements observés sur les antennes en amont de la place du 19/03/1962 pour la pluie décennale de 3h.

1) Essai renforcement réseau

Avant de pré-dimensionner un bassin au niveau du parking de la place du 19 mars 1962, une vérification avec un renforcement du DN300 rue Jules Ferry en tronçon de diamètre 1000mm et un renforcement du DN300 compléter du renforcement du DN600 en aval de la place du 19 mars, le tronçon dans lequel le PT2 a été installé (Figure 39) en un DN1000

Tableau 11 Volume déborder en ML (méga litres) en aval de l'antenne de Lucé pour les trois situations de renforcement du réseau (situation initiale, DN300 en DN1000 et DN300 et 600 en DN1000

situation	initiale	300 en 1000	300 et 600 en 1000
Nom	Volume crue Total (ML)		
12796	0.123	0.142	0.189
20693	0.003	0.003	0.003
EP23	43.049	42.723	42.986
chambre avec lumière aval			
J53	0.076	0.045	0.058
J53_1	0.182	0.196	0.171
J54	0.135	0.14	0.112
J54_1	0.068	0.06	0.056

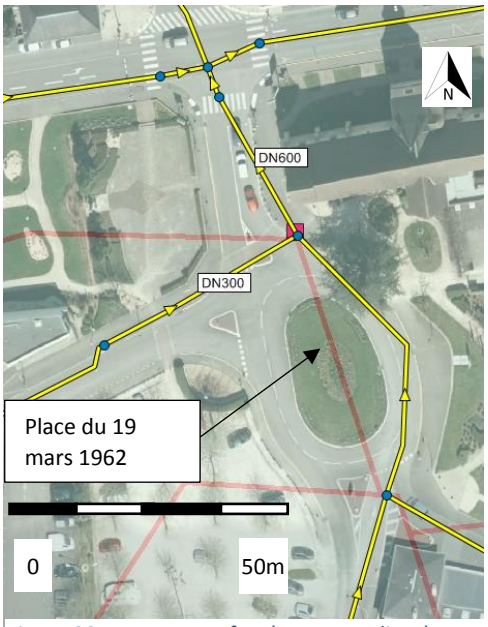


Figure 39 Tronçons renforcés avec un diamètre de 1m place du 19 mars 1962, Lucé, France.

Le renforcement avec un DN1000 des DN300 et DN600 (Figure38), est le plus favorable en aval, à la connexion avec le Couesnon.

Aussi avec les trois Annexes 42 à44, montrant les profils en long de l'antenne Jules Ferry et le tronçon en aval, la comparaison des trois situations montre deux débordements en aval de la rue Jules Ferry mais de l'ordre de 400 m^3 (Annexe 44) contre un débordement de plus de 700 m^3 avec le renforcement du DN300 et plus 1000 m^3sans renforcement.

Cependant les renforcements n'améliorent pas les plus de 3000 m^3 débordés sur l'antenne René Langlois. Ainsi une solution avec la création d'un bassin est étudiée par la suite.

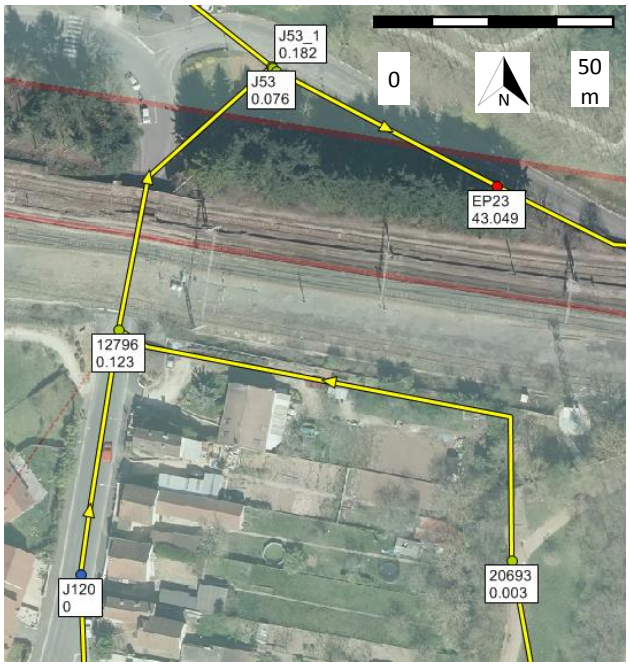


Figure 40 Emplacement et identification des nœuds en aval de l'antenne de Lucé, France.

2) Dimensionnement du bassin sous le parking place du 19 mars 1962.

La pluie double triangle de 3h avec une période intense de 15 minutes est la plus impactante en terme de quantité débordée (Figures 36 et 37)

En effet le pic d'intensité est plus important ce qui accroit le risque de débordement. Le modèle montre que la pluie de 3h entraîne 500 m^3 débordé en plus par rapport à la pluie de 6h sur les antennes Jules Ferry et René Langlois.

Pour commencer un bassin de 4575 m^3 est dimensionné en utilisant la totalité des mètres cubes débordés en amont du PT2 sur les antennes Jules Ferry et René Langlois.

Cela surestime le volume à stocké mais donne une marge de sécurité.

Avec l'aide du PCRS, l'impact des différents points de débordements sur les trois antennes passant par la place du 19 mars, montre avec les pentes du terrain naturel qu'une partie des débordements du nœud *J72*, (Figure 38) n'impacterai pas la place du 19 mars, semble avoir une partie qui ruisselle dans l'autre sens,

Ensuite le dimensionnement du bassin a été réalisé sans la prise en compte du nœud *J72*

Sans les débordements du nœud *J72*, 1800 m^3 devraient être stockés.

Mais pour avoir une marge de sécurité, et comme le bassin de plus de 4500 m^3 stockait un peu plus de 2500 m^3 dans la simulation, le volume du bassin sera de 2600 m^3.

3) Caractéristiques du bassin enterré

Le bassin enterré est dimensionné comme un parallélépipède rectangle sous le parking de la place du 18 mars.

L'aire de l'emprise foncière représente un rectangle de 40 m de large pour 78 m de long soit 3120 m².

Ensuite la hauteur utile servant au volume du bassin est déduite du volume à stocker et de l'aire choisie.

Pour le bassin de 4575 m^3, la hauteur maximale est de 95cm contre 83cm pour le bassin de 2600 m^3.

Ensuite une couverture de 80cm est choisie entre la moyenne des côtes du terrain naturel actuelles du parking et le toit du bassin.

Ainsi la cote radier est obtenue en sommant la profondeur et la couverture.

Le bassin est modélisé avec la couche Stockage. Sa courbe de stockage est définie avec l'aire en fonction de la hauteur.

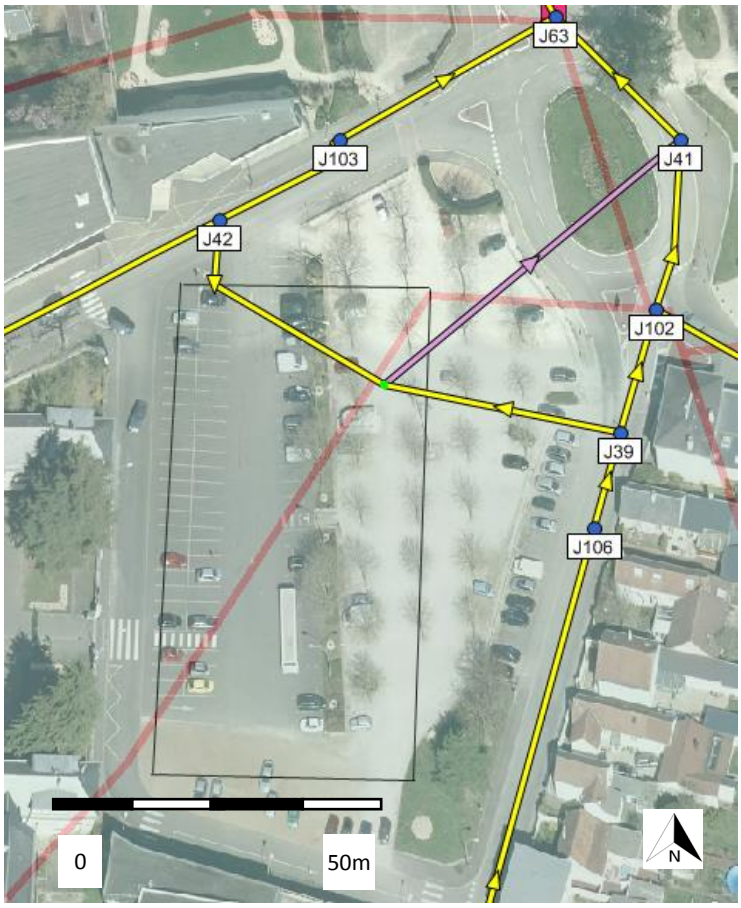


Figure 41 Emprise foncière modélisation du bassin place du 19/03/1962, Lucé, France

Les longueurs des tronçons en entrée de bassin issues des antennes Jules Ferry et René Langlois sont choisies du collecteur jusqu'à l'intersection avec l'emprise rectangulaire (Figure 41 ci-contre).

Le diamètre de ces tronçons en entrée est d'un mètre pour pouvoir transférer l'excédent d'eau dans le bassin plutôt facilement.

La prise dans le collecteur rue Jules Ferry se fait dans le tronçon de diamètre 1m pour permettre un débit élevé vers le bassin et supprimer le débordement au nœud *J103.*

Le raccordement du bassin devrait si possible être réalisé sur un regard existant pour éviter de perforer la conduite ou de créer un nouveau regard. C'est aussi la solution la plus simple pour l'exploitation du réseau.

Le tronçon en sortie du bassin crée est une sortie contrôlée avec un clapet anti retour,-le débit sortant du bassin est fonction de la hauteur dans ce dernier.

$Q(m3/s) = 0.1.h^{0.5}$

Avec h la hauteur en mètre .

Cette équation a été choisie pour limiter le débit en sortie au maximum à 90L/s pour le bassin le plus grand, pour une hauteur de 80 cm au maximum dans le bassin. (Figure 42 ci-contre)

Un choix sur la sortie a été fait, mais il est tout à fait possible de faire différemment.

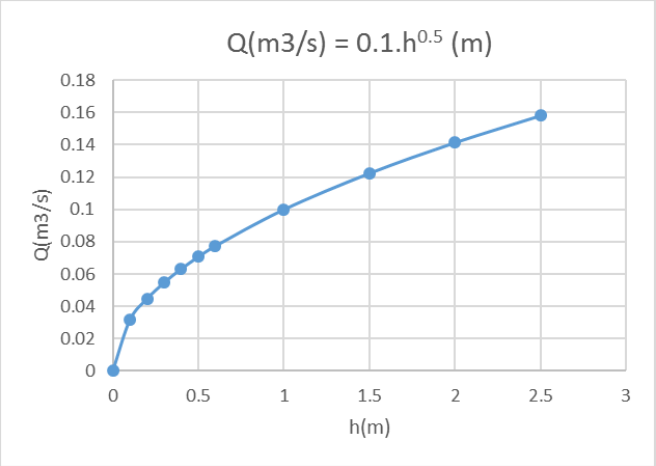


Figure 42 Courbe du débit en sortie du bassin créé place du 19/03/1962 au niveau de la sortie contrôlée.

Au niveau du tronçon porté par le PT2, avec l'implémentation du bassin, le volume total est supérieur à la situation initiale car les débordements évités sont transmis au réseau après le stockage dans le bassin. Le débit maximal est réduit grâce à l'écrêtement de la pointe par le bassin.

4) Bilan des solutions

Dans la majorité des points les volumes débordés en aval de l'antenne de Lucé sont réduits avec l'implémentation des bassins excepté au nœud critique *EP23* pour lequel le volume est augmenté de 1000 à 3000 m^3 .

Tableau 12 Volume déborder en ML (méga litres) en aval de l'antenne de Lucé pour les trois situations de renforcement du réseau et les deux dimensionnements de bassins (situation initiale, DN300 en DN1000 et DN300 et 600 en DN1000 et volumes de 4575 m^3 et 2600 m^3)

situation	initiale	300 en 1000	300 et 600 en 1000	V= 4575 m3	V= 2600 m3
Nom	Volume crue Total (ML)				
12796	0.123	0.142	0.189	0.049	0.087
20693	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
EP23	43.049	42.723	43.986	47.201	44.046
chambre avec lumière aval					
J53	0.076	0.045	0.058	0.054	0.056
J53_1	0.182	0.196	0.171	0.128	0.149
J54	0.135	0.14	0.112	0.132	0.191
J54_1	0.068	0.06	0.056	0.058	0.052

Avec la somme des débordements le renforcement du DN300 est la solution qui entraine le moins de débordements suivi de l'autre essai de renforcement des DN300 et 600 suivi de la situation initiale et enfin les bassins de 2600 m^3 et de 4575 m^3.

Ainsi la solution de renforcement à un impact plus positif en aval. Une solution pour l'antenne René Langlois peut être trouvée avec un nouveau renforcement ou bien la création d'un plus petit bassin sans oublier l'analyse de l'impact en aval.

Lors du dimensionnement d'un bassin si cette solution est choisie, une partie de décantation pour contenir une pollution ou des sédiments peut être crée en décalant la sortie de quelques centimètres par rapport au radier du bassin.

Une solution de renforcement serait moins coûteuse, mais une étude plus avancée sur cette zone serait intéressante.

Ces résultats obtenus sont indicatifs. Les débordements au niveau de la place du 19 mars semblent surestimés. Aucune plainte de riverains ne semble pas avoir été remontée à la Direction du cycle de l'eau.

Une modélisation plus précise, en ajoutant des nœuds, et en prolongeant l'antenne René Langlois pour voir si l'impact de débordement au nœud *J72* est réellement aussi importante est nécessaire.

Mais il est important de vérifier si une modification de la structure du modèle impacte le calage et la validation au point de devoir réajuster les paramètres de calage.

Conclusion

Ce Travail de fin d'étude est l'aboutissement des trois années de formations à L'ENGEES, (Ecole du génie de l'eau et de l'environnement de Strasbourg), en alternance au sein de Chartres métropole.

Ce mémoire a décrit les étapes de la création d'un modèle sur le bassin versant du Couesnon, mais aussi la réalisation d'une campagne de mesure avec le calage et la validation du modèle.

Les résultats finaux du calage sont plutôt bon, seuls les écarts sur le volume des points de mesure 1 et 4 dépassent les 20% par rapport à la mesure. Pour la validation se sont les écarts sur le volume pour les points de mesure 1 et 3 qui dépassent les 20%.

La phase de calage a pris beaucoup plus de temps que prévu. Car le calage a révélé des imprécisions dans la structure du réseau nécessitant la modification des paramètres à de nombreuses reprises. Il est très important de pouvoir faire des ajustements rapides des paramètres de calage. Le logiciel PCSWMM semble avoir un module permettant de faire ce calage et donc pourrait optimiser les ajustements des paramètres.

Par la suite, des pluies de projets ont été construites pour permettre l'exploitation du modèle pour différentes périodes de retour. Le modèle a été utilisé pour repérer les zones à enjeux, avec des débordements pour une pluie décennale.

Mais aussi une réflexion sur des solutions pour réduire les débordements au niveau de la zone de la place du 19 mars 1962 à Lucé ont été proposées. Des solutions de renforcement du réseau existant et le pré-dimensionnement d'un bassin ont été comparées.

Les résultats obtenus, le sont à titre indicatifs, la décision sur des travaux à réaliser reviendra à la Direction du cycle de l'eau. Les débordements au niveau de la place du 19 mars semblent surestimés.

Pour être plus précis dans les résultats, il convient de rajouter des nœuds, qui ont été simplifiés dans le modèle, pour se rapprocher de la réalité des débordements. Il est essentiel de vérifier si les paramètres de calage n'ont pas à être ajuster à cause d'un écart trop conséquent du volume ou du débit maximal simulé pour le calage ou la validation par rapport à la mesure.

Dans le futur pour réduire les débordements en aval de la piscine des Vauroux (Figure 4), les bassins de Poiffonds et d'Amilly pourrait être creusés pour augmenter leurs volumes.

