



**HAL**  
open science

# Diagnostic et optimisation de la station anti crue de Vitry-sur-Seine d'un point de vue hydraulique et transport solide

Éva Fumagalli

► **To cite this version:**

Éva Fumagalli. Diagnostic et optimisation de la station anti crue de Vitry-sur-Seine d'un point de vue hydraulique et transport solide. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2017. dumas-01667741

**HAL Id: dumas-01667741**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01667741>**

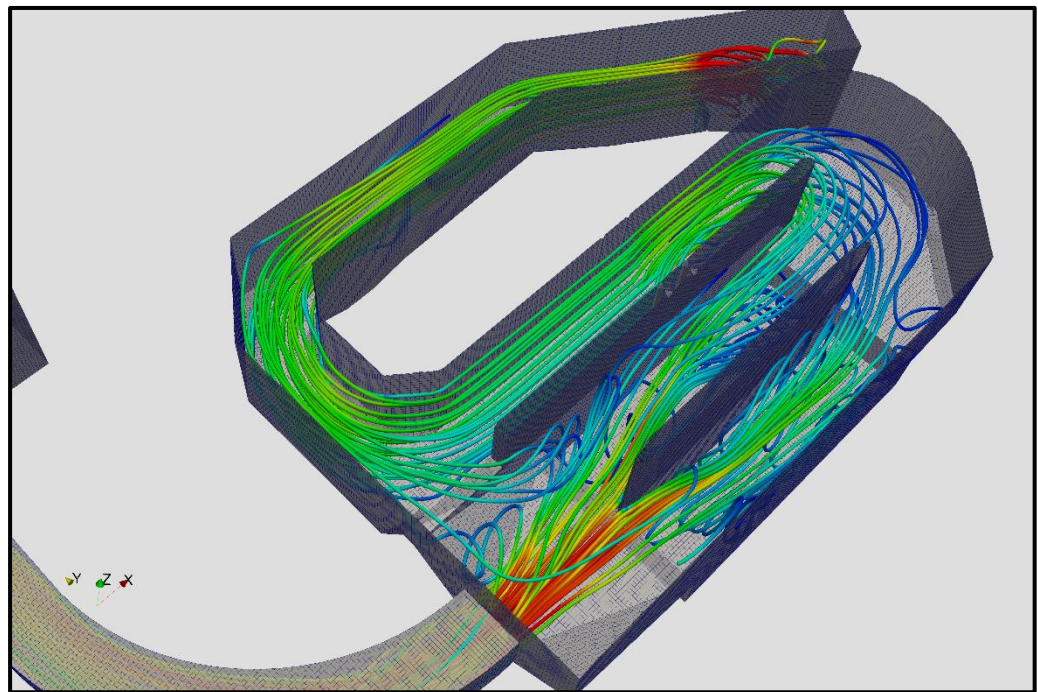
Submitted on 10 Jan 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Diagnostic et optimisation de la station anti crue de Vitry sur Seine d'un point de vue hydraulique et transport solide

*Stage effectué du 9 janvier au 30 juin 2017*



Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme d'ingénieur de l'ENGEES

Fumagalli Eva  
Promotion Paris



## Résumé

Ce présent mémoire a été écrit pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de l'ENGEES. Il porte sur le diagnostic et l'optimisation d'une station anti-crue se trouvant à Vitry-sur-Seine à travers une modélisation 3D sous OpenFoam. La modélisation s'appuie sur des outils usuels : une géométrie avec un maillage et les équations de Navier-Stokes. Il y aura également l'utilisation d'un milieu poreux pour modéliser un dégrilleur. L'influence aval ne sera pas modélisée via une géométrie mais à l'aide d'une condition aux limites dépendante des paramètres de sortie. Enfin, un solveur de suivi lagrangien développé par Isenmann (2016) servira à modéliser le transport solide. Ces différents outils seront donc utilisés pour le cas de la station anti-crue de Vitry-sur-Seine, station de récupération des eaux pluviales. Le but étant de diagnostiquer les performances de la station et son fonctionnement hydraulique en utilisant les différents outils mentionnés.

**Mots-clés :** Transport solide, OpenFoam, Modélisation 3D, Milieu Poreux, InterFoam, Swak4Foam.

## Abstract

This memory is written for the engineering degree of ENGEES. It deals with the diagnosis and optimization of a flood protection station in Vitry-sur-Seine through a 3D modelling on OpenFoam. Some usual tools are used: a geometry with a meshing and the equations of Navier-Stokes. There is also a use of porous media in order to model a trash screen. The downstream influence is not modeled with a geometry but with a boundary conditions depending on exit parameters. A solver of lagrangian tracking developed by Isenmann (2016) is use to model the sedimentation. These tools are used for the flood protection station in Vitry-sur-Seine in order to diagnose the performance of the station and its hydraulic functioning.

**Key-words:** Sediment transport, OpenFoam, 3D modelling, Porous media, InterFoam, Swak4Foam.



## Remerciements

En premier lieu, je voudrais remercier le **laboratoire ICUBE** pour m'avoir permis d'effectuer mon travail de fin d'étude.

Je voudrais remercier **M. Gilles Isenmann** pour avoir accepté d'être mon maître de stage et pour son aide tout au long de ses 6 mois. Je remercie également **M. José Vazquez** pour avoir été mon référent école et m'avoir également aidé sur certaines difficultés rencontrées au cours de ce stage.

Je remercie **Xavier Jurado**, mon collègue de bureau, pour les nombreux coups de main, les discussions et les petites pauses au laboratoire à observer des céréales flotter sur l'eau.

Pour finir, je remercie **Nicolas Reiminger**, également mon collègue de bureau et désormais bien plus pour tous les engagements pris ces derniers mois, pour son soutien indéfectible et ses nombreux conseils.



# Sommaire

RESUME .....	3
ABSTRACT .....	3
REMERCIEMENTS .....	5
SOMMAIRE .....	7
TABLE DES FIGURES .....	9
TABLE DES TABLEAUX .....	9
LISTE DES SYMBOLES ET ABREVIATIONS .....	11
INTRODUCTION.....	13
<b>1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE.....</b>	<b>15</b>
1.1. CONTEXTE DE LA MODELISATION 3D .....	15
1.2. CONTEXTE DE L'ETUDE.....	15
1.3. OBJECTIFS DE L'ETUDE.....	18
<b>2. MATERIELS ET METHODE.....</b>	<b>19</b>
2.1. DESCRIPTION DU MODELE .....	19
2.1.1. Calcul de l'écoulement hydrodynamique.....	19
2.1.2. Calcul du transport solide .....	21
2.2. CREATION DE LA SIMULATION .....	23
2.2.1. Choix de la géométrie et des conditions aux limites .....	23
2.2.2. Modélisation du dégrilleur.....	23
2.2.3. Prise en compte de l'influence aval du siphon .....	24
2.2.5. Conditions initiales et caractéristiques des particules.....	28
<b>3. PHASE 1 : DIAGNOSTIC DE L'OUVRAGE.....</b>	<b>29</b>
3.1. SITUATION « HORS CRUE » .....	29
3.1.1. Ecoulement hydrodynamique.....	29
3.1.1.1. Caractéristique de la chambre à sable .....	29
3.1.1.2. Caractéristique du by-pass des ouvrages de traitements .....	32
3.1.1.3. Caractéristique de la surverse de sécurité vers T5 .....	33
3.1.1.4. Cas du dégrilleur en panne.....	33
3.1.1.5. Loi hauteur/débit pour l'évacuation vers l'ouvrage T5 .....	34
3.1.2. Transport solide .....	36
3.2. SITUATION « CRUE » .....	42
3.2.1. Ecoulement hydrodynamique.....	42
3.1.2. Transport solide .....	43
<b>4. PHASE 2 : OPTIMISATION DE L'ÉCOULEMENT ET DE LA DEPOLLUTION.....</b>	<b>47</b>
4.1. MODIFICATION DE LA GEOMETRIE .....	47
4.2. ÉCOULEMENT HYDRODYNAMIQUE .....	48
4.3. TRANSPORT SOLIDE.....	50
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>53</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>55</b>
<b>ANNEXE.....</b>	<b>57</b>
<b>TABLE DES ANNEXES .....</b>	<b>57</b>