Mais aussi une gestion à la parcelle des nouveaux et des anciens raccordements peut jouer un rôle de tampon ou de réduction des apports au réseau très intéressant. Le coup de cette proposition serait à priori plus modéré que la création d'un bassin de rétention en béton.

Enfin une réduction du coefficient d'imperméabilisation du bassin versant du Couesnon en permettant au sol d'absorber une partie non négligeable du volume arrivant actuellement dans le réseau. Que ce soit l'augmentation des surfaces perméables avec des parkings infiltrant ou des espaces verts. Ou bien des toitures végétalisées qui diminuerait les apports des toitures.

Bibliographie

[1] VAZQUEZ José. **Hydrologie et Hydraulique des réseaux d'assainissement**. Formation d'ingénieurs ENGEES. Avril 2016. 288 p.

[2] CHARTRES METROPOLE ASSAINISSEMENT. « **Le Couesnon » -Liaison entre la Rue Henri Dunant et la Rivière Eure**. Vérification état et fonctionnement de réseau d'assainissement existant. Rapport de Visite Pédestre et d'Inspection télévisée du réseau unitaire. Mars 2019. 307p. [document interne]

[3] OBERLE Camille. **Etude hydraulique du réseau d'eaux usées du centre-ville de Chartres Métropole dans le cadre d'une interconnexion (Eure-et-Loir ; 28)**. Mémoire de Fin d'Etude présenté pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur de l'Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg. Septembre 2018. 87 p.

[4] KALITEO. **Site internet**. Consulté le 24/09/2021 .<www.kaliteo.fr>

[5] INFOCLIMAT. **Infoclimat.fr**. Consulté le 07/09/2021. <https://www.infoclimat.fr/cartes-meteo-temps-reel-images-satellites-infrarouge-visible-haute-resolution.html?date_ivar=2021-04-09&i=radar-nord_ouest&dk=6>

[6] CHOCAT Bernard, THIBAULT Serge, ZIMMERMANN Monique. **Étude comparative des résultats fournis par la méthode de CAQUOT et le modèle du réservoir linéaire**. Techniques et sciences municipales, l'Eau. 1981. Pp.417-423. Consulté le 24/09/2021. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00704185>

[7] METEO FRANCE. **Coefficients de Montana**. Consulté le 24/09/2021. <https://professionnel.meteofrance.com/cmsstatic/Montana.pdf>

[8] WIKHYDRO. **Méthode des pluies (HU).** Consulté le 08/10/2021. <*http://wikhydro.developpement durable.gouv.fr/index.php/M%C3%A9thode_des_pluies_(HU)*>

[9] BERTRAND-KRAJEWSKI Jean-Luc. **Cours d'hydrologie** urbaine. URGC Hydraulique urbaine INSA Lyon. OSHU3 02 PLUIE. Consulté le 24/09/2021. <http://jlbkpro.free.fr/_iserv/dlfiles/dl.php?ddl=bv000015.lkdoc.oshu3-02-pluie.pdf.>.

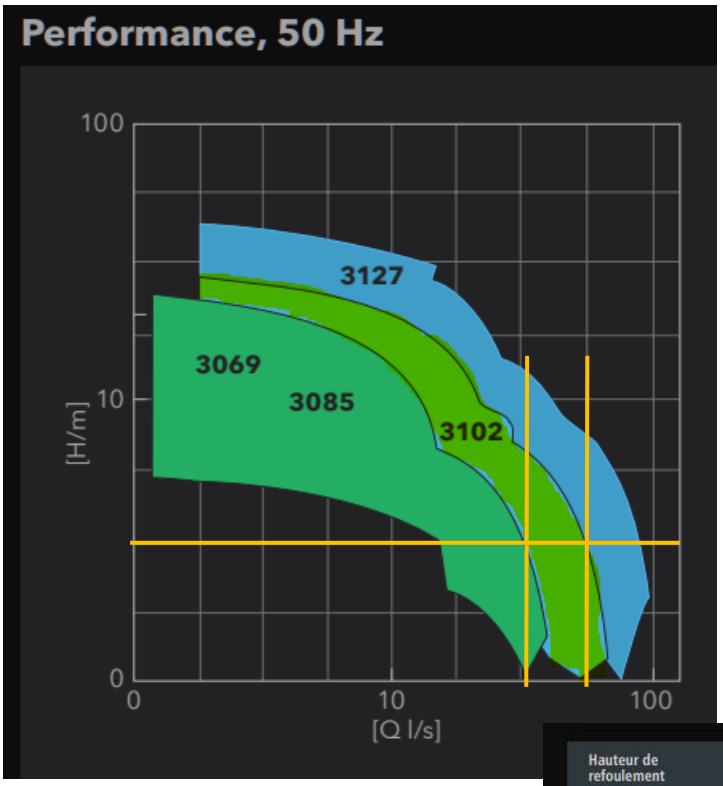
[10] XYLEM. **The Flygt N-technology pump series for water and wastewater**. Site consulté le 08/10/2021.<https://www.xylem.com/siteassets/brand/flygt/flygt-resources/flygt-resources/flygt-n-pump-brochure-896876.pdf>.

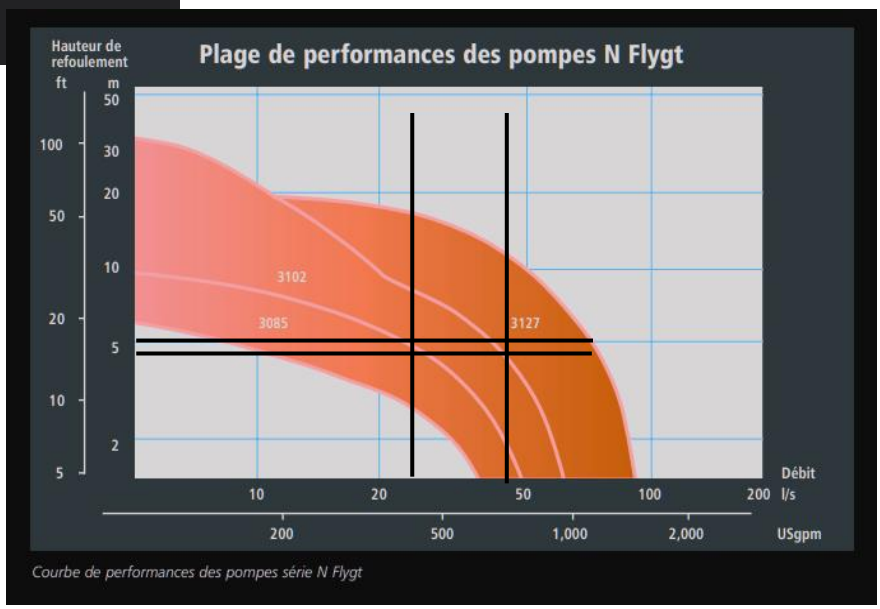
[11] MOTRALEC. **Pompes submersibles de relevage des eaux usées avec une fiabilité et un rendement élevés**. Site consulté le 08/10/2021. <https://www.motralec.com/public/fichiers/docs/Flygt_N_3085_3102_3127_NS_NP_NT_NZ_NL.pdf>

Annexes

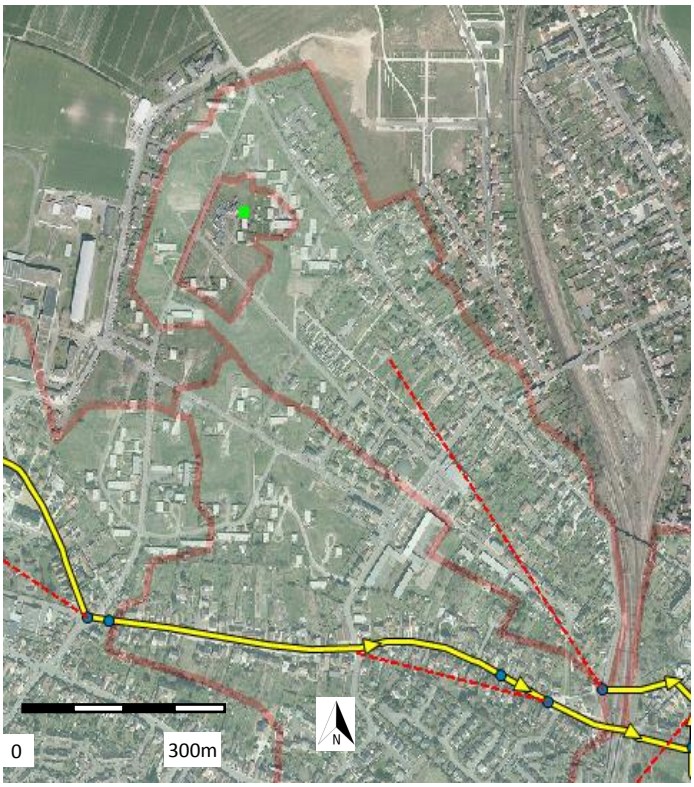
Annexe 1 Bandes de courbes caractéristiques de la marque Flygt 3102 source Xylem [10] et Motralec [11] 56
Annexe 2 Bassin versant scindé du bassin d'infiltration de Chavannes, Chartres, France. 57
Annexe 3 Surverse du Couesnon dans le parc Gagnon vue du dessus, Chartres , France 57
Annexe 4 Photo de la surverse du Couesnon à l'intérieur du nœud DO1 [2] Chartres, France. 58
Annexe 5 Profil en long de la surverse modélisée, Chartres Eure-et-Loir 58
Annexe 6 Comparaison pluie et débit mesurés au point PT1 pour la pluie du 9/4/21 59
Annexe 7 Comparaison pluie et débit mesurés au point PT2 pour la pluie du 9/4/21 59
Annexe 8 Comparaison pluie et débit mesurés au point PT3 pour la pluie du 9/4/21 60
Annexe 9 Comparaison pluie et débit mesurés au point PT4 pour la pluie du 9/4/21 60
Annexe 10 Comparaison pluie et débit mesurés au point PT1 pour la pluie du 1/5/21 de la Mare Corbonne 61
Annexe 11 Comparaison pluie et débit mesurés au point PT2 pour la pluie du 1/5/21 du pôle gare . 61
Annexe 12 Comparaison pluie et débit mesurés au point PT3 pour la pluie du 1/5/21 du pôle gare . 62
Annexe 13 Comparaison pluie et débit mesurés au point PT4 pour la pluie du 1/5/21 du pôle gare . 62
Annexe 14 Comparaison des hydrogrammes mesurés et calés pour le point de mesure PT1, pluie du 9/4/2021 63
Annexe 15 Comparaison des hydrogrammes mesurés et calés pour le point de mesure PT2, pluie du 9/4/2021 64
Annexe16 Comparaison des hydrogrammes mesurés et calés pour le point de mesure PT3, pluie du 9/4/2021 64
Annexe 17 Comparaison des hydrogrammes mesurés et calés pour le point de mesure PT4, pluie du 9/4/2021 65
Annexe 18 Comparaison des hydrogrammes mesurés et validés pour le point de mesure PT1, pluie du 1/5/2021 65
Annexe 19 Comparaison des hydrogrammes mesurés et validés pour le point de mesure PT2, pluie du 1/5/2021 66
Annexe 20 Comparaison des hydrogrammes mesurés et validés pour le point de mesure PT3, pluie du 1/5/2021 66
Annexe 21 Comparaison des hydrogrammes mesurés et validés pour le point de mesure PT4, pluie du 1/5/2021 67
Annexe 22 Tableau récapitulatif des dates de la pointe des pluies de des débits simulés et mesurés pour les quatre points de mesure 67
Annexe 23 Tableau récapitulatif des lag-time entre les pluies et les débits simulés et mesurés pour les quatre points de mesure 68
Annexe 24 Calcul du lag-time K par la méthode de Desbordes [6] /p423 TSM juillet 1981 69
Annexe-25 Calcul du lag-time K méthode RERAM [6] /p417 TSM juillet 1981 69
Annexe 26 Tableau Récapitulatif des paramètres de calage initiaux et calés au point de mesure PT170
Annexe 27 Tableau Récapitulatif des paramètres de calage initiaux et calés au point de mesure PT270
Annexe 28 Tableau Récapitulatif des paramètres de calage initiaux et calés au point de mesure PT370
Annexe 29 Tableau Récapitulatif des paramètres de calage initiaux et calés au point de mesure PT471
Annexe 30 Tableau Valeurs numériques des volumes et débits de pointe mesurés, simulés et validés pour les quatre points de mesure 71
Annexe 31 Hyétogramme pluie de projet de période de retour 1 mois pour les pluies de 3h et 6h avec une période intense respective de 15 et 30 minutes 72

Annexe 32 Hyétogramme pluie de projet de période de retour 6 mois pour les pluies de 3h et 6h avec une période intense respective de 15 et 30 minutes..... 72
Annexe 33 Hyétogramme pluie de projet de période de retour 1 an pour les pluies de 3h et 6h avec une période intense respective de 15 et 30 minutes..... 72
Annexe 34 Hyétogramme pluie de projet de période de retour 5 ans pour les pluies de 3h et 6h avec une période intense respective de 15 et 30 minutes..... 73
Annexe 35 Hyétogramme pluie de projet de période de retour 10 ans pour les pluies de 3h et 6h avec une période intense respective de 15 et 30 minutes..... 73
Annexe 36 Hyétogramme pluie de projet de période de retour 50 ans pour les pluies de 3h et 6h avec une période intense respective de 15 et 30 minutes..... 73
Annexe 37 Hyétogramme pluie de projet de période de retour 100 ans pour les pluies de 3h et 6h avec une période intense respective de 15 et 30 minutes 74
Annexe 38 Annexe Débits et capacité du tronçon en amont de l'impasse des Vauroux, pour une pluie décennale de 3h avec une période intense de 15min, Mainvilliers, Eure-et-Loir source PCSWMM.... 74
Annexe 39 Annexe Débits et capacité du tronçon en amont de l'impasse des Vauroux, pour une pluie décennale de 6h avec une période intense de 30min, Mainvilliers, Eure-et-Loir source PCSWMM.... 75
Annexe 40 Carte représentant les heures de débordement pour une pluie décennale, Chartres, France. 76
Annexe 41 Légende de la carte représentant les heures de débordement (Figure 40 76
Annexe 42 Profil amont antenne Jules Ferry et tronçon en aval (lié au PT2) situation initiale, Lucé, France source PCSWMM 77
Annexe 43 Profil amont antenne Jules Ferry et tronçon en aval (lié au PT2) diamètre 300mm remplacé par un DN1000, Lucé, France 77
Annexe 44 Profil amont antenne Jules Ferry et tronçon en aval (lié au PT2) diamètre 300mm et 600mm remplacés par un DN1000, Lucé, France 77
Annexe 45 Profil en long aval antenne Lucé, en situation initiale, Lucé, France..... 77
Annexe 46 Profil en long aval antenne Lucé, renforcement diamètre 300mm remplacé par un DN1000, Lucé, France..... 77
Annexe 47 Profil en long aval antenne Lucé, renforcement diamètre 300mm et 600mm remplacés par un DN1000, Lucé, France 77

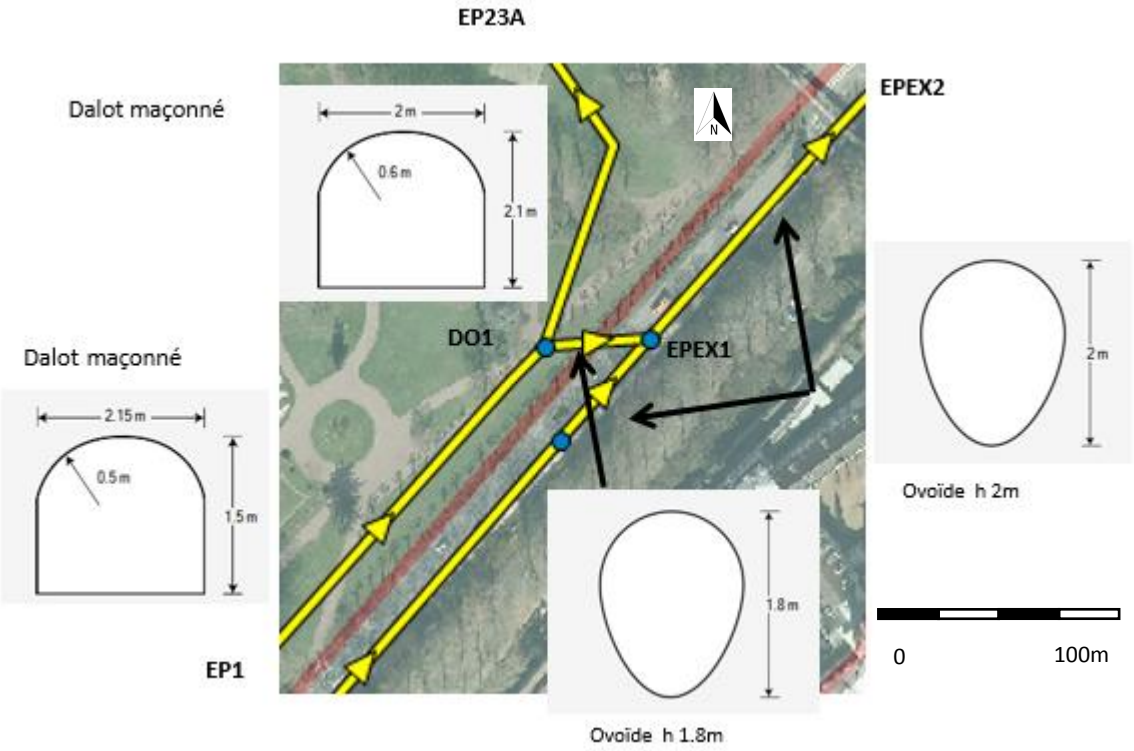




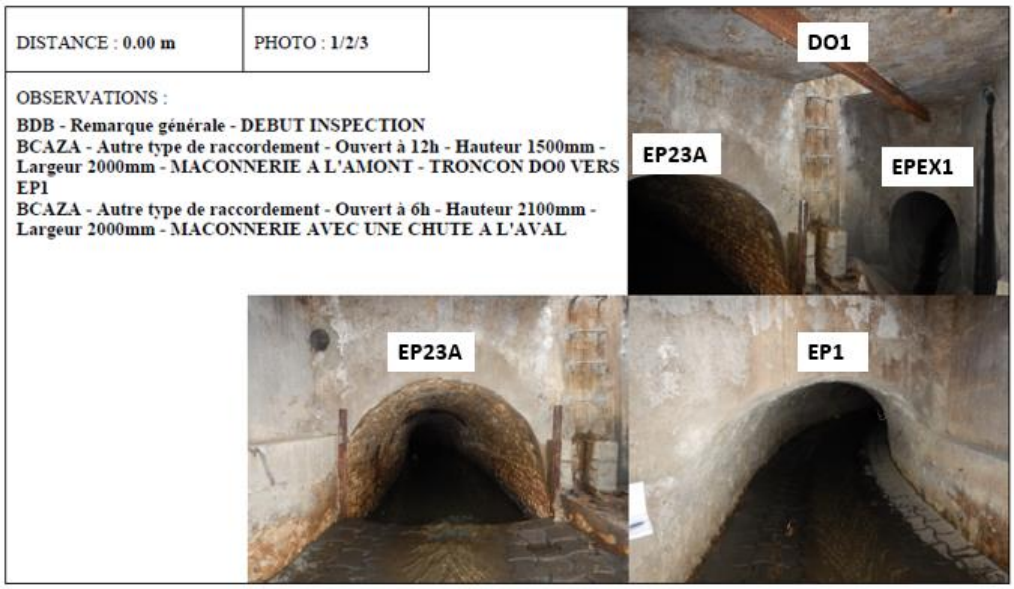
Annexe 1 Bandes de courbes caractéristiques de la marque Flygt 3102 source Xylem [10] et Motralec [11]



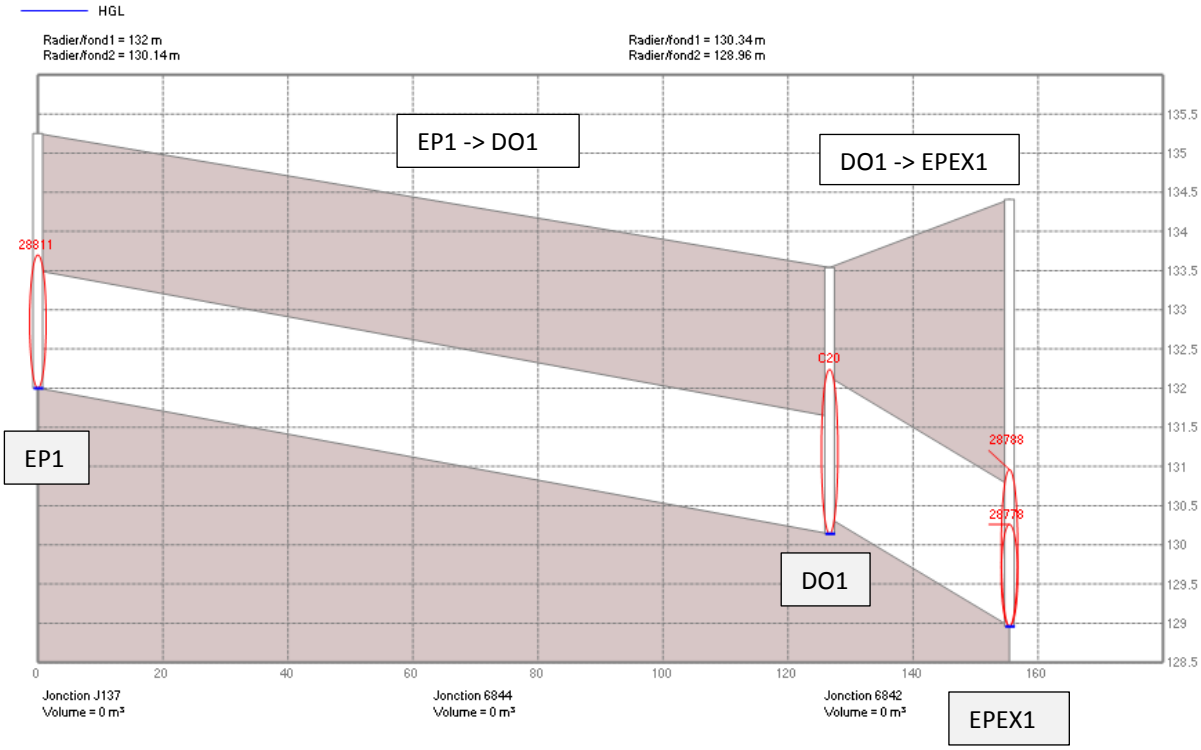
Annexe 2 Bassin versant scindé du bassin d'infiltration de Chavannes, Chartres, France.



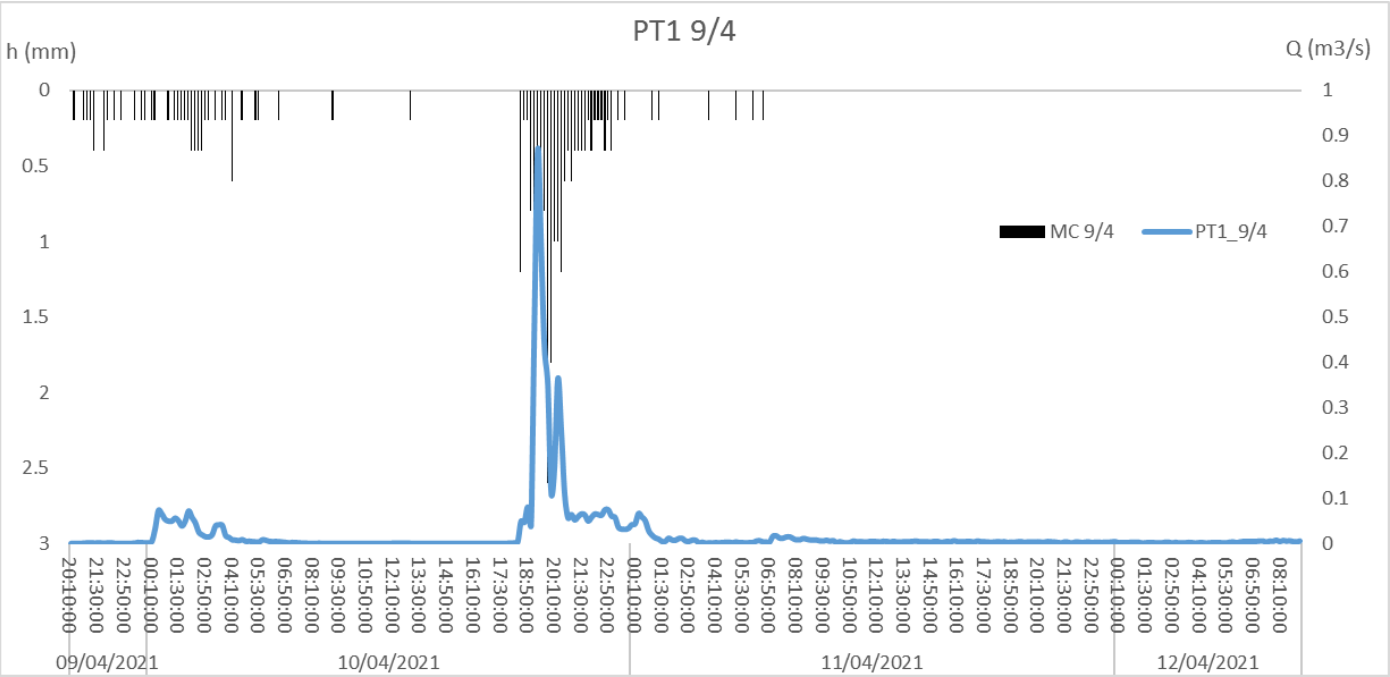
Annexe 3 Surverse du Couesnon dans le parc Gagnon vue du dessus, Chartres, France.



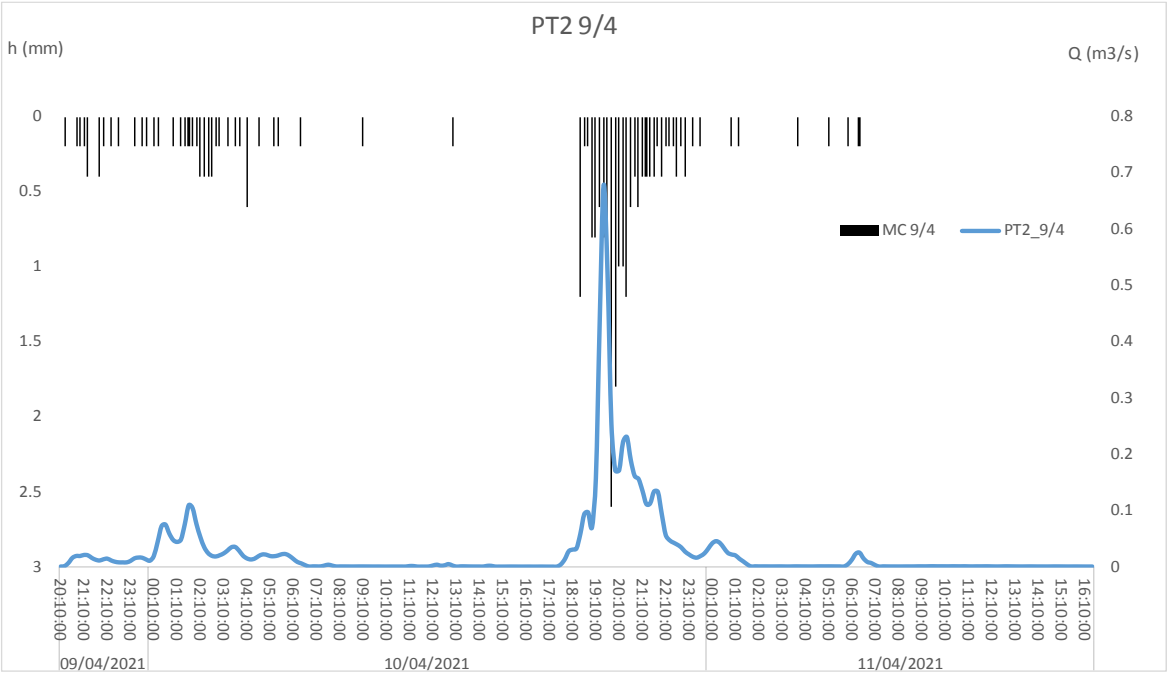
Annexe 4 Photo de la surverse du Couesnon à l'intérieur du nœud DO1 [2] Chartres, France.



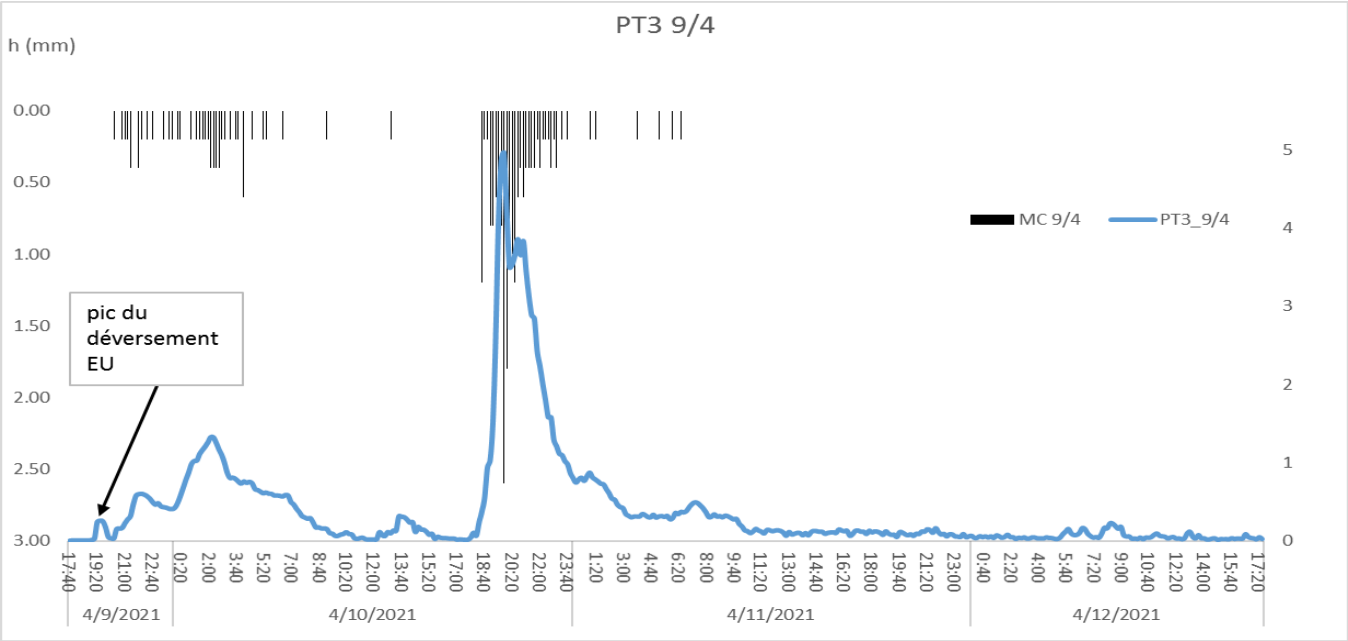
Annexe 5 Profil en long de la surverse modélisée, Chartres Eure-et-Loir