## Table des figures

FIGURE 1.1 - EMLACEMENT DE LA STATION ANTI-CRUE .....	16
FIGURE 1.2 - SYNOPTIQUE DE LA STATION .....	17
FIGURE 1.3 - PROFIL EN LONG DE LA STATION.....	18
FIGURE 2.1 - BILAN DE FORCES APPLIQUE A UNE PARTICULE.....	22
FIGURE 2.2 - PROFIL EN LONG DU SIPHON.....	25
FIGURE 2.3 - Q=F(H) POUR LES DIFFERENTES COURBES DE REMOUS AU NIVEAU DU REJET EN SEINE.....	27
FIGURE 3.1 - DESCRIPTION DE LA CHAMBRE A SABLE.....	30
FIGURE 3.2 - LIGNE DE COURANT POUR LE DEBIT DE DIMENSIONNEMENT (0.9M <sup>3</sup> /s).....	31
FIGURE 3.3 - LIGNES DE COURANTS DU DEBIT DECENNAL D'ETE FUTUR (3.2M <sup>3</sup> /s) .....	32
FIGURE 3.4 - LIGNE DE COURANTS LORSQUE LE DEGRILLEUR EST EN PANNE (0.9M <sup>3</sup> /s) .....	34
FIGURE 3.5 - QMOYEN = F(HAUTEUR D'EAU).....	35
FIGURE 3.6 - TAUX D'ABATTEMENT EN FONCTION DU DIAMETRE DES PARTICULES .....	37
FIGURE 3.7 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 285 MICRONS.....	38
FIGURE 3.8 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 200 MICRONS.....	38
FIGURE 3.9 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 157 MICRONS.....	38
FIGURE 3.10 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 104 MICRONS.....	38
FIGURE 3.11 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 72 MICRONS.....	39
FIGURE 3.12 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE DE 50 MICRONS.....	39
FIGURE 3.13 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 23 MICRONS.....	39
FIGURE 3.14 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 7 MICRONS.....	39
FIGURE 3.15 - ZONES D'INJECTION POUR LE TEST DE LA REMISE EN SUSPENSION .....	40
FIGURE 3.16 - LIGNES DE COURANTS POUR UN DEBIT DE 0.5M <sup>3</sup> /S EN SITUATION "CRUE" .....	42
FIGURE 3.17 - COMPARAISON DU TAUX D'ABATTEMENT EN SITUATION EN CRUE ET HORS CRUE POUR LE DEBIT DE 0.5M <sup>3</sup> /S.....	43
FIGURE 3.18 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 285 MICRONS.....	44
FIGURE 3.19 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 200 MICRONS.....	44
FIGURE 3.20 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 157 MICRONS.....	44
FIGURE 3.21 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 104 MICRONS.....	44
FIGURE 3.22 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 72 MICRONS.....	44
FIGURE 3.23 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 50 MICRONS.....	44
FIGURE 3.24 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 23 MICRONS.....	45
FIGURE 3.25 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 7 MICRONS.....	45
FIGURE 4.1 - GEOMETRIE OPTIMISE VUE DE 3/4.....	47
FIGURE 4.2 - GEOMETRIE OPTIMISE VUE DE DESSUS .....	48
FIGURE 4.3 - LIGNES DE COURANT POUR LE DEBIT DE 0.9M <sup>3</sup> /S .....	49
FIGURE 4.4 - LIGNES DE COURANT POUR LE DEBIT DE 3.2M <sup>3</sup> /S .....	49
FIGURE 4.5 - COMPARAISON DU TAUX D'ABATTEMENT EN FONCTION DE LA VITESSE DE CHUTE .....	50

## Table des tableaux

TABLEAU 2.1 - CARACTERISTIQUES DE LA CANALISATION DN1800 EN FONCTION DU DEBIT.....	25
TABLEAU 3.1 - DEBIT DE FONCTIONNEMENT, DIAGNOSTIC DE LA CHAMBRE A SABLE.....	29
TABLEAU 3.2 - REPARTITION DU DEBIT DANS LA CHAMBRE A SABLE .....	30
TABLEAU 3.3 - REPARTITION ENTRE LE BY-PASS ET LA CHAMBRE A SABLE.....	32
TABLEAU 3.4 - REPARTITION ENTRE LA STATION ET LE COLLECTEUR T5.....	33
TABLEAU 3.5 - GAMME DE VITESSE DE CHUTE .....	36
TABLEAU 3.6 - POURCENTAGE DE DEPOT DANS LA CONDUITE AMONT POUR LA GAMME DE DEBIT DE FONCTIONNEMENT DE LA CHAMBRE A SABLE .....	40



# Liste des symboles et abréviations

## Symbole :

Cd : Coefficient de traînée.  
 $d^*$  : Diamètre adimensionnel d'une particule.  
 $d_p$  : Diamètre spécifique à une particule.  
g : Accélération de la pesanteur ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ).  
P : Pression (Pa).  
Ob : Obstruction des barreaux verticaux.  
U : Vitesse de l'écoulement.  
t : Temps  
 $w_s$  : Vitesse de chute (m/h).

## Sigles :

BTKE : Bed Turbulent Kinetic Energy.  
BSS : Bed Shear Stress.  
DN : Diamètre nominal  
DSEA 94 : Conseil départemental du Val-de-Marne.  
MES : Matières en suspension.  
NGF : Nivellement Général de la France.

## Lettre grecque :

$\xi$  : Paramètre d'ajustement du critère BTKE.  
 $\rho$  : Masse volumique de l'eau ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ).  
 $\rho_p$  : Masse volumique d'une particule ( $\text{kg/m}^3$ ).  
 $\mu$  : Viscosité dynamique de l'eau ( $\text{kg/m/s}$ ).  
 $\nu$  : Viscosité cinématique de l'eau ( $\text{m}^2/\text{s}$ ).  
 $\omega$  : Taux de dissipation spécifique.



## Introduction

Les réseaux d'assainissement possèdent de nombreux ouvrages ayant différents rôles. Certains ont pour but de protéger la ville contre les inondations et d'autres permettent de traiter la pollution des eaux usées ou pluviales. Le fonctionnement de ces ouvrages est parfois étudié à l'aide de modélisation 3D. Dans le Val de Marne, la direction des services de l'environnement et de l'assainissement (DSEA 94) souhaite mettre en place une station anti-crue au niveau de Vitry-sur-Seine. En effet, il existe des infiltrations de la Seine dans le réseau d'eaux usées lorsque celle-ci est en crue. Cette station anti crue devra également servir à dépolluer les eaux de pluies avant le rejet dans la Seine. En effet, les eaux de ruissellement peuvent contenir une quantité conséquente de polluants. Ces polluants proviennent des routes (hydrocarbures), de l'érosion des toitures (métaux lourds), il y a aussi des macro-polluants correspondant aux déchets dans les rues (Kafi-Beny-Ahia, 2006). Pour traiter ces eaux, un dégrillage et une décantation permettent d'éliminer une quantité importante de polluants (Dufresne *et al*, 2009b). En effet, une majorité des métaux lourds est adsorbée par les matières en suspensions (Bertrant-Krajewski, 2006). La récupération des matières en suspensions permet alors de dépolluer l'eau. Les matières en suspensions peuvent être récupérées par un dégrilleur ou une chambre à sable par exemple.

Le DSEA 94 et le laboratoire ICUBE ont effectué un partenariat de recherche afin de connaître le fonctionnement de la station en utilisant un modèle numérique mis au point par Isenmann (2016). L'objectif est d'utiliser un modèle numérique couplant le calcul de l'écoulement hydrodynamique et du transport solide dans les bassins d'orage afin de diagnostiquer et d'optimiser la dépollution au sein de la station anti crue de Vitry-sur-Seine. Le fonctionnement hydraulique de la station sera également diagnostiqué. La station fonctionnera de la manière suivante : Lorsque la Seine n'est pas en crue, l'écoulement se fera de manière gravitaire après un passage par un dégrilleur et une chambre de dessablage, si la Seine est en crue, la vidange s'effectuera par pompage avec le même traitement au préalable.

Afin d'étudier cette station, des outils de modélisation particuliers seront utilisés. En effet, le dégrilleur sera modélisé à l'aide d'un milieu poreux. Le rejet en Seine se fait à l'aide d'un siphon. La Seine s'infiltré par ce siphon et il y a donc une influence au niveau de la station. Le siphon ne sera pas modélisé afin de gagner du temps de calcul et l'influence aval sera modélisée sous la forme d'équation. Enfin, le transport solide sera modélisé à l'aide d'un solveur développé par Isenmann (2016).