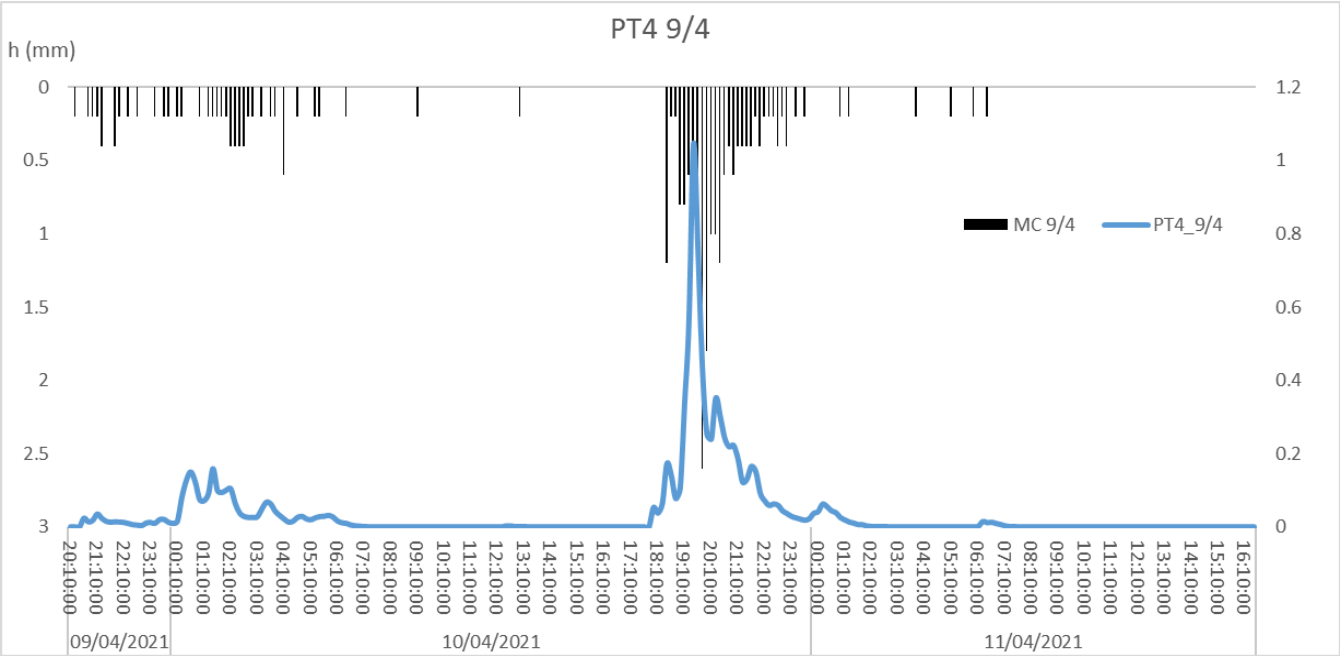
Annexe 6 Comparaison pluie et débit mesurés au point PT1 pour la pluie du 9/4/21



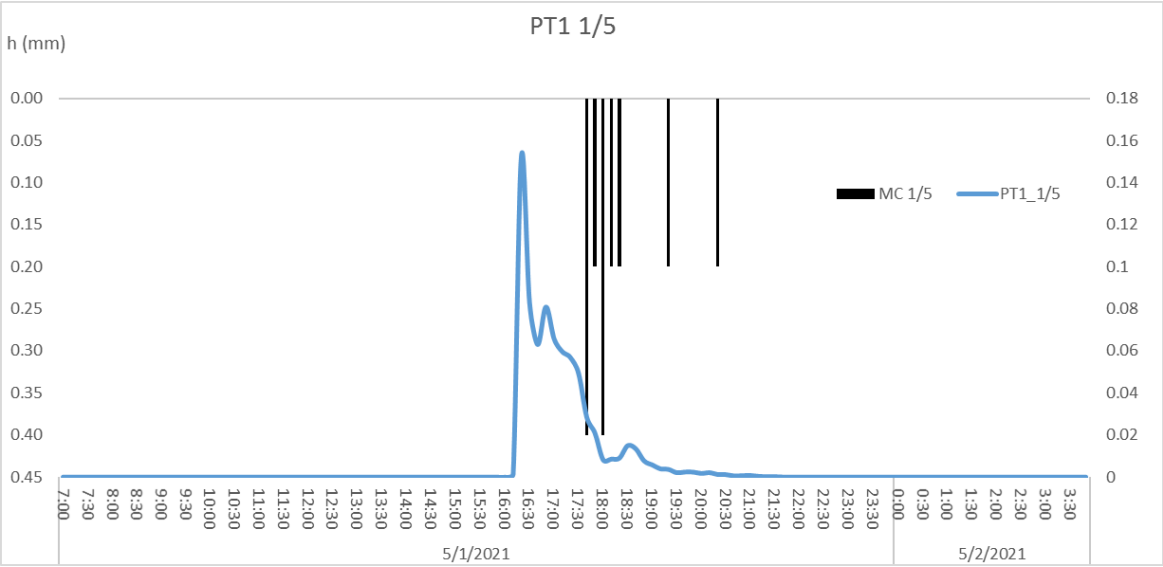
Annexe 7 Comparaison pluie et débit mesurés au point PT2 pour la pluie du 9/4/21



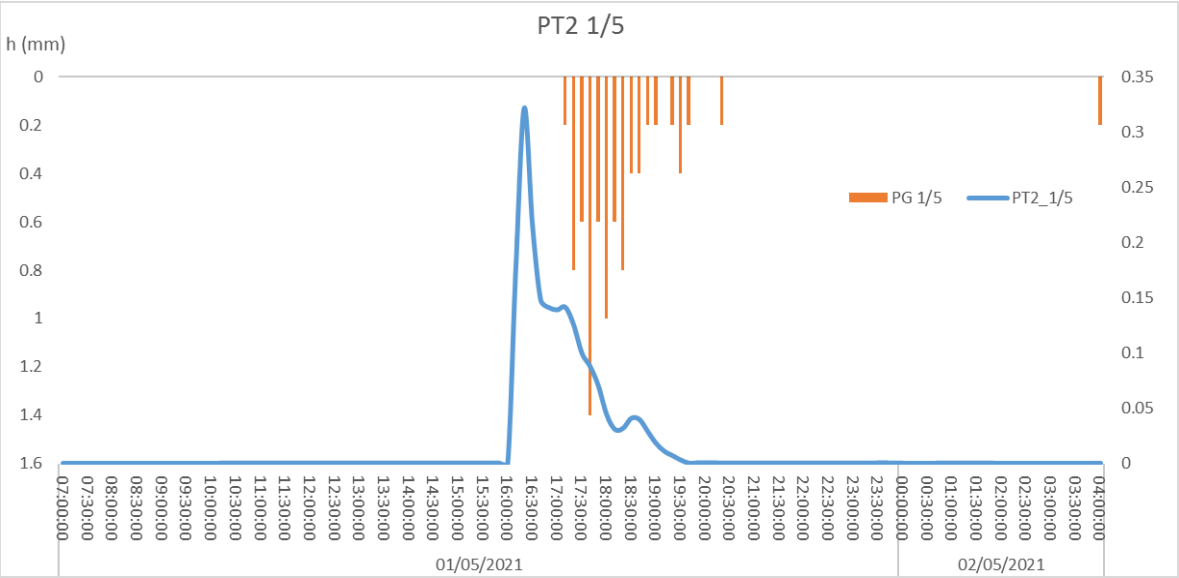
Annexe 8 Comparaison pluie et débit mesurés au point PT3 pour la pluie du 9/4/21



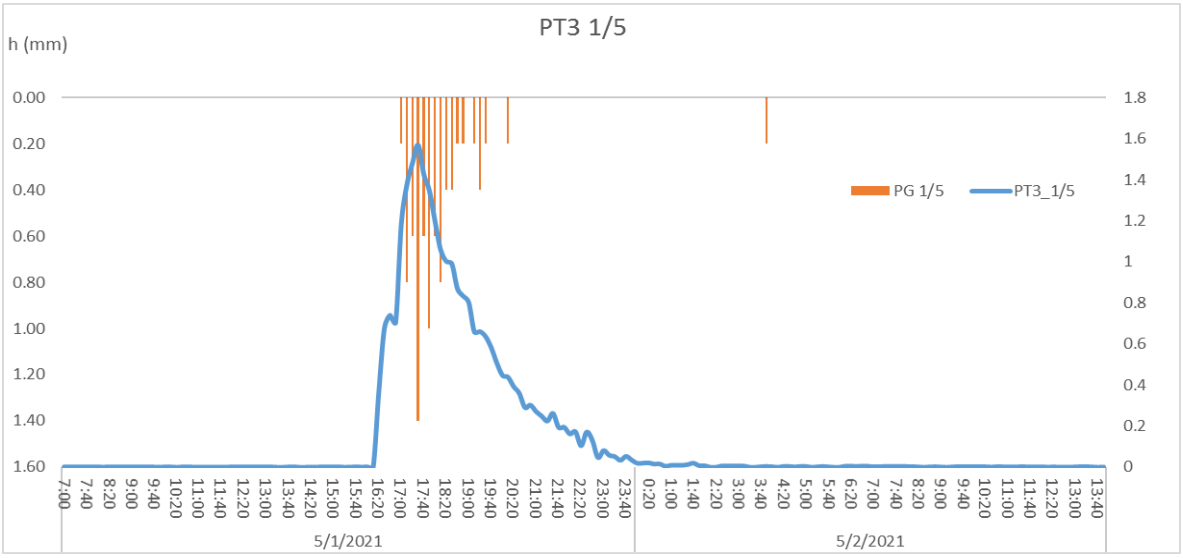
Annexe 09 Comparaison pluie et débit mesurés au point PT4 pour la pluie du 9/4/21



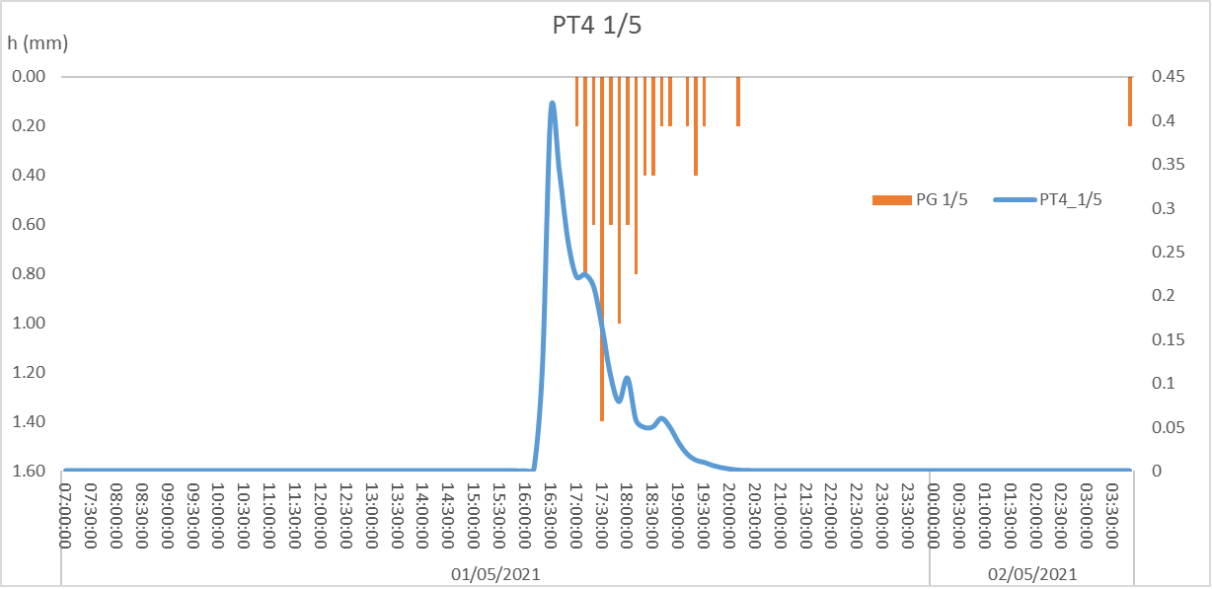
Annexe 10 Comparaison pluie et débit mesurés au point PT1 pour la pluie du 1/5/21 de la Mare Corbonne



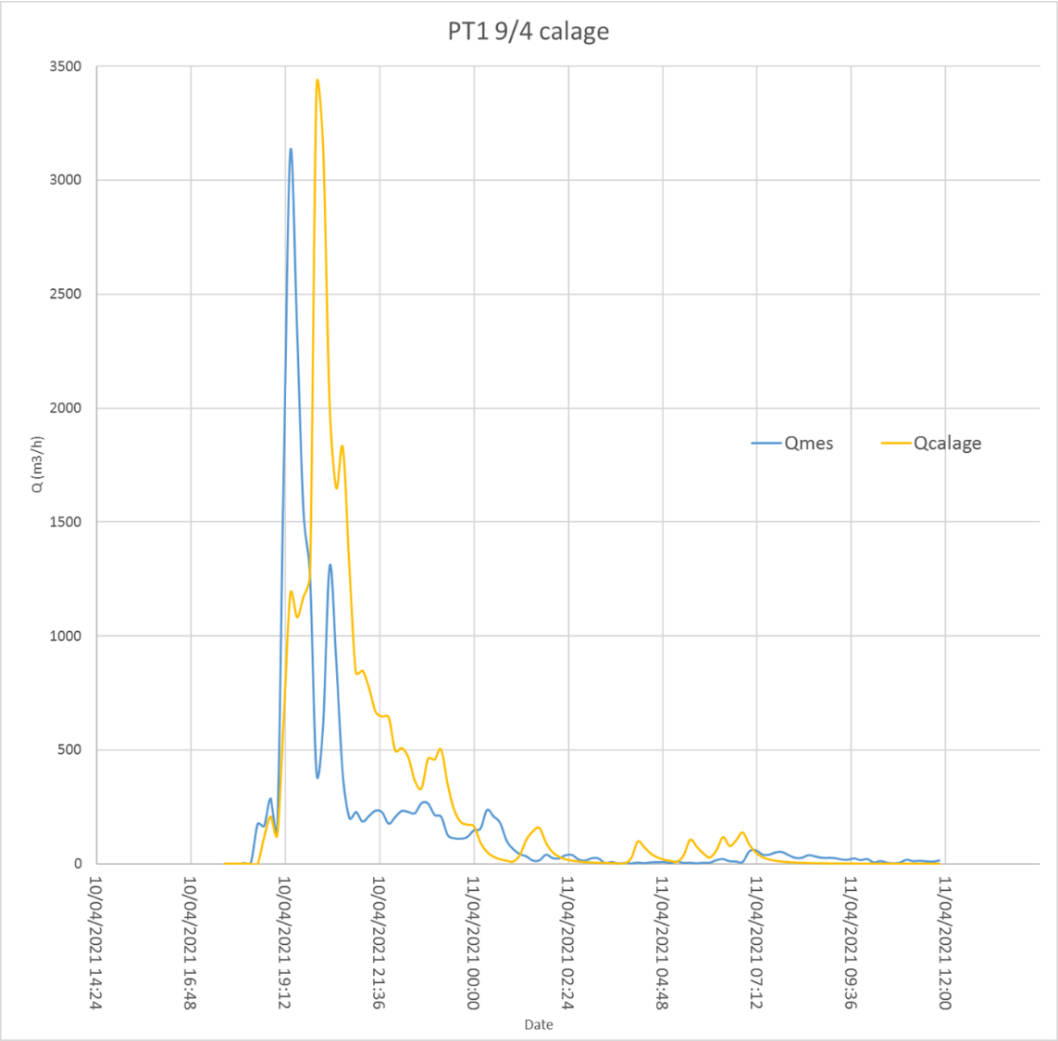
Annexe 11 Comparaison pluie et débit mesurés au point PT2 pour la pluie du 1/5/21 du pôle gare



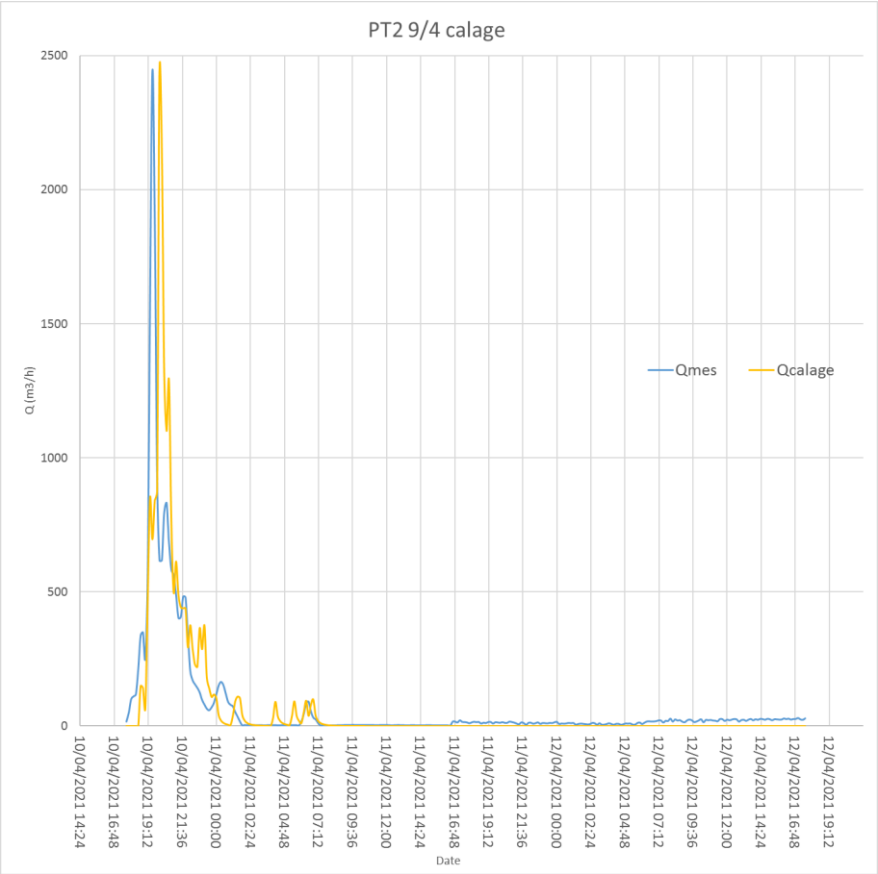
Annexe 12 Comparaison pluie et débit mesurés au point PT3 pour la pluie du 1/5/21 du pôle gare



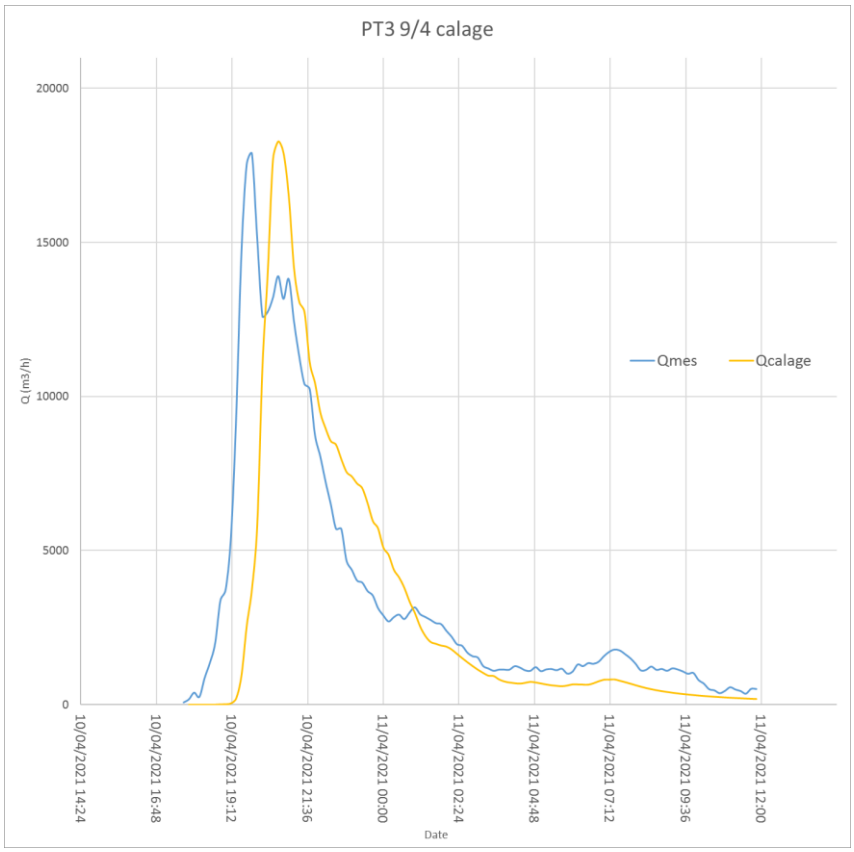
Annexe 13 Comparaison pluie et débit mesurés au point PT4 pour la pluie du 1/5/21 du pôle gare



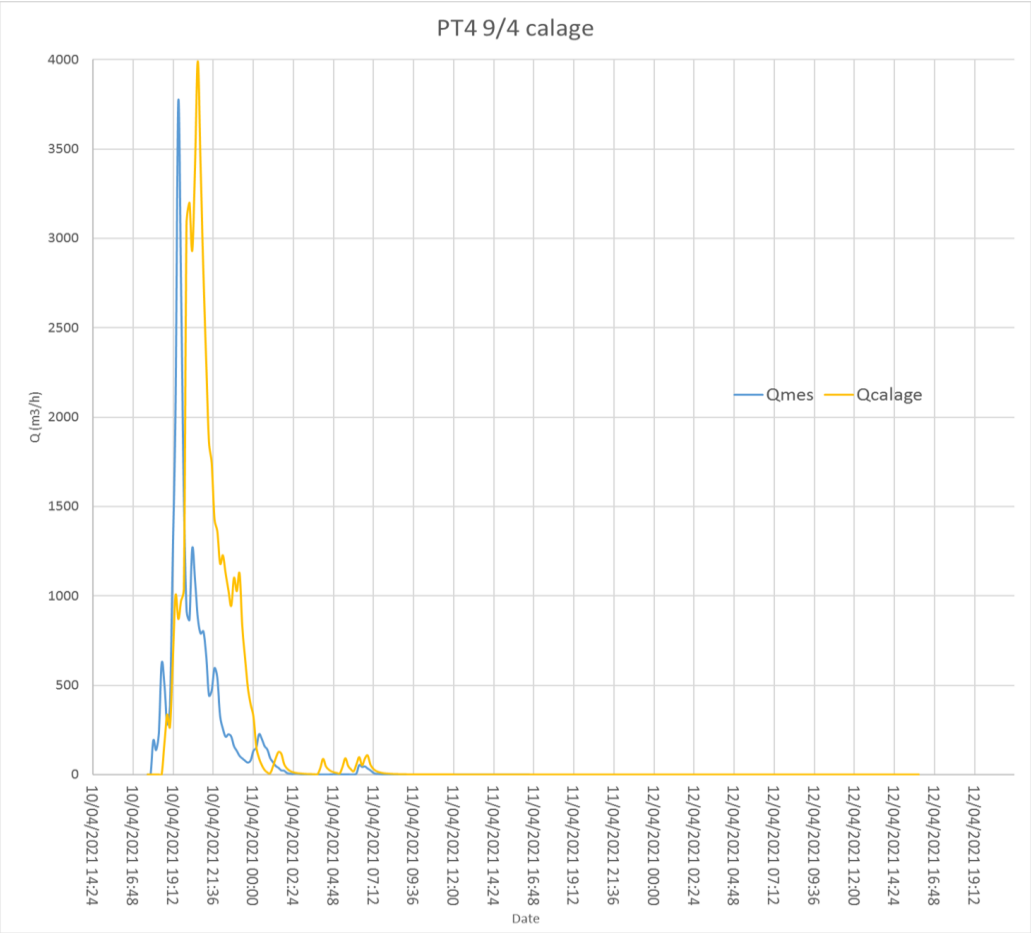
Annexe 14 Comparaison des hydrogrammes mesurés et calés pour le point de mesure PT1, pluie du 9/4/2021



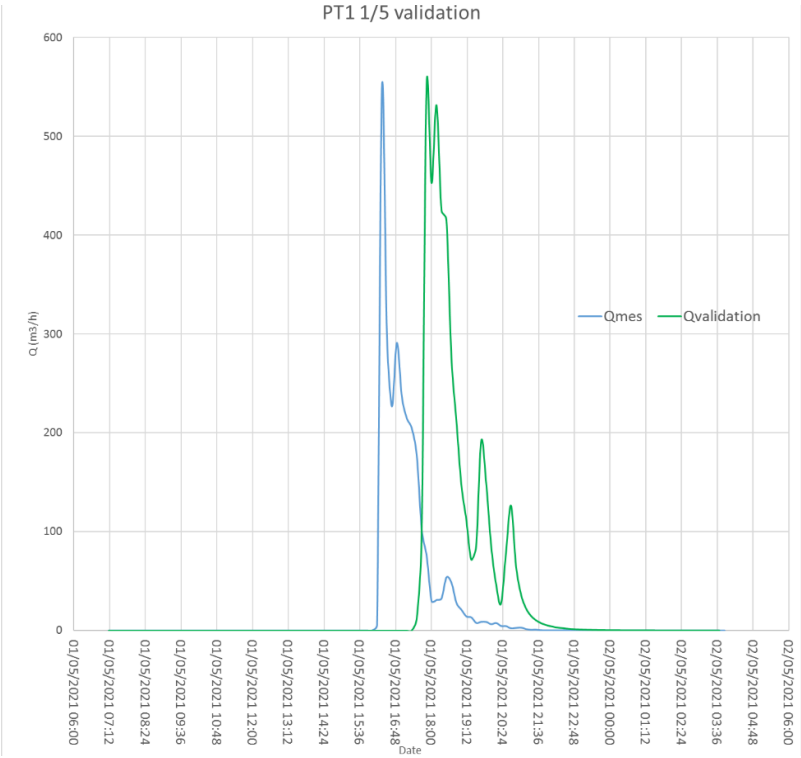
Annexe 015 Comparaison des hydrogrammes mesurés et calés pour le point de mesure PT2, pluie du 9/4/2021



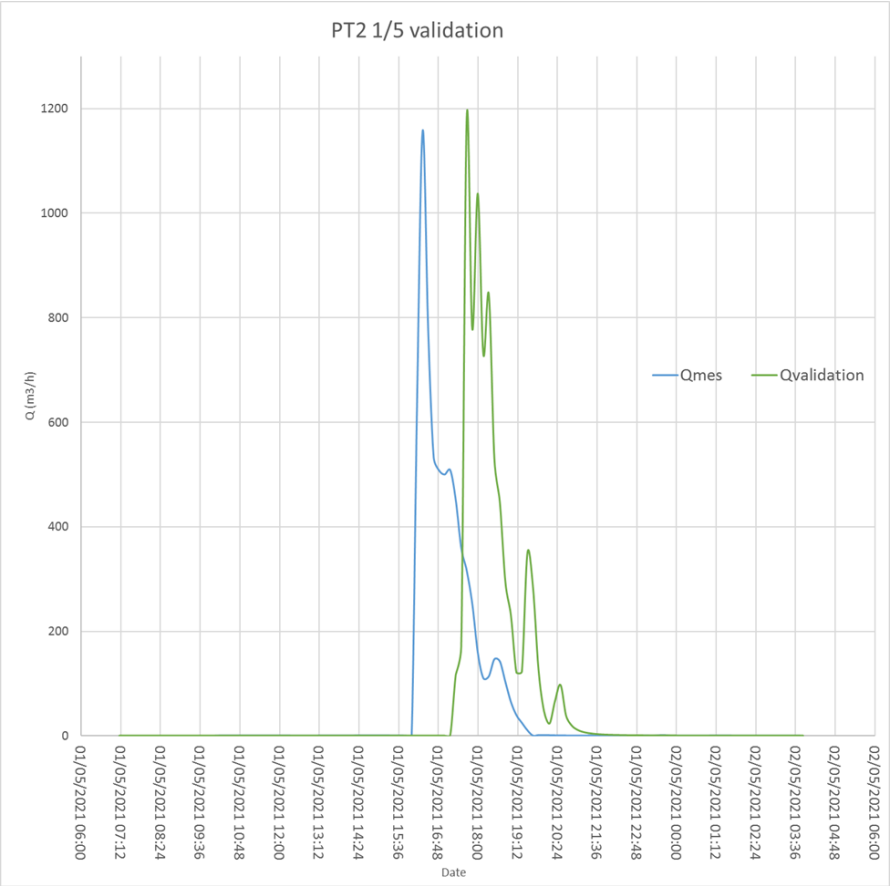
Annexe16 Comparaison des hydrogrammes mesurés et calés pour le point de mesure PT3, pluie du 9/4/2021



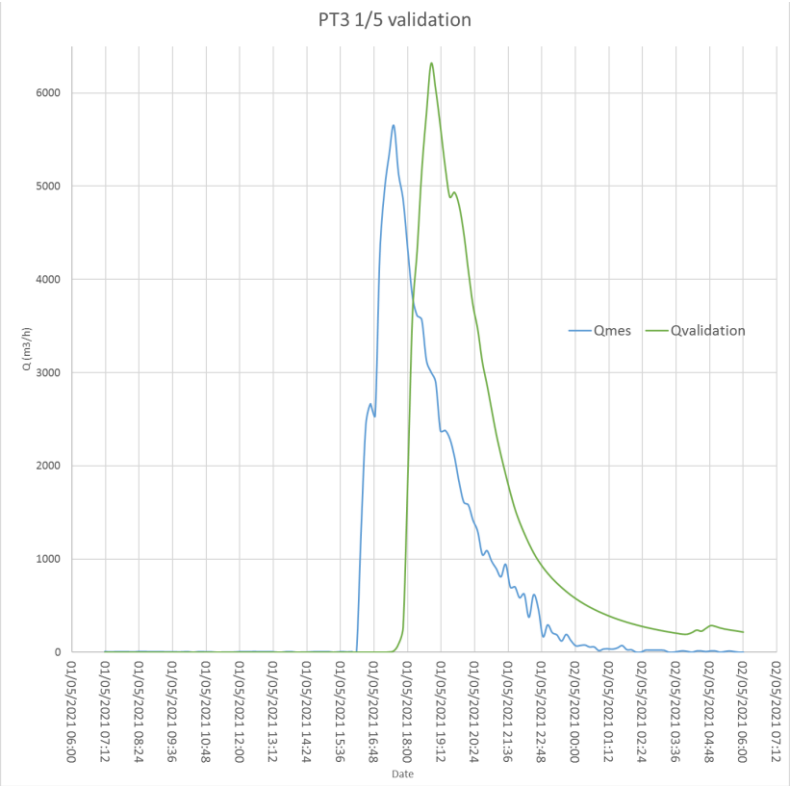
Annexe 17 Comparaison des hydrogrammes mesurés et calés pour le point de mesure PT4, pluie du 9/4/2021



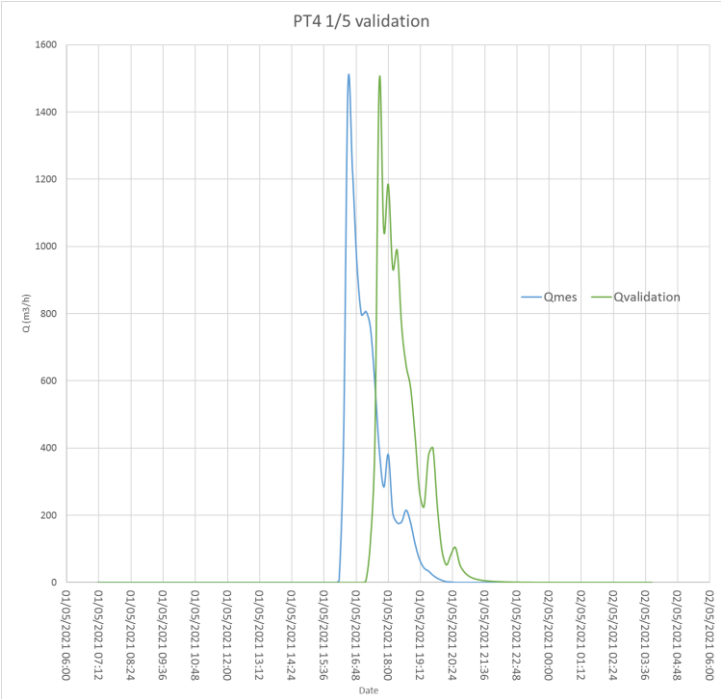
Annexe 18 Comparaison des hydrogrammes mesurés et validés pour le point de mesure PT1, pluie du 1/5/2021



Annexe 19 Comparaison des hydrogrammes mesurés et validés pour le point de mesure PT2, pluie du 1/5/2021



Annexe 20 Comparaison des hydrogrammes mesurés et validés pour le point de mesure PT3, pluie du 1/5/2021



Annexe 21 Comparaison des hydrogrammes mesurés et validés pour le point de mesure PT4, pluie du 1/5/2021