Le rapport sera découpé en quatre parties : une première présentant le contexte de l'étude, une deuxième décrivant les outils utilisés, une troisième concernant le diagnostic de la station et enfin une dernière décrivant l'optimisation de la station.



# 1. Contexte et objectifs de l'étude

## 1.1. Contexte de la modélisation 3D

Le diagnostic et l'optimisation de la station s'appuie sur l'utilisation de la modélisation 3D. La modélisation 3D s'appuie sur différents outils. Le premier outil est une géométrie maillée correspondant au cas d'étude. Le nombre de maille influe sur le temps de calcul et les résultats. Le deuxième outil est les équations de Navier Stokes qui permettent de résoudre l'écoulement hydrodynamique. Cependant, pour cette étude des outils moins usuels seront utilisés pour la modélisation 3D.

Le partenariat de recherche entre le DSEA et le laboratoire s'appuie sur les travaux de thèse de M. Isenmann (2016). Cette thèse a été faite afin de trouver un solveur permettant de représenter au mieux les dépôts dans les bassins d'orage. Plusieurs tests ont été effectués sur des bassins expérimentaux, cette étude permettra de valider le modèle pour des bassins réels. La particularité de ce solveur est de ne pas se contenter de deux conditions pour le dépôt : soit elle se dépose et ne se remets pas en suspension, soit elle continue son chemin. Isenmann (2016) a développé une nouvelle condition.

Les conditions aux limites pour l'aval de la station ne seront pas usuelles. En effet, à l'aval de la station se trouve un siphon qui permet le rejet en Seine (voir le profil en long **Figure 1.3**). Or, l'ajout de ce siphon allait rallonger le modèle d'une centaine de mètre et donc d'un nombre de maille conséquent. L'idée est de poser une condition aux limites prenant en compte l'influence de ce siphon sans le modéliser.

Enfin, l'étude prévoit un dégrilleur au sein de la station. Ce dégrilleur peut être représenté tel qu'il sera en réalité, ce qui implique un maillage plus fin à son niveau ou à l'aide d'un milieu poreux. Toujours dans l'optique de réduire le nombre de maille et le temps de calcul, le choix s'est porté sur la modélisation du dégrilleur à travers un milieu poreux.

## 1.2. Contexte de l'étude

Ce projet de recherche s'appuie sur la création d'une station anti-crue à Vitry-sur-Seine au sud de Paris. Aujourd'hui, le réseau est séparatif et les eaux de pluies sont directement rejetées dans la Seine. Lorsque la Seine est en crue, il y a des infiltrations d'eau parasite qui induisent un débordement des eaux pluviales vers le réseau d'eaux usées. Le DSEA 94 a pour but de construire cette station anti-crue afin de protéger le milieu naturel en dépolluant les eaux pluviales et de protéger le réseau en évitant les infiltrations de la Seine. Cette station sera située sud de la rue de Choisy, à Vitry-sur-Seine. L'emprise foncière à cet emplacement est très importante ce qui joue sur la géométrie de la station. Les aménagements possibles sont très restreints. Il sera possible d'aménager uniquement l'intérieur de la station. L'emplacement de la future station est visible sur la **Figure 1.1**



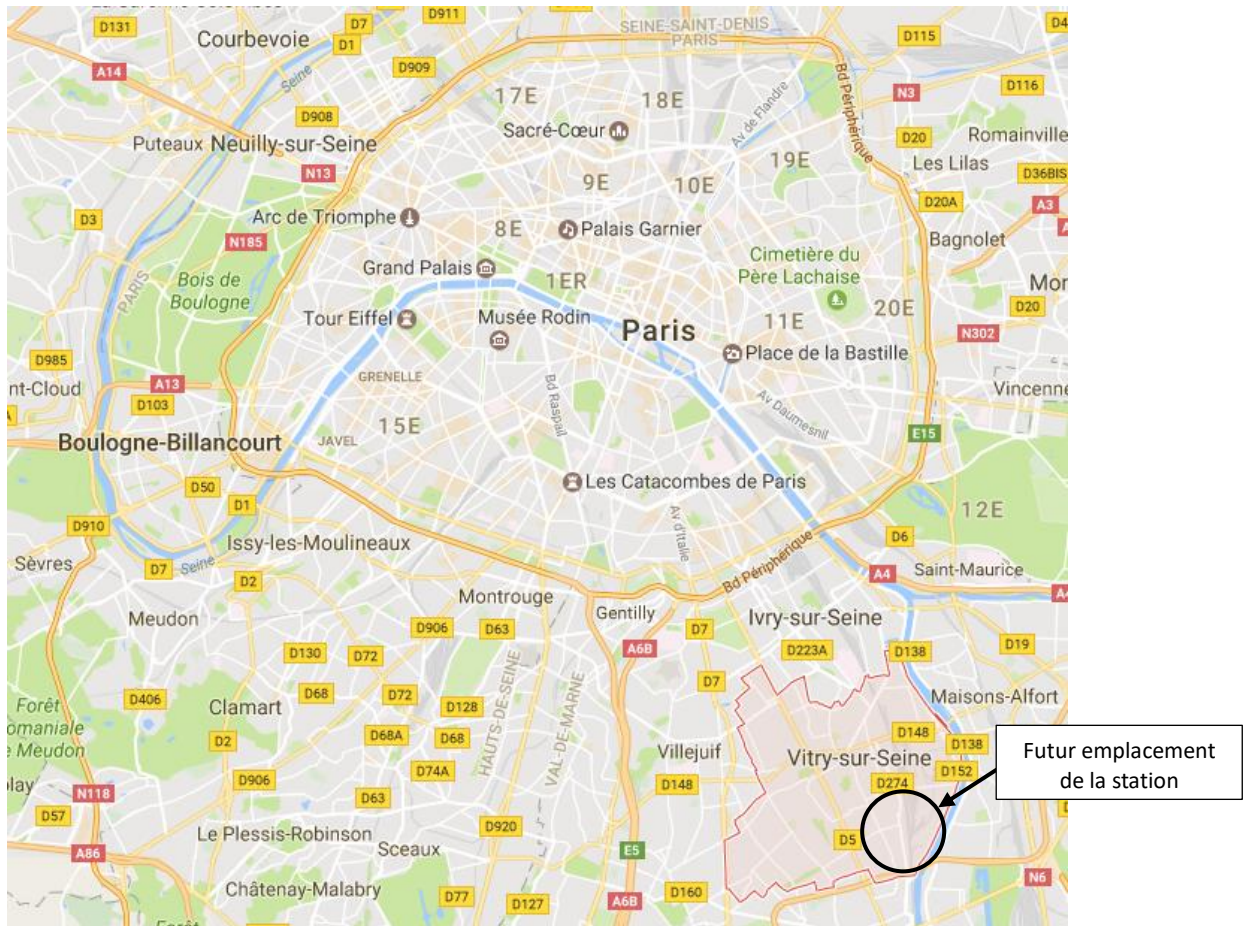


Figure 1.1 - Emplacement de la station anti-crue <sup>1</sup>

La station anti-crue aura donc deux buts : protéger la ville contre les inondations et protéger le milieu naturel. Elle protège la ville contre les inondations puisqu'elle décharge le réseau des eaux usées et elle protège le milieu naturel grâce aux traitements. La station fonctionne selon deux situations : Si la Seine est en crue ou si elle ne l'est pas. La Seine est considérée comme étant en crue lorsque le niveau d'eau dépasse 30.20m NGF. Une étude effectuée par Prolog ingénierie (2015b) indique que le niveau de la Seine dépasse 30.20m environ 20 fois par an. Lorsque c'est le cas, une vanne seuil se ferme au niveau de l'exutoire et l'écoulement gravitaire vers la Seine n'est plus possible. La vidange de la station s'effectue alors par pompage à l'aide de 2 pompes avec un débit de vidange total de 0.5m<sup>3</sup>/s. Une troisième pompe peut être activée en cas de forte pluie et le débit sera alors de 0.75m<sup>3</sup>/s. Dans le cas hors crue, l'écoulement se fait de manière gravitaire à l'aide d'un siphon. La vanne seuil suit alors le niveau de la Seine (avec une sécurité de 10cm).