Annexe 22 Tableau récapitulatif des dates de la pointe des pluies de des débits simulés et mesurés pour les quatre points de mesure

point de mesure	pluie	date pointe pluie	date pointe débit simulé	date pointe débit mesuré
PT1	09-avr	10/04/2021 19:50	10/04/2021 20:00	10/04/2021 19:20
PT2		10/04/2021 19:50	10/04/2021 20:00	10/04/2021 19:30
PT3		10/04/2021 19:50	10/04/2021 20:40	10/04/2021 19:50
PT4		10/04/2021 19:50	10/04/2021 20:40	10/04/2021 19:30
PT1	01-mai	01/05/2021 17:30	01/05/2021 17:50	01/05/2021 16:20
PT2		01/05/2021 17:30	01/05/2021 17:40	01/05/2021 16:20
PT3		01/05/2021 17:30	01/05/2021 18:50	01/05/2021 17:30
PT4		01/05/2021 17:30	01/05/2021 17:40	01/05/2021 16:30

lag-time négatif (pointe de débit avant pointe de pluie)

Annexe 23 Tableau récapitulatif des lag-time entre les pluies et les débits simulés et mesurés pour les quatre points de mesure

point de mesure	pluie	lag-time (écart pointe débit-pointe pluie)	lag-time (écart pointe pluie - pointe débit mesuré)	écart Qsim-Qmes
PT1	09-avr	00:10:00	00:30:00	00:40:00
PT2		00:10:00	00:20:00	00:30:00
PT3		00:50:00	00:00:00	00:50:00
PT4		00:50:00	00:20:00	01:10:00
PT1	01-mai	00:20:00	01:10:00	01:30:00
PT2		00:10:00	01:10:00	01:20:00
PT3		01:20:00	00:00:00	01:20:00
PT4		00:10:00	01:00:00	01:10:00

lag-time négatif (pointe de débit avant pointe de pluie)

Tableau des valeurs de C, α, β, γ, δ

	C	α	β	γ	δ
REGION I					
10 ans	0,176	- 0,139	- 0,346	- 0,494	1,011
5 ans	0,185	- 0,143	- 0,348	- 0,497	1,018
2 ans	0,204	- 0,145	- 0,349	- 0,499	1,022
1 an	0,215	- 0,149	- 0,352	- 0,502	1,029
REGION II					
10 ans	0,172	- 0,130	- 0,341	- 0,487	0,997
5 ans	0,182	- 0,134	- 0,343	- 0,490	1,004
2 ans	0,189	- 0,145	- 0,349	- 0,499	1,022
1 ans	0,208	- 0,145	- 0,349	- 0,499	1,022
REGION III					
10 ans	0,188	- 0,099	- 0,328	- 0,479	0,961
5 ans	0,184	- 0,119	- 0,336	- 0,480	0,984
2 ans	0,191	- 0,127	- 0,340	- 0,485	0,994
1 an	0,211	- 0,125	- 0,338	- 0,484	0,991

$$K \text{ (minutes)} = C\, A^{\alpha}\, IMP^{\beta}\, I^{\gamma}\, L^{\delta}$$

A en ha
IMP en rapport de surface
I en m/m
L en centaines de mètres

Annexe 24 Calcul du lag-time K par la méthode de Desbordes [6] /p423 TSM juillet 1981

M. DESBORDES propose différents ajustements du paramètre K en fonction des caractéristiques du bassin versant et de celles de la pluie [2], [3], [4].

L'ajustement de K retenu dans le cas du programme RERAM [5] est le suivant :

$$K = 5{,}07\, A^{0{,}18}\, I^{-0{,}36}\, (1 + IMP)^{-1{,}9}\, L^{0{,}15}\, TP^{0{,}21}\, HP^{0{,}07}$$

avec K en minutes,
A surface en hectares,
I pente en cm/m,
IMP pourcentage revêtu (rapport de surfaces),
L longueur du bassin en mètres,
TP durée de la période de pluie intense en minutes,
HP hauteur de la pluie efficace en millimètres.

Annexe-25 Calcul du lag-time K méthode RERAM [6] /p417 TSM juillet 1981

Annexe 26 Tableau Récapitulatif des paramètres de calage initiaux et calés au point de mesure PT1

PT1			PI		* 20	
	%Imperm		Stock surf imperm (mm)	Stock surf perm (mm)	Largeur (m)	
	Calés	Initiales			Calés	Initiales
21_8	0.00%	0%			10960	548
S_Couasnon2_2	0.00%	0%			13820	691
S_Couasnon11_1	7.0%	10%	1.5	7.5	22920	1146
S_Couasnon11_2	57.0%	80%			19000	950
S_Parking_Geant	67.0%	95%			7940	397

Annexe 27 Tableau Récapitulatif des paramètres de calage initiaux et calés au point de mesure PT2

PT2			PI		* 25	
	%Imperm		Stock surf imperm (mm)	Stock surf perm (mm)	Largeur (m)	
	Calés	Initiales			Calés	Initiales
S_Couasnon9_Charles_Brune		82%			5050	202
S_Couasnon9_amont		90%	1.8	8	7050	282
S_Couasnon9_3	67.00%	85%			12375	495
S_Couasnon9_4	50.00%	75%			13150	526

Annexe 28 Tableau Récapitulatif des paramètres de calage initiaux et calés au point de mesure PT3

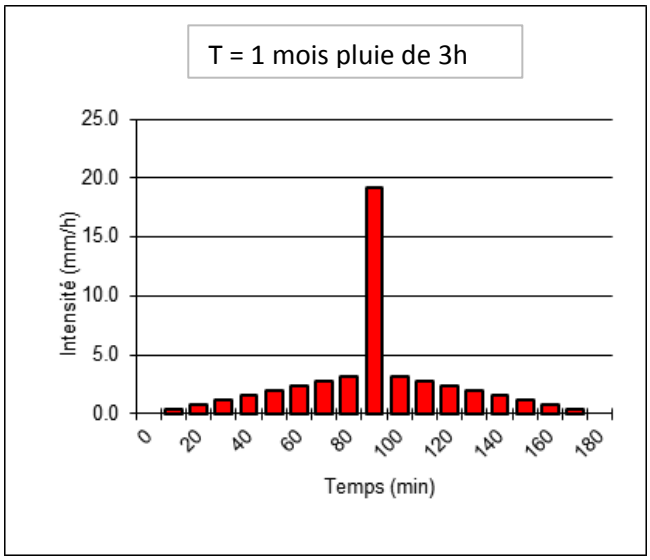
PT3			PI		/ 3	
	%Imperm		Stock surf imperm (mm)	Stock surf perm (mm)	Largeur (m)	
	Calés	Initiales			Calés	Initiales
21_9	68.0%	85%			248.67	746
S_Couasnon2_1	43.0%	60%			247	741
S_Couasnon3	73.0%	90%			460	1380
S_Couasnon4	43.0%	60%			349	1047
S_Couasnon5_1	58.0%	75%			258	774
S_Couasnon5_2	53.0%	70%			305.33	916
S_Couasnon5_3	68.0%	85%			341.67	1025
S_Couasnon6	63.0%	80%	1.5	5	133	399
S_Couasnon7	43.0%	60%			123.33	370
S_Couasnon8	58.0%	75%			230	690
S_Couasnon9_2	73.0%	90%			311	933
S_Couasnon9_5	58.0%	75%			203.67	611
S_Couasnon9_6	58.0%	75%			367.67	1103
S_Couasnon10	58.0%	75%			215	645
BR_Compa	73.0%	90%			45	135

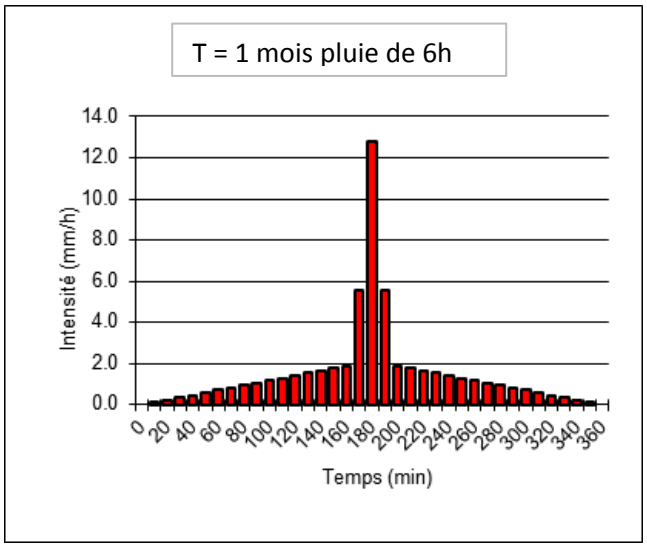
Annexe 29 Tableau Récapitulatif des paramètres de calage initiaux et calés au point de mesure PT4

PT4			PI		* 9	
	%Imperm		Stock surf imperm (mm)	Stock surf perm (mm)	Largeur (m)	
	Calés	Initiales			Calés	Initiales
21_6	39%	80%	1	5	11016	1224
21_7	33%	75%			8028	892

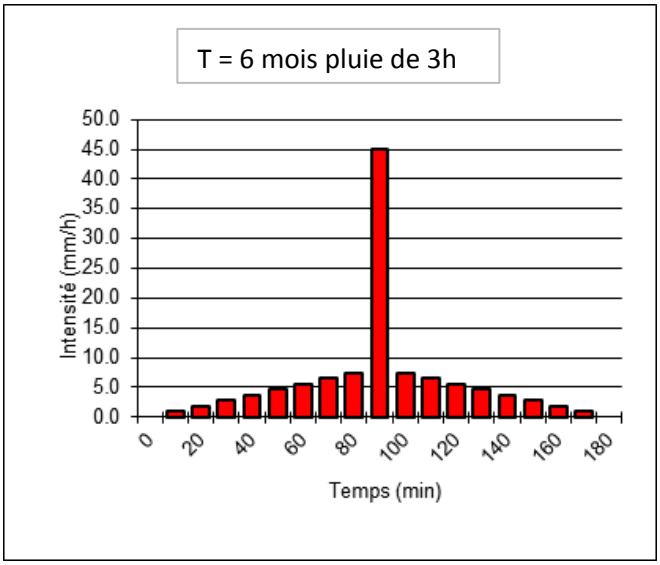
Annexe 30 Tableau Valeurs numériques des volumes et débits de pointe mesurés, simulés et validés pour les quatre points de mesure

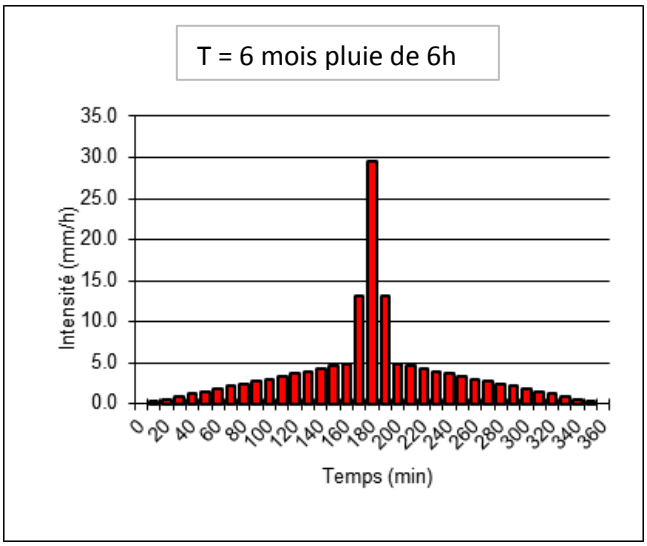
Valeurs numériques		PT1	PT2	PT3	PT4
mesure					
09-avr	Qmax (m3/h)	3126	2444	17867	3767
	V (m3)	3456	3157	64797	4412
01-mai	Qmax (m3/h)	549	1158	5652	1482
	V (m3)	452	1170	15408	1563
calage		**PT1**	**PT2**	**PT3**	**PT4**
09-avr	Qmax (m3/h)	3407	2437	18276	3978
	V (m3)	5076	3423	56793	8375
validation					
01-mai	Qmax (m3/h)	550.45	1182.21	6249.38	1488.44
	V (m3)	714.42	1284.04	18654.57	1768.76



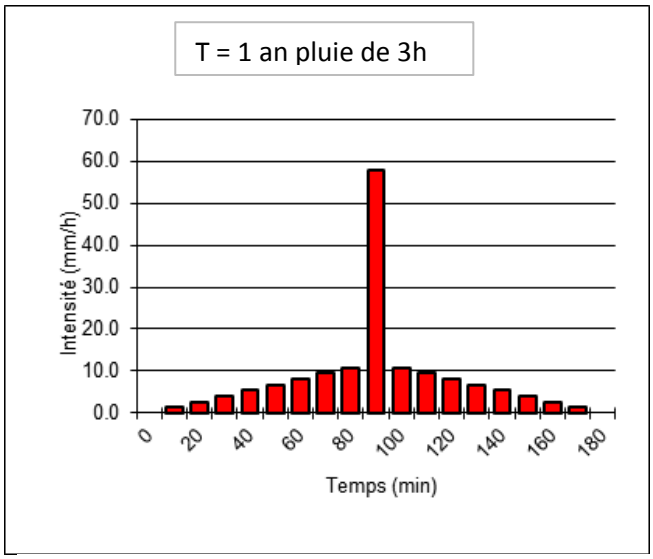


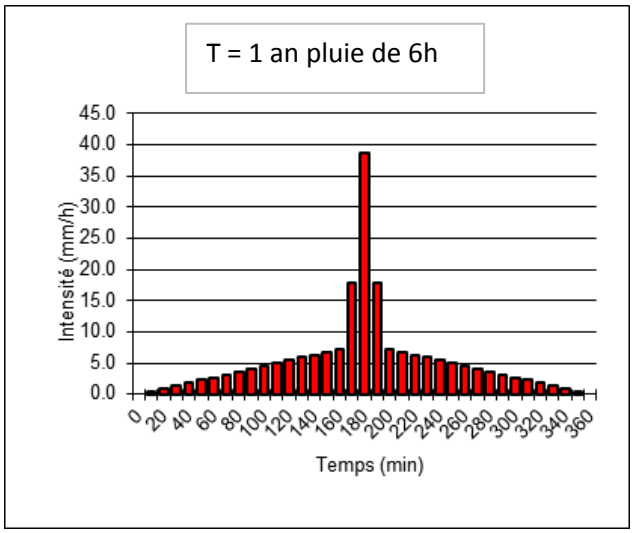
Annexe 31 Hyétogramme pluie de projet de période de retour 1 mois pour les pluies de 3h et 6h avec une période intense respective de 15 et 30 minutes



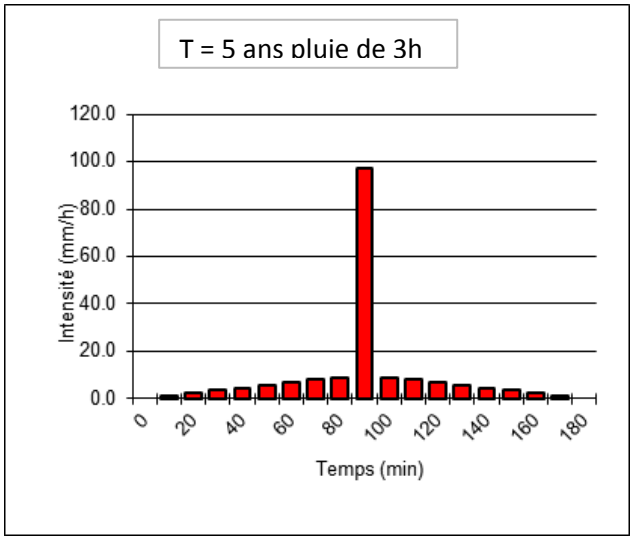


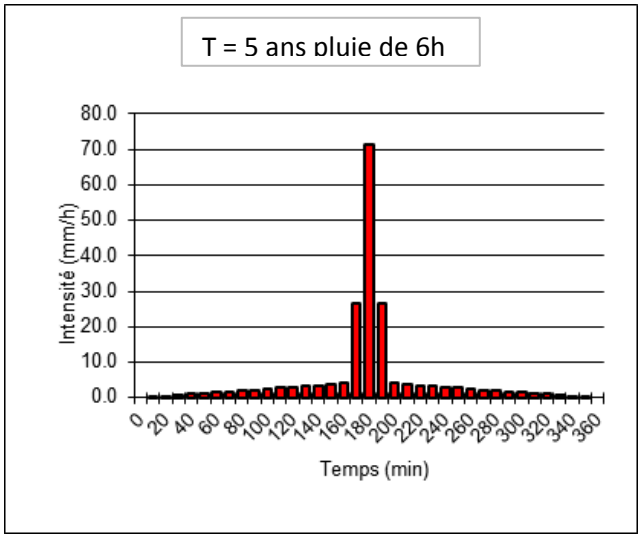
Annexe 32 Hyétogramme pluie de projet de période de retour 6 mois pour les pluies de 3h et 6h avec une période intense respective de 15 et 30 minutes