Pour des pluies de période de retour inférieure à 1 mois et les fins de pluies, les eaux sont stockées dans le collecteur puis envoyées vers la station d'épuration à l'aide d'une vanne lorsque le niveau d'eau dans la station est stable. Le temps sec qui pourrait se retrouver dans le collecteur est également évacué grâce à cette vanne. Les ouvrages de dépollution sont dimensionnés pour une pluie de projet de période de retour de 6 mois soit 0.9m<sup>3</sup>/s. L'exutoire vers la Seine est dimensionné pour une pluie décennale d'été future, soit 3.2m<sup>3</sup>/s. Il existe une surverse de sécurité en amont des traitements permettant de gérer les débits supérieurs au débit maximum accepté à l'exutoire (3.2m<sup>3</sup>/s). Cette surverse envoie les eaux vers un ouvrage préexistant (appelée par la suite : surverse vers T5).

<sup>1</sup> Source de l'image : GoogleMaps

La dépollution de l'eau s'effectue grâce à une chambre à sable et un dégrilleur. Si la pluie est trop forte, il est possible d'éviter les traitements à l'aide d'un by-pass. Le fonctionnement de la station est récapitulé ci-dessous à l'aide d'un synoptique (**Figure 1.2**).

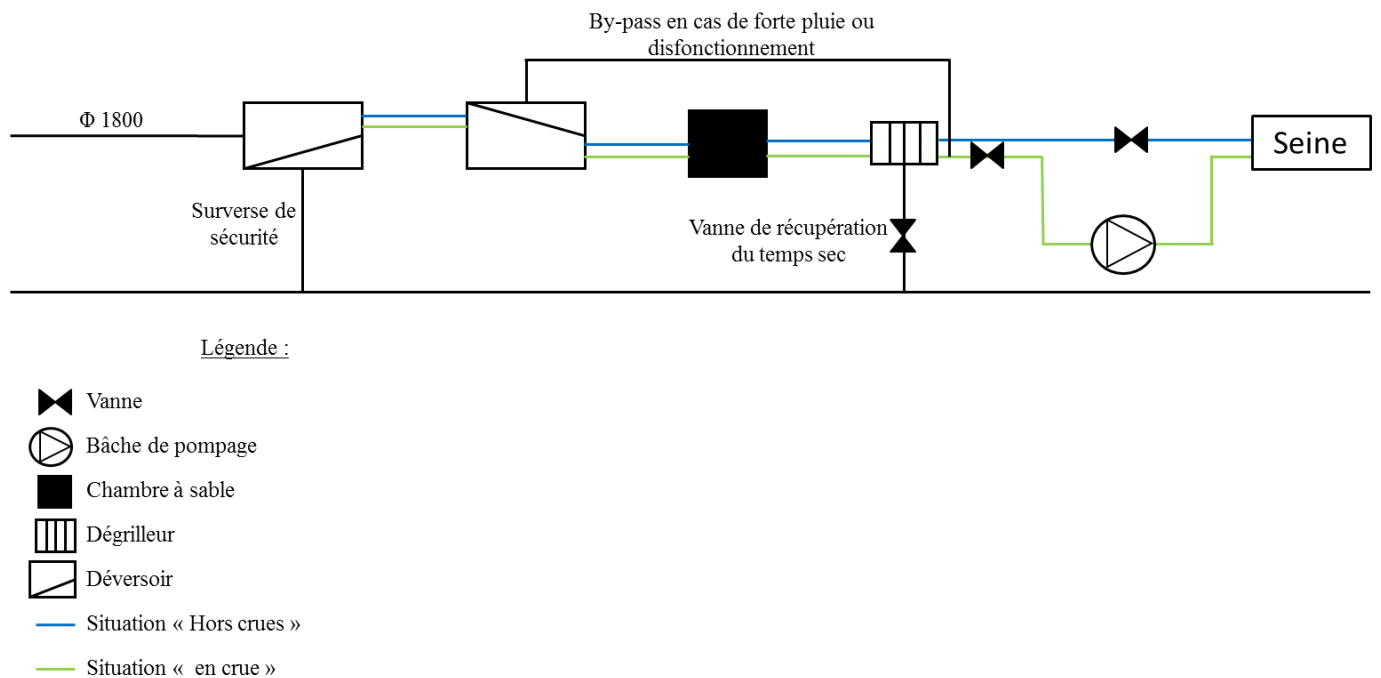


Figure 1.2 - Synoptique de la station

La vanne seuil à l'aval de la station suit le niveau de la Seine lorsque celle-ci n'est pas en crue. Elle suit le niveau de la Seine avec une sécurité de 10cm. Cette vanne a pour but d'éviter les infiltrations de la Seine dans le réseau. En temps de pluie, lorsque le niveau d'eau est stable dans la station, c'est-à-dire qu'il n'y a pas plus d'écoulement vers la Seine, la station est vidangée vers l'ouvrage d'eaux usées T5. Le profil en long de la station est présenté dans la **Figure 1.3**.

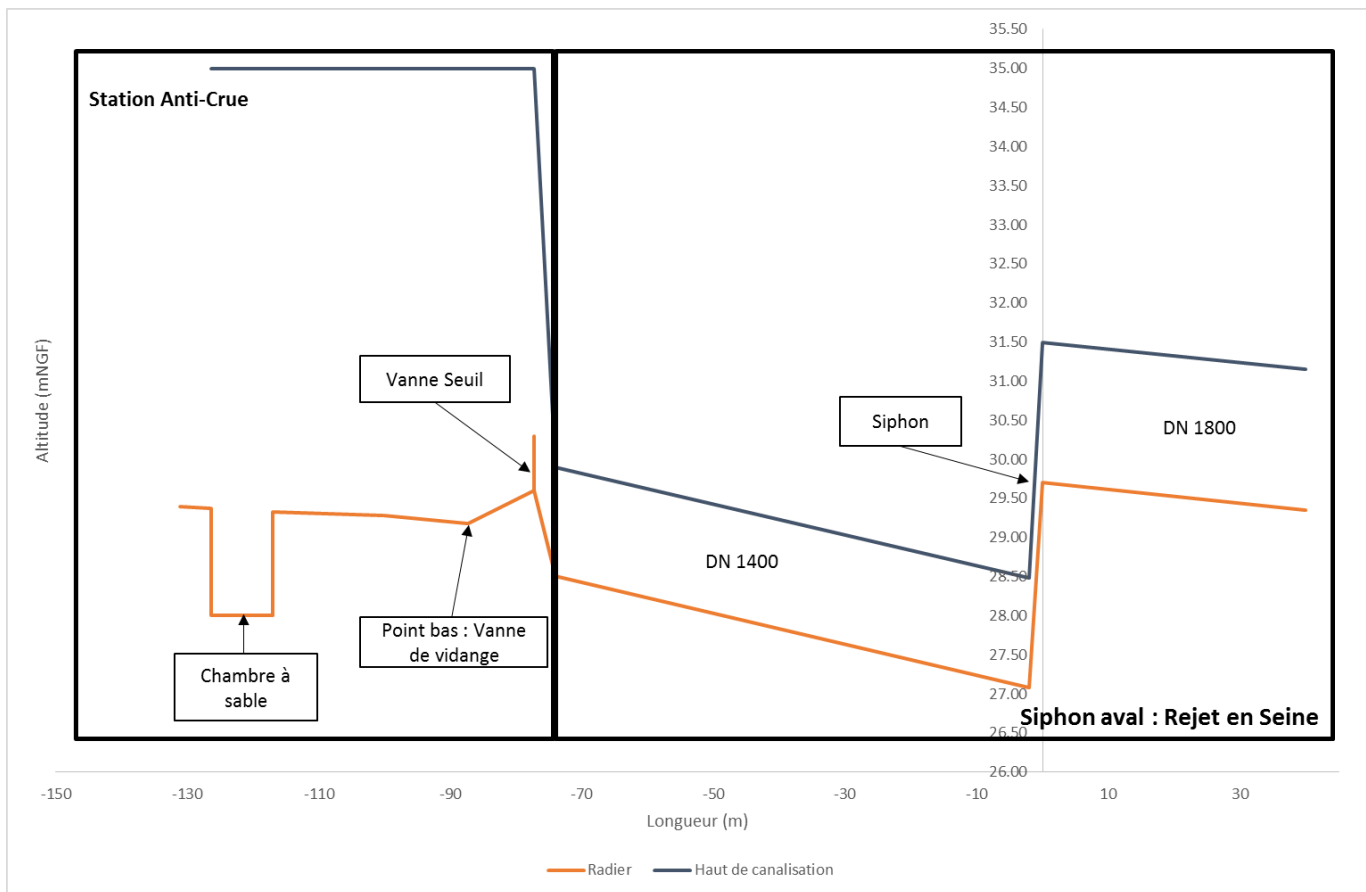


Figure 1.3 - Profil en long de la station

### 1.3. Objectifs de l'étude

Les objectifs du DSEA correspondent à un diagnostic complet de la station tant d'un point de vue hydraulique que transport solide. Les objectifs du DSEA vis à vis de l'étude sont les suivants :