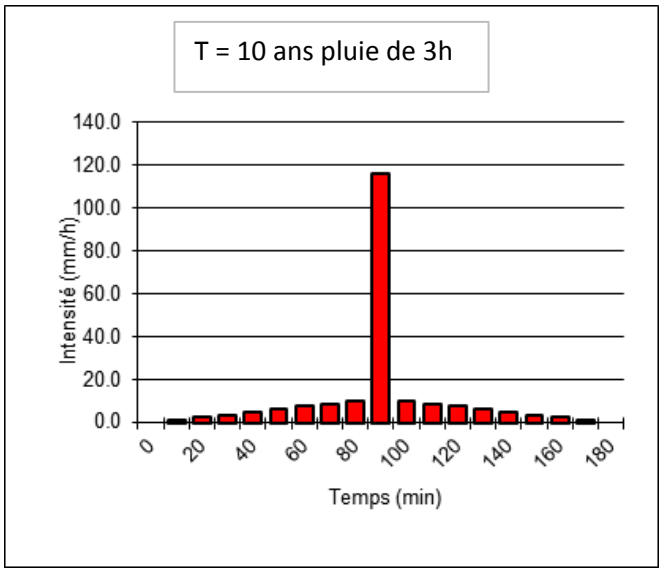


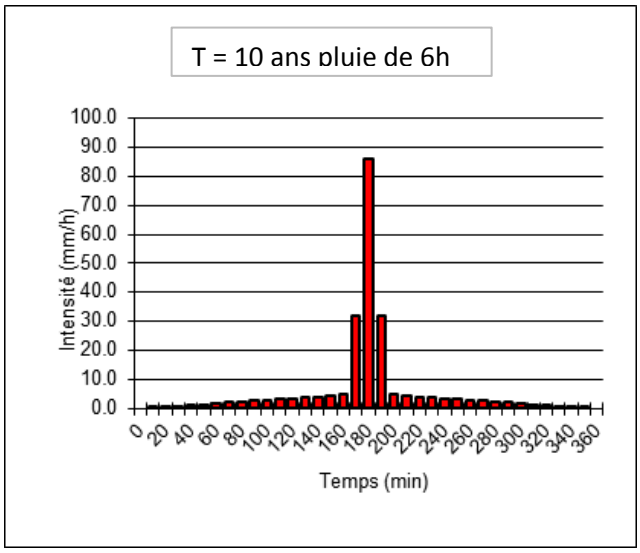
Annexe 33 Hyétogramme pluie de projet de période de retour 1 an pour les pluies de 3h et 6h avec une période intense respective de 15 et 30 minutes



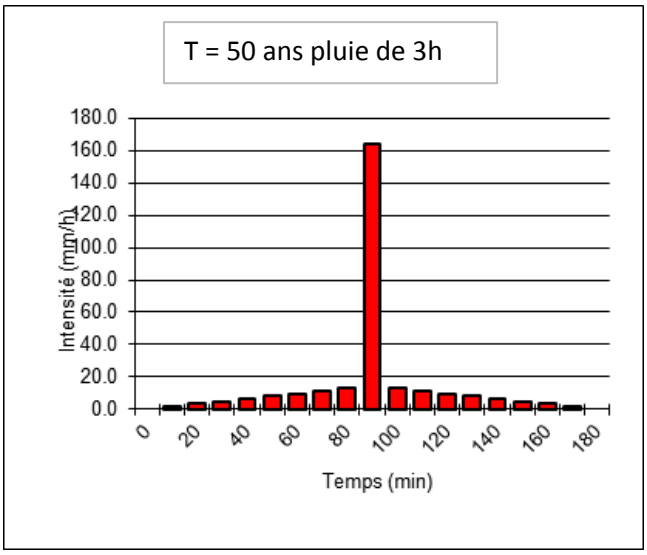


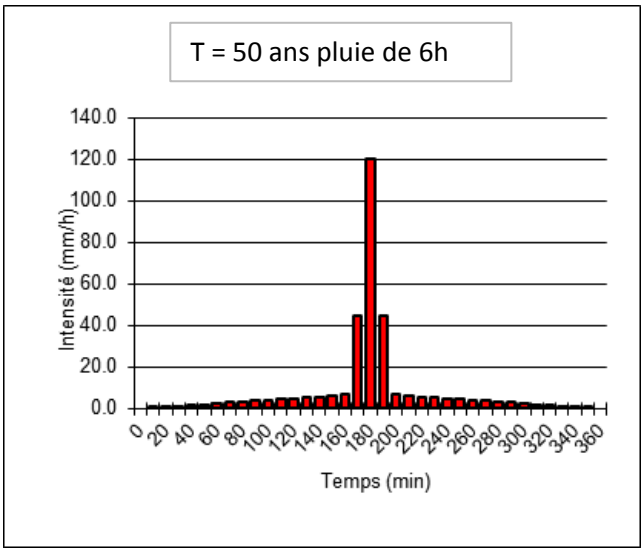
Annexe 34 Hyétogramme pluie de projet de période de retour 5 ans pour les pluies de 3h et 6h avec une période intense respective de 15 et 30 minutes



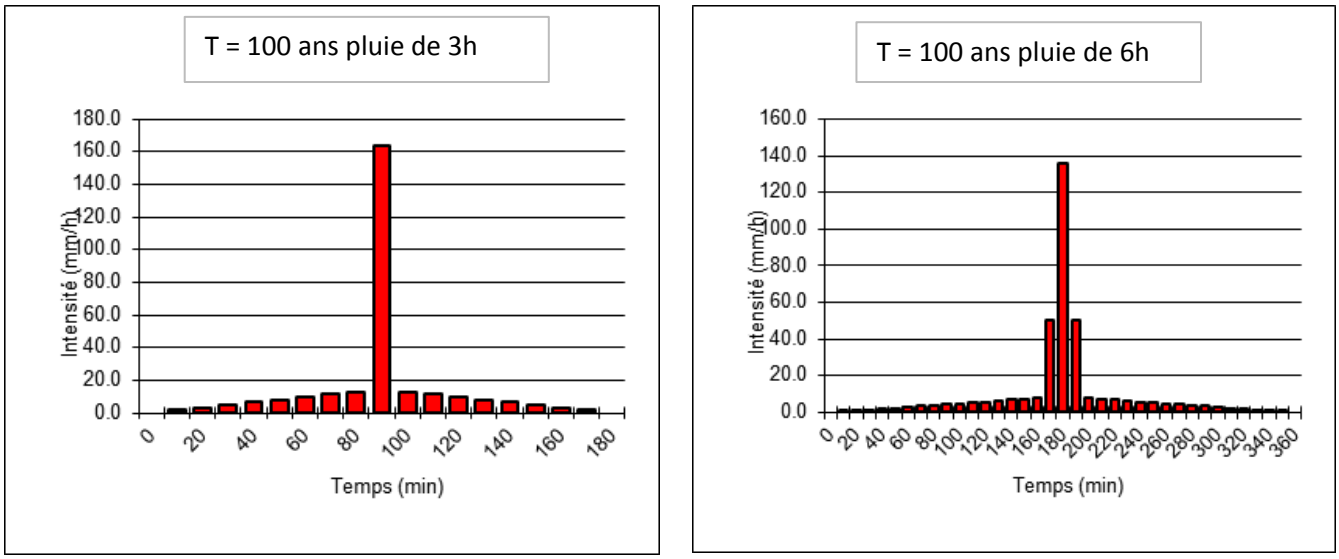


Annexe 35 Hyétogramme pluie de projet de période de retour 10 ans pour les pluies de 3h et 6h avec une période intense respective de 15 et 30 minutes

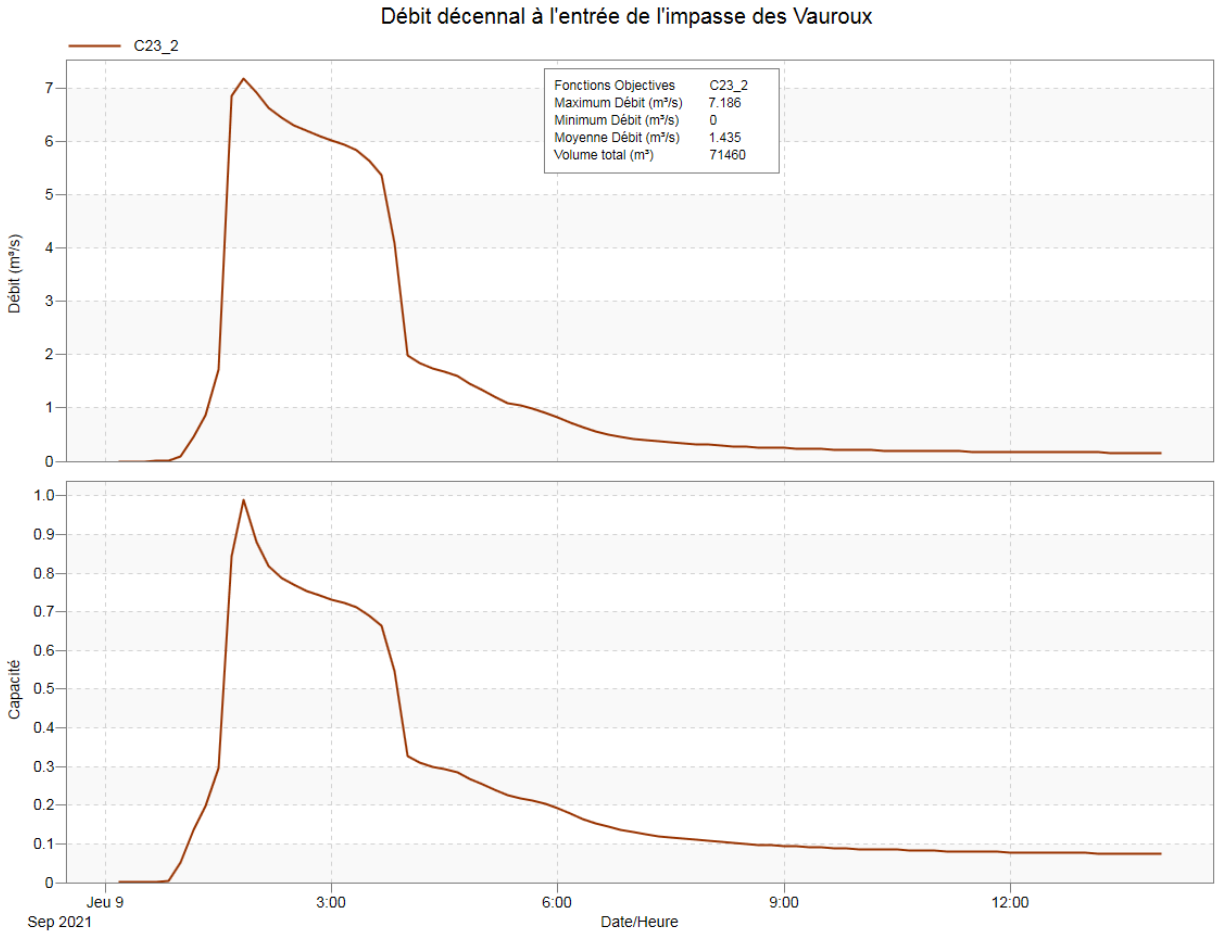




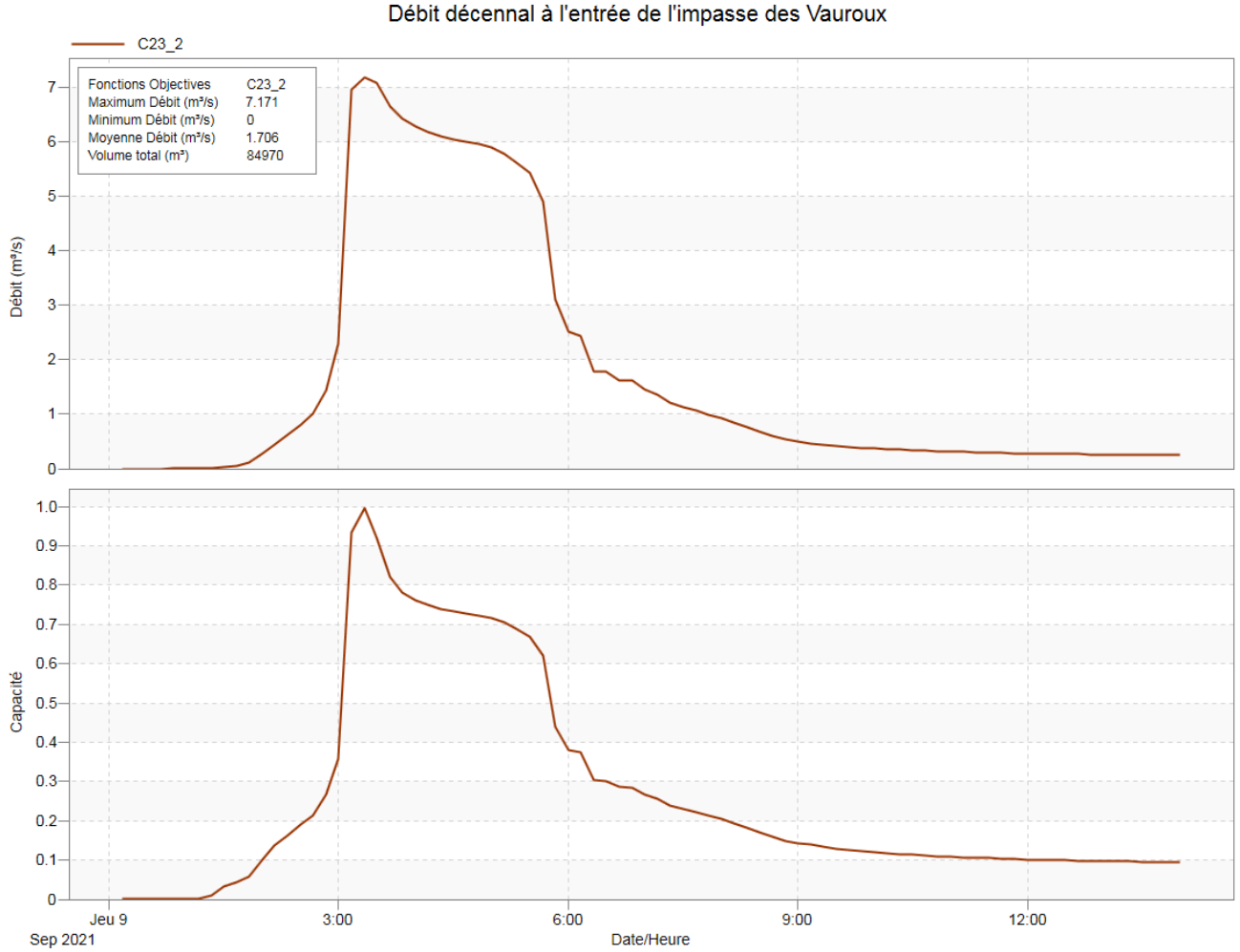
Annexe 36 Hyétogramme pluie de projet de période de retour 50 ans pour les pluies de 3h et 6h avec une période intense respective de 15 et 30 minutes