- Diagnostiquer le **fonctionnement hydraulique de la station** surtout au niveau de la chambre de dessablement. Il faudra donc vérifier le **dimensionnement de la chambre à sable, de la hauteur de crête du by-pass et de la crête du déversoir de sécurité vers T5**. C'est pour cet objectif que les conditions aux limites particulières seront utilisées.
- Une modélisation sera également effectuée **en cas de panne du dégrilleur** afin de connaître le fonctionnement de la station dans une telle situation. Le dégrilleur étant modélisé par un milieu poreux pour les modélisations précédentes.
- Enfin, le DSEA souhaite connaître **le débit évacué vers l'ouvrage d'eaux usées T5 en fonction de la hauteur d'eau** dans la station.

Pour les objectifs suivants, le solveur de transport solide développé par Isenmann (2016) sera utilisé :

- Connaître **l'abattement en pollution** de la station.
- La DSEA souhaite connaître les différentes **zones préférentielles de dépôts** dans la station anti-crue afin de faciliter la future exploitation de la station.
- Il faut **évaluer le dépôt dans le collecteur amont** pour effectuer un curage optimal.

Ces différents objectifs seront complétés par des propositions d'aménagement si le diagnostic montre des dysfonctionnement.

## 2. Matériels et méthode

Dans cette partie, les différents outils utilisés pour effectuer l'étude de la station seront explicités. Dans un premier temps, les équations utilisées pour la modélisation hydraulique et le transport solide seront décrites. Puis dans un deuxième temps, les différents outils utilisés pour la modélisation seront expliqués. Le logiciel qui sera utilisé pour effectuer les modélisations est le logiciel open source « OpenFoam ».

### 2.1. Description du modèle

Le modèle est découpé en deux parties : une partie de simulation de l'écoulement hydrodynamique et une seconde partie sur la simulation du transport solide. Dans un premier temps, le calcul de l'écoulement hydrodynamique sera expliqué puis dans un second temps, le calcul du transport solide sera également décrit.

#### 2.1.1. Calcul de l'écoulement hydrodynamique

Les écoulements dans les bassins sont dans la majorité des cas turbulents. Pour vérifier que les écoulements sont turbulents, il suffit de calculer le nombre de Reynolds :

$$Re = \frac{\rho * U * D}{\mu} \quad (1)$$

Où U et D correspondent à une vitesse et une longueur spécifique de l'écoulement. Une valeur du nombre de Reynolds supérieur à 1000 (en surface libre) correspond à un écoulement turbulent. Ce type d'écoulement peut alors être modélisé à l'aide de la méthode Reynolds-Averaged Navier Stokes (RANS) (Isenmann, 2016 ; Lipeme Kouyi *et al*, 2010). Cette méthode passe par la résolution des équations de Navier Stokes qui sont les suivantes :

$$\frac{\partial U}{\partial t} + (U \cdot \nabla)U = -\frac{\nabla P}{\rho} + g + \nu \Delta U \quad (2)$$

$$\nabla U = 0 \quad (3)$$

L'équation (2) correspond à la conservation de la quantité de mouvement, l'équation (3) correspond quant à elle à la conservation de la masse.

Puisque la méthode de RANS est utilisée, il est nécessaire de choisir un modèle de turbulence. En effet, la méthode RANS ajoute un terme à l'équation de Navier Stokes qui correspond aux fluctuations de la vitesse. Pour fermer le système il est donc nécessaire de choisir un modèle de turbulence. Dufresne *et al*, (2009a) a comparé les modèles k-epsilon standard, RNG k-epsilon et le modèle RSM. Il a montré que le modèle k-epsilon était le modèle le plus représentatif. Il existe deux autres modèles de turbulence qui fonctionnent sur le même principe au modèle k-epsilon standard :

- K-oméga (k- $\omega$ )
- K-oméga SST (k- $\omega$  SST)

Plusieurs personnes ont déjà travaillé sur le meilleur modèle de turbulence pour représenter un écoulement et donc pour ce modèle c'est le modèle k-oméga SST qui sera choisi (Isenmann, 2016). En effet, le modèle k- $\omega$  SST permet une bonne représentation des valeurs de vitesse au niveau de la paroi car il couple le modèle k- $\epsilon$  qui représente bien l'écoulement au milieu d'un bassin et le modèle k- $\omega$  qui représente bien le modèle au niveau des parois. Les valeurs de k,  $\omega$  et  $\epsilon$  pour le modèle de turbulence dépendent de l'intensité turbulente de l'écoulement et de la vitesse. L'intensité turbulente se calcule à l'aide du nombre de Reynolds et du diamètre hydraulique lié à l'écoulement. Une fois l'intensité turbulente connue, les paramètres de la turbulence peuvent être calculés.

$$I = 0.16 * Re^{-\frac{1}{8}} \quad (4)$$

$$k = \frac{3}{2} * (U * I)^2 \quad (5)$$

$$\frac{\epsilon}{\omega} = 0.09 * k \quad (6)$$

Enfin, la représentation de la surface libre est essentielle pour avoir une bonne représentation des dépôts par la suite (Lipeme Kouyi *et al*, 2010). Le modèle choisi sera le *Volume of Fluid* avec un maillage fixe suffisamment fin pour qu'il n'y ait pas de sensibilité au maillage. La sensibilité au maillage sera vérifiée pour le cas présent.

Pour modéliser l'écoulement hydrodynamique, il est nécessaire d'avoir un solveur pour un écoulement bi-phasique puisque la surface libre doit être représentée (Lipeme Kouyi *et al*, 2010) et un solveur fonctionnant en régime transitoire afin de vérifier la variabilité du modèle. Le solveur utilisé pour l'écoulement hydrodynamique est le solveur *porousInterFoam*. C'est un solveur qui permet de modéliser un écoulement bi-phasique en transitoire en utilisant le modèle *Volume of Fluid* et en prenant en compte le milieu poreux. L'algorithme de résolution utilisé dans ce solveur est l'algorithme PIMPLE avec la méthode de résolution des volumes finis. Le schéma numérique de résolution du solveur est le schéma d'Euler implicite.

## 2.1.2. Calcul du transport solide

La concentration en MES dans les eaux de ruissellement est de l'ordre de 1g/L (Chebbo, 1992). La phase solide n'aura donc pas d'influence sur l'écoulement hydrodynamique. Cette étape de calcul s'effectue donc à partir des résultats de calcul de l'écoulement hydrodynamique décrit dans la partie précédente. Le transport solide est modélisé à l'aide d'un suivi lagrangien de particules en prenant en compte les différentes forces s'appliquant sur la particule. La prise en compte de l'interaction entre les particules n'est pas nécessaire (Adamsson, 1999). Les différentes forces sont les forces de pesanteur, la poussée d'Archimède et les forces de trainée.