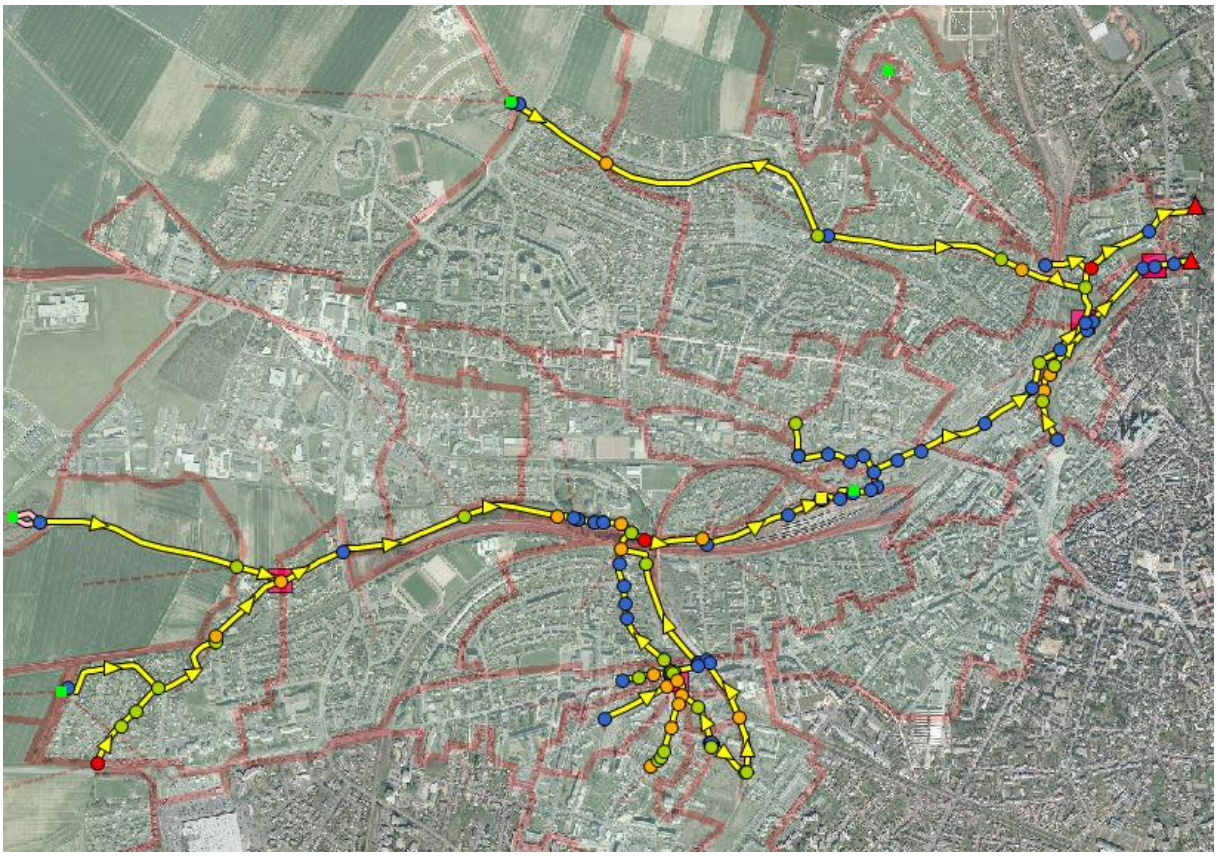
Annexe 37 Hyétogramme pluie de projet de période de retour 100 ans pour les pluies de 3h et 6h avec une période intense respective de 15 et 30 minutes



Annexe 38 Annexe Débits et capacité du tronçon en amont de l'impasse des Vauroux, pour une pluie décennale de 3h avec une période intense de 15min, Mainvilliers, Eure-et-Loir source PCSWMM



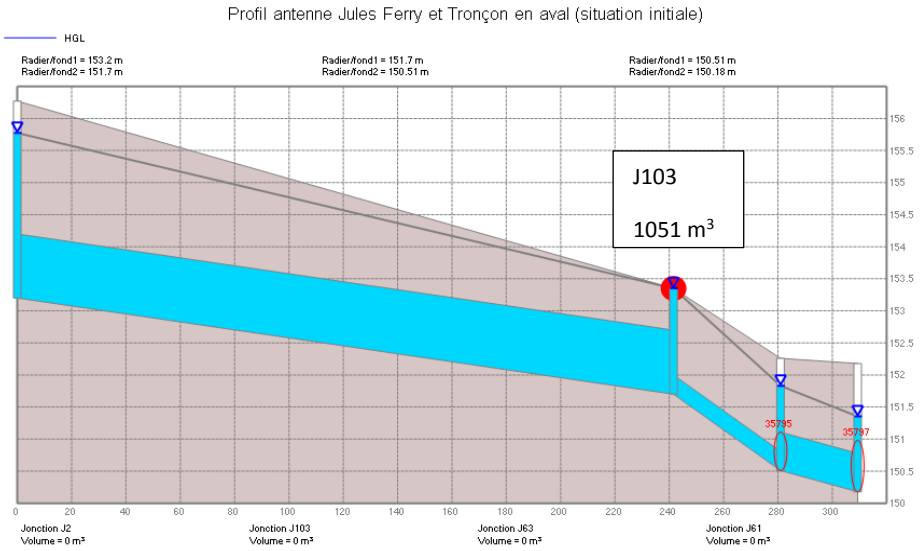
Annexe 39 Annexe Débits et capacité du tronçon en amont de l'impasse des Vauroux, pour une pluie décennale de 6h avec une période intense de 30min, Mainvilliers, Eure-et-Loir source PCSWMM



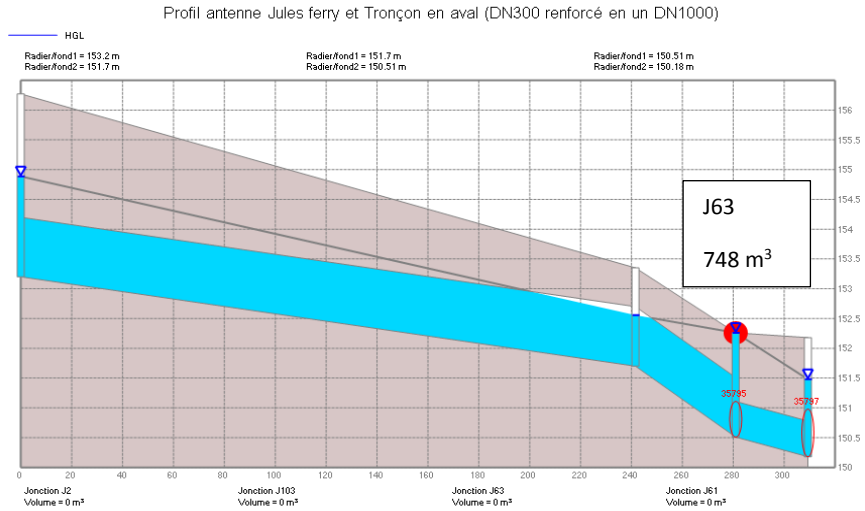
Annexe 40 Carte représentant les heures de débordement pour une pluie décennale, Chartres, France.

Annexe 41 Légende de la carte représentant les heures de débordement (Figure 40)

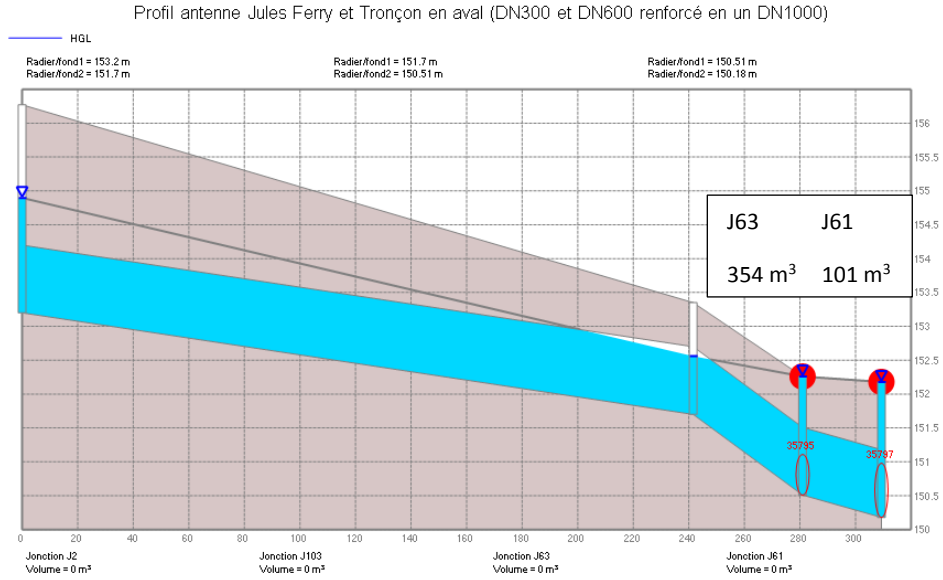
Légende Débordement (h ou min)	
0h	
0.6min <= débordement <= 18min	
18min <= débordement <= 1h	
débordement >=1h	



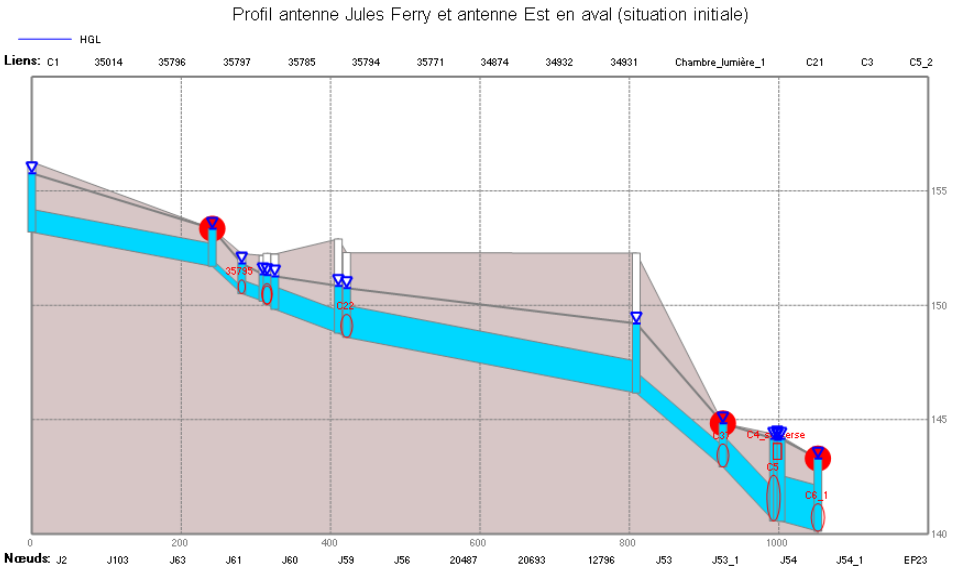
Annexe 42 Profil amont antenne Jules Ferry et tronçon en aval (lié au PT2) situation initiale, Lucé, France source PCSWMM



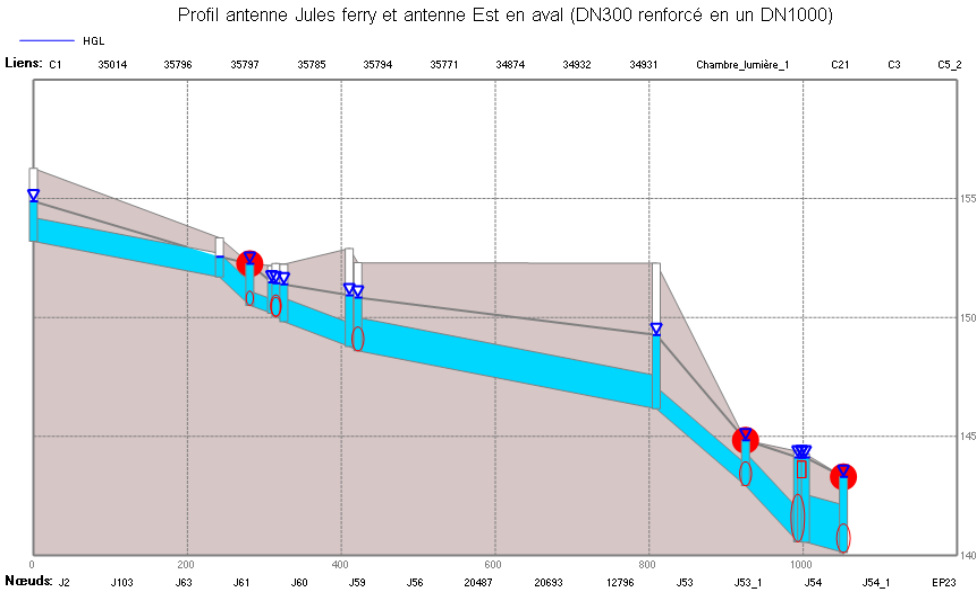
Annexe 43 Profil amont antenne Jules Ferry et tronçon en aval (lié au PT2) diamètre 300mm remplacé par un DN1000, Lucé, France



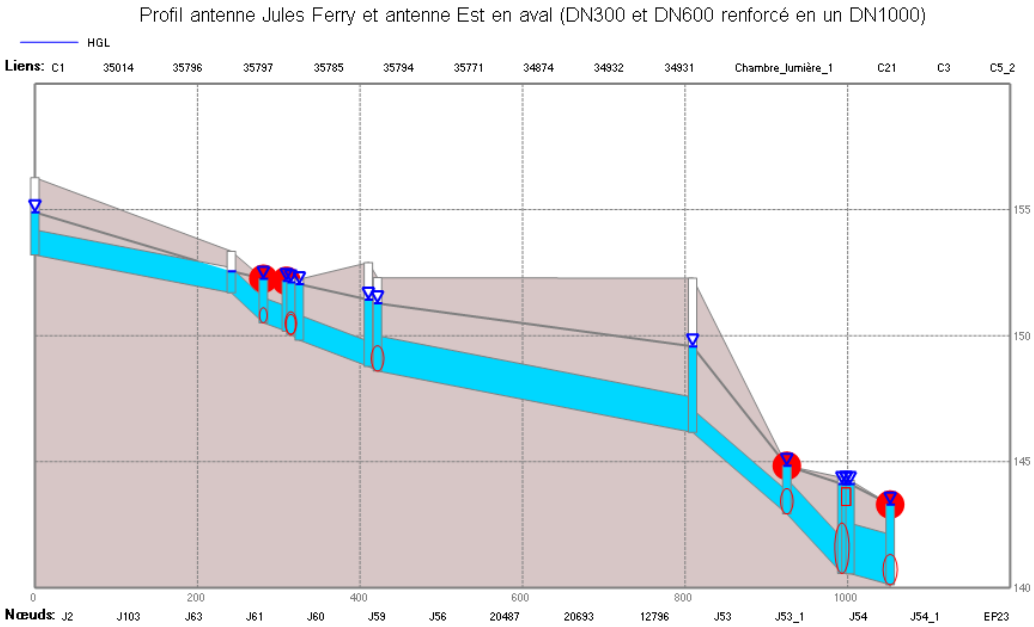
Annexe 44 Profil amont antenne Jules Ferry et tronçon en aval (lié au PT2) diamètre 300mm et 600mm remplacés par un DN1000, Lucé, France



Annexe 15 Profil en long aval antenne Lucé, en situation initiale, Lucé, France



Annexe 46 Profil en long aval antenne Lucé, renforcement diamètre 300mm remplacé par un DN1000, Lucé, France



Annexe 47 Profil en long aval antenne Lucé, renforcement diamètre 300mm et 600mm remplacés par un DN1000, Lucé, France

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES **Diplôme(s)** Ingénieur ENGEES par apprentissage **Spécialité** Hydraulique urbaine	
Auteur MEUDEC Florent	**Année** 2021
Titre Modélisation du réseau eau pluviale de Chartres et dimensionnement d'un bassin pluvial	
Nombre de pages 79 **Nombre de référence bibliographiques** 11	Texte 53 Annexes 26
Structure d'accueil **Maître de stage**	Chartres métropole / Chartres / Eure-et-Loir ISENMANN Gilles
Résumé Ce travail de fin d'étude expose la création d'un modèle sur le bassin versant du Couesnon, un ancien ruisseau urbain. A l'issue d'une campagne de mesure, ce modèle a été calé. Après al création de pluies de projets, le modèle a été exploité pour pré-dimensionner un bassin pluvial pour une pluie décennale	
Mots clés Modalisation hydraulique pluviale, pré-dimensionnement bassin, calage, pluies de projets	