La difficulté de la représentation du transport solide réside dans la condition aux limites des parois. Les conditions « stick » et « rebond » ne permettent pas de visualiser les zones préférentielles. En effet, une condition « stick » est suffisante lorsque le dépôt se fait uniformément sur le bassin, ce qui n'est pas souvent le cas dans les bassins d'orage. Dans la réalité, lorsqu'une particule se dépose sur le fond du bassin, il est possible qu'elle soit remise en mouvement soit par charriage soit en suspension. Dufresne *et al* (2008) propose des nouvelles conditions aux limites s'appuyant soit sur la contrainte de cisaillement (BSS), soit sur l'énergie cinétique turbulente (BTKE). Avec ce critère, lorsque la valeur de l'énergie cinétique (ou de cisaillement) de la particule s'approchant de la paroi est inférieure à la valeur seuil, la particule se dépose sinon elle continue son chemin. Toutefois, ces nouvelles conditions étaient applicables uniquement pour les petits bassins ou les bassins expérimentaux. Yan *et al* (2014) propose des valeurs seuils différentes pour le critère BTKE applicable à un grand bassin. Isenmann (2016) trouve un nouveau critère qui permet de concilier les valeurs trouvées par Dufresne *et al* (2008) et Yan *et al* (2014). Il s'agit d'une formule pour calculer le critère BTKE à partir du diamètre adimensionnel. La condition aux limites correspond alors à une valeur du critère BTKE. Ce critère s'appuie sur la formule trouvée par Yan *et al* (2014) prolongée à l'aide du critère de Van Rijn (critère de charriage et mise en suspension).

Le critère BTKE se calcule à l'aide de l'équation (7) :

$$k_s = \xi * w_s^2 \quad (7)$$

Avec  $\xi$ , un paramètre d'ajustement se calculant à l'aide de l'équation (8) :

$$\begin{cases} 0.1 < d^* < 2 : \xi = \frac{320}{d^{*4}} \\ 2 < d^* < 10 : \xi = \frac{80}{d^{*2}} \\ d^* > 10 : \xi = 0.8 \end{cases} \quad (8)$$

Le diamètre adimensionnel  $d^*$  se calcule à l'aide de l'équation (9):

$$d^* = d_p * \left( \frac{\rho(\rho - \rho_p) * g}{\mu^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (9)$$

Avec ce critère appliqué, Isenmann (2016) a montré que la modélisation du transport solide était représentative de la réalité tant au point de vue de l'abatement que des zones préférentielles de dépôts. Pour la suite de l'étude, il faudra convenir d'un type de particule avec différentes gammes de vitesse de chute et une masse volumique représentative des matières en

suspensions des eaux de ruissellement parisiennes.

Le calcul de la vitesse de chute s'appuie sur un bilan de force appliqué à une particule. Les forces appliquées sont : le poids, la poussée d'Archimède et la force de trainée (voir **Figure 2.1**).

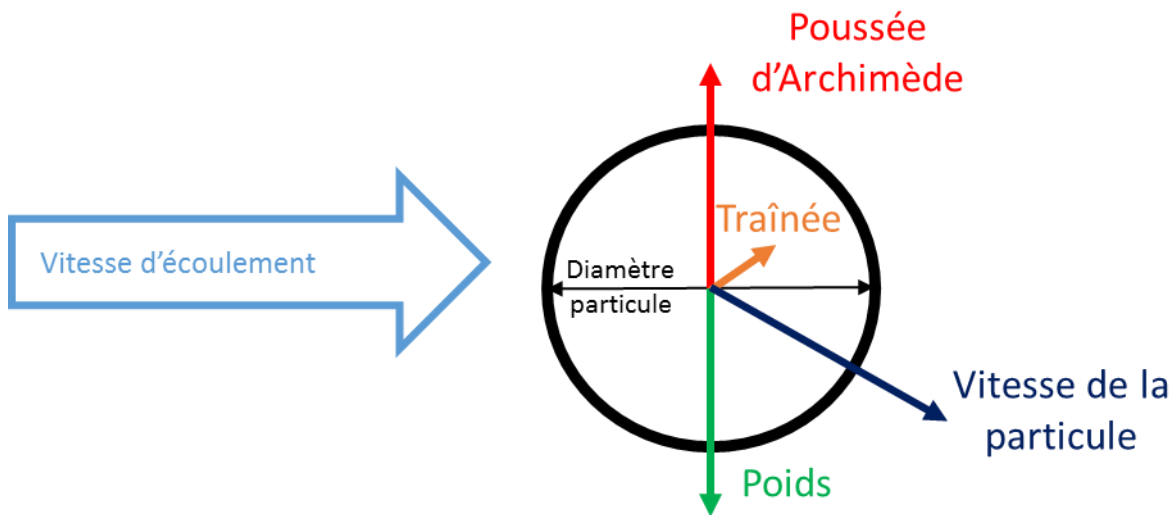


Figure 2.1 - Bilan de forces appliqué à une particule

Le coefficient de trainée dépend de la vitesse de chute. Le coefficient de trainée dépend du Reynolds particulaire et ainsi la vitesse de chute peut être calculée à partir des caractéristiques de la particule. Morsi et Alexander (1972) propose une formule pour calculer la vitesse de chute :

$$\frac{w_s}{\sqrt{\left(\frac{\rho_p}{\rho} - 1\right) * g d_p}} = \sqrt{\frac{4}{3 * Cd}} \quad (10)$$

Avec  $d_p$ , le diamètre particulaire ;  $\rho_p$  la masse volumique de la particule ;  $\rho$ , la masse volumique de l'eau et le coefficient de trainée s'exprimant à l'aide de l'équation (11):

$$Cd = A + \frac{B}{Re_p} + \frac{C}{Re_p^2} \quad (11)$$

Où les constantes A, B et C sont des paramètres dépendant de la valeur du Reynolds particulaire. Ces relations sont valables pour un Reynolds particulaire inférieur à  $10^3$  (soit des diamètres inférieurs à environ  $500\mu\text{m}$ ).

Le solveur utilisé pour le transport solide est un code développé par Isenmann (2016) à partir de la bibliothèque *intermediate* et le *solveurLagrangien*. Ce solveur permet de suivre les particules en appliquant les conditions citées précédemment. Il suffit de renseigner une granulométrie, une masse volumique et un nombre de particules représentatif. Les modélisations de l'écoulement et du transport solide s'effectuent séparément. En effet, la modélisation du transport solide s'appuie sur les résultats des modélisations de l'écoulement.

**En conclusion**, le modèle hydraulique s'appuie sur les équations de Navier-Stokes prenant en compte la conservation de la masse et la conservation de la quantité de mouvement. L'écoulement est turbulent et le modèle de turbulence choisi est le modèle k- $\omega$  SST. La surface libre est représentée grâce au modèle *Volume of fluid*. L'écoulement est transitoire, le solveur utilisé est le solveur *porousInterFoam*. Le transport solide est modélisé à l'aide d'un solveur de suivi de particules lagrangien avec des conditions aux parois particulières.

## 2.2. Création de la simulation

### 2.2.1. Choix de la géométrie et des conditions aux limites

La géométrie a été créée sur le logiciel Salomé en se basant sur les plans fournis par le DSEA. Ces plans pourront être retrouvés en **Annexe 1** : Certains éléments ne sont pas essentiels pour la modélisation. Ainsi la bêche de pompage ne sera représentée qu'à travers la vanne permettant l'écoulement vers cette dernière. Pour la géométrie « hors-crués », la canalisation amont est modélisée jusqu'au nouveau raccordement prévu en prenant en compte la chambre de déversement vers T5. Une hauteur de plafond de 4.5m par rapport au fond de la chambre à sable est prise. Le dégrilleur est également modélisé à travers un milieu poreux. Le choix du milieu poreux pour représenter le dégrilleur est explicité dans les parties suivantes. De plus, le siphon rejetant en Seine ne sera pas modélisé afin de réduire le nombre de mailles et donc de gagner du temps de calcul (voir dans les parties suivantes également).

Le maillage a été effectué sous OpenFoam. Le maillage est uniforme avec des mailles carrées de 10cm. Les conditions aux limites sont à renseigner pour la pression, la vitesse et les paramètres de turbulence. Au niveau des parois, une condition de vitesse et de pression est imposée sous la forme *zeroGradient*. Les paramètres de turbulence sont calculés au niveau des murs. Au niveau du toit et de la sortie vers l'ouvrage T5, une condition de pression atmosphérique est imposée. Pour la sortie, au niveau de la vanne seuil, une condition de vitesse est imposée (voir partie 2.2.3) et il n'y a donc pas de conditions de pression. Enfin, en entrée, le débit pour chaque modélisation sera renseigné.

### 2.2.2. Modélisation du dégrilleur

Il y a plusieurs possibilités pour la modélisation du dégrilleur. Une première serait de modéliser la grille et d'adapter le maillage à l'entrefer de la grille. Cette méthode impliquerait un maillage fin au niveau du dégrilleur et augmenterait donc le temps de calcul. Toutefois, Schmitt *et al* (2013) ont montré que modéliser le dégrilleur à l'aide d'un milieu poreux permettait de représenter de manière correcte l'écoulement hydrodynamique autour de la grille. C'est donc avec un milieu poreux que sera représenté le dégrilleur. Toutefois, le transfert des particules à travers le milieu poreux a été vérifié au préalable. Il faut ensuite caler la densité du milieu pour correspondre à l'entrefer du dégrilleur.

D'après Schmitt (2013), il est possible de qualifier le milieu poreux à l'aide des caractéristiques du dégrilleur tel que la perte de charge, la dimension de l'entrefer ou encore de la surface de la grille. Le dégrilleur devrait être modélisé en 3D afin de caler la porosité du milieu poreux pour la modélisation de la station (Raynal, 2013).



Le dégrilleur n'avait pas encore été choisi par le DSEA lors des modélisations. Seul l'entrefer est connu, la porosité a été choisie selon cet entrefer et calculée selon les formules présentées dans Schmitt (2013). Soit :

$$Porosité = 41.8 * (0.9 * (Ob)^2 - 1.57 * Ob + 1.429) * \left(\frac{Ob}{1 - Ob}\right)^{1.785} \quad (12)$$

Avec  $Ob$ , une variable dépendant du nombre de barreaux, de l'épaisseur d'un barreau et de la largeur de la grille. Une épaisseur de barreau de 8mm<sup>2</sup> a été prise, ce qui induit 31 barreaux sur la largeur de la grille (2m).

Une porosité de 1.6 est obtenue. Cela engendre une faible perte de charge. En se basant sur les résultats trouvés par Raynal (2013), pour une grille verticale, le rapport de l'entrefer sur l'épaisseur des barreaux de cette grille implique une perte de charge inférieure à 0.1m. Cette porosité sera conservée pour la suite puisque les données sur le dégrilleur restent inconnues.

### ***2.2.3. Prise en compte de l'influence aval du siphon***

Comme présenté dans le profil en long, le rejet en Seine des eaux pluviales se fait par un siphon. Le niveau de la Seine a été choisi à 30.20mNGF. En effet, le niveau de la Seine est à 29.60mNGF mais ce niveau est dépassé plus de 320 jours par an. Une étude demandée par le DSEA à Prolog Ingénierie (2015b) montre que le niveau de la Seine est considéré comme aux alentours 30.20mNGF. C'est donc ce niveau d'eau qui sera considéré pour la suite de l'étude. Une étude des pertes de charge et des courbes de remous pour la gamme de débit de l'étude a été effectuée afin de connaître la hauteur d'eau en aval de la vanne seuil. La charge en quatre points (voir schéma **Figure 2.2**) a été calculée.

La charge en A correspond à cette hauteur d'eau. Cette prise en compte de la charge en A pour l'influence aval permet de ne pas modéliser le siphon et donc de gagner du temps de calcul.

---

<sup>2</sup> L'épaisseur de barreau de 8mm est une épaisseur standard pour des dégrilleur avec un entrefer de 5cm.

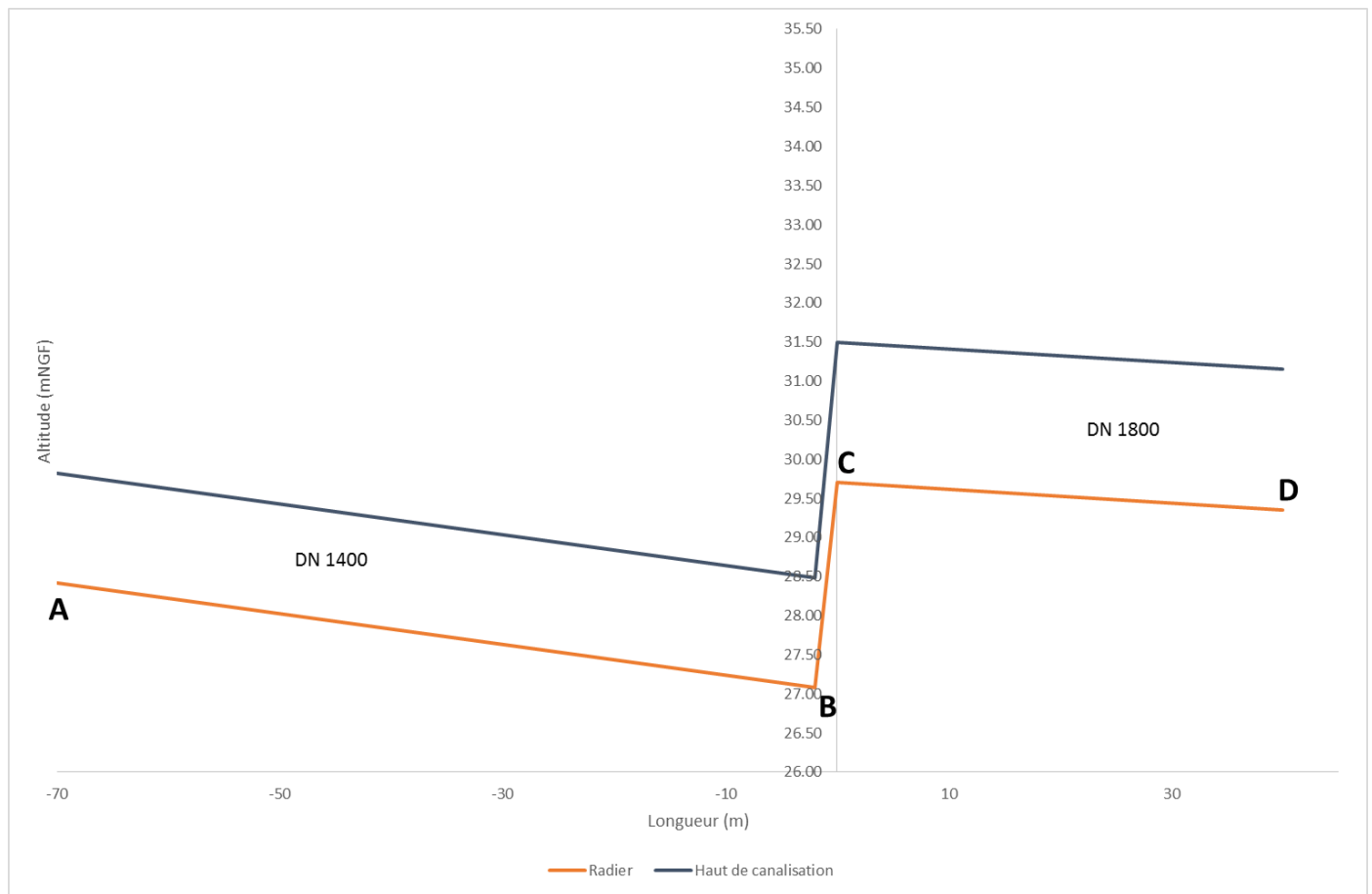


Figure 2.2 - Profil en long du siphon

Le point D correspond au rejet de la Seine. Le niveau est pris à 30.20mNGF. La vitesse en ce point-là est considérée comme négligeable et donc la charge en D est de 30.20m. La canalisation entre C et D est à surface libre. Pour connaître la charge au point C, il faut donc calculer la courbe de remous afin de remonter le fil de l'eau. La courbe de remous peut-être calculée uniquement lorsque l'écoulement dans la canalisation DN1800 est fluvial. En effet, seule la hauteur à l'aval de la canalisation est connue donc le calcul peut être effectué uniquement lorsqu'il y a un contrôle aval. La hauteur normale et la hauteur critique pour chaque débit ont été calculées afin de connaître le type d'écoulement dans la canalisation. Dans le **Tableau 2.1** sont présentés uniquement les résultats pour les débits utilisés par la suite.

Tableau 2.1 - Caractéristiques de la canalisation DN1800 en fonction du débit

Q	hn	hc	Pente	Régime	Courbe de remous
0.22	0.19	0.22	forte	Fluvial	S1
0.5	0.28	0.34	forte	Fluvial	S1
0.9	0.37	0.46	forte	Fluvial	S1
1.5	0.48	0.59	forte	Fluvial	S1
3.2	0.70	0.88	forte	Torrentiel	S2
4.2	0.82	1.01	forte	Torrentiel	S2

Le calcul de la courbe de remous s'appuie sur l'équation de la charge. L'équation suivante est obtenue :

$$\frac{dh}{dx} = \frac{I - \frac{Q^2}{K^2 * S^2 * Rh^{\frac{4}{3}}}}{1 - \frac{Q^2}{S^2 * g * Dh}} \quad (13)$$

Avec, K, le coefficient de Strickler pris à  $70m^{1/3}/s$  ; S, la surface mouillée ; Rh, le rayon hydraulique ; Dh, le diamètre hydraulique et Q, le débit en  $m^3/s$ . Le calcul est résolu à l'aide de la méthode des trapèzes avec un pas de 1000.

Lors du calcul de la courbe de remous, il a été observé un ressaut pour des débits allant de  $0.75m^3/s$  à  $3.1m^3/s$ . Pour les débits générant un écoulement torrentiel, le calcul de la courbe de remous n'est pas possible puisqu'il y a un contrôle amont de l'écoulement. Toutefois, au vue de la géométrie, l'écoulement au niveau du point C peut être assimilé à un déversement par un trop plein de station de pompage. D'après Isenmann *et al* (2016), le débit sans influence aval se calcule alors à l'aide de l'équation (14) :

$$Q_{dénoyé} = (g * D^5)^{\frac{1}{2}} * 0.716 * 0.5^{\frac{h_{amont}}{D}} * \left(\frac{h_{amont}}{d}\right)^{2.175} \quad (14)$$

Ici, le débit dénoyé est connu, il est donc possible de retrouver  $h_{amont}$  soit la hauteur d'eau en C. Pour les débits provoquant un écoulement fluvial, l'assimilation à un déversement par un trop plein de station de pompage est également vrai. Il faut vérifier si il y a une influence aval en vérifiant que  $h_{amont}$  trouvée avec la courbe de remous est supérieur à  $0.73 * h_{amont}$  trouvée à l'aide de  $Q_{dénoyé}$ . Il faut alors corriger la hauteur au point C à l'aide de l'équation (11):

$$Q_{noyé} = Q_{dénoyé} * \left(1 - \left(\frac{h_{avalremous}}{h_{amont}}\right)^{15}\right) \quad (15)$$

Avec  $h_{avalremous}$ , la hauteur d'eau en C trouvée à l'aide de la courbe de remous, il faut trouver  $h_{amont}$  tel que le débit noyé corresponde au débit provoquant un écoulement fluvial.

Ainsi, la hauteur d'eau en C est donc connue ce qui permet d'obtenir la charge en C, le terme en  $v^2/2g$  étant négligé. La charge en B correspond à la somme de la charge en C et des pertes de charges entre B et C.

La perte de charge entre B et C correspond à une perte de charge singulière liée à l'élargissement du diamètre en B. La perte de charge singulière se calcule alors :

$$J_{BC} = k * \frac{Q^2}{2 * g * S_{AB}^2} \quad (16)$$

Avec k, le coefficient de perte de charge correspondant à un élargissement du diamètre soit 0.3. Ainsi, la charge en A peut alors être calculée en ajoutant les pertes de charges entre A et B à la charge en B. Les pertes de charges entre A et B correspondent à une perte de charge linéaire calculée à l'aide de la formule de Lechapt et Calmon et une perte de charge liée à la réduction du diamètre en A. Pour les paramètres de Lechapt et Calmon (L, M et N), une rugosité de 0.1mm a été prise (béton lisse).

Soit :

$$J_{AB} = Long * L * \frac{Q^M}{D^N} \quad (17)$$

La charge en A est ainsi connue pour les différents débits. Il faut alors appliquer une condition aux limites à la sortie de la station, tel que la charge en A dépende du débit qui transite par A. Sur le graphique **Figure 2.3**, les équations utilisées pour la modélisation sont représentées.

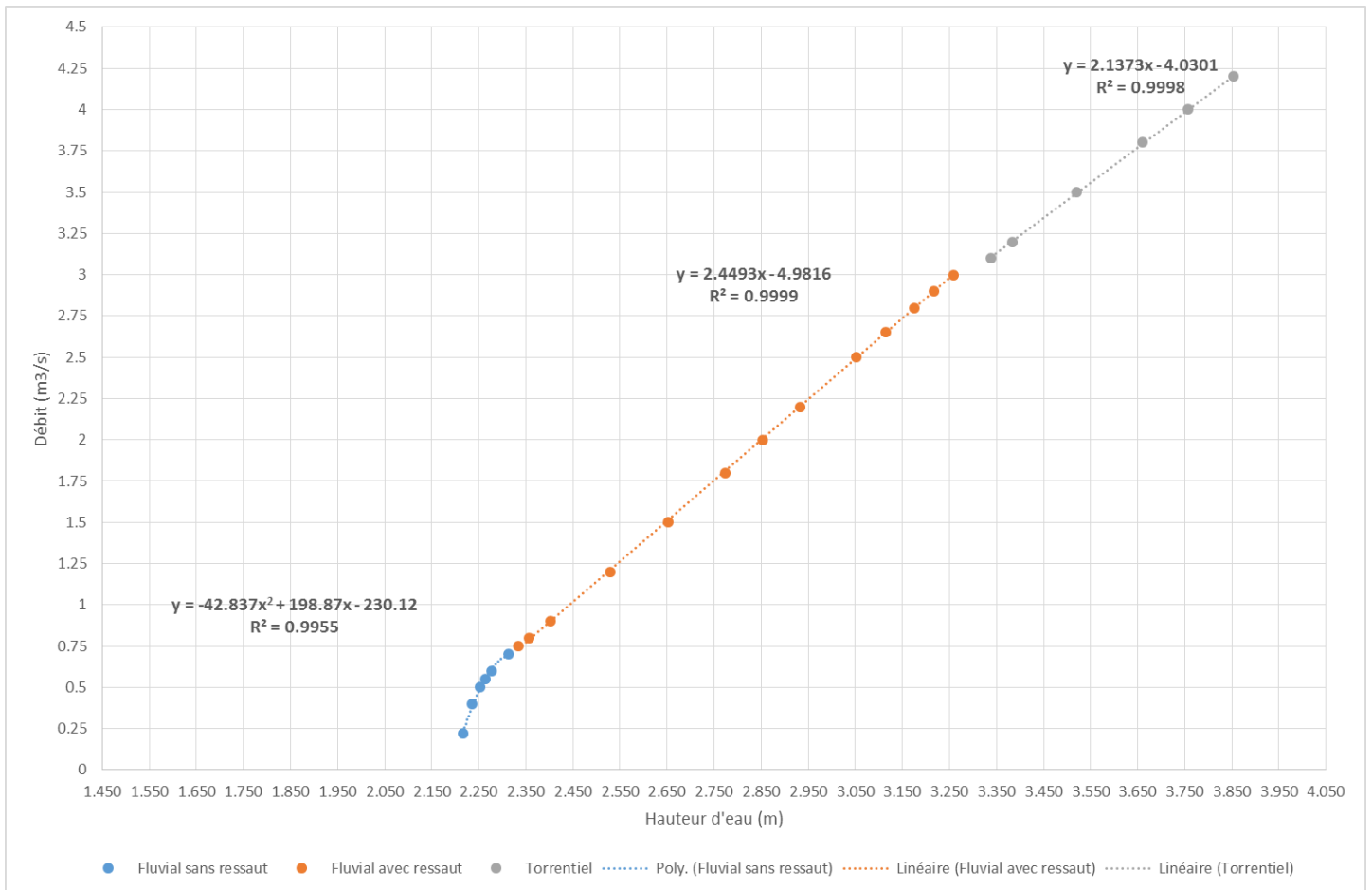


Figure 2.3 -  $Q=f(h)$  pour les différentes courbes de remous au niveau du rejet en Seine

Les équations sont donc renseignées au niveau des conditions aux limites de vitesse pour la sortie à l'aide de la fonction *GroovyBC*. La fonction *GroovyBC* est disponible en complément d'OpenFoam, à l'aide du module « *Swak4Foam* ». Ainsi, le débit est calculé à l'aide de la pression du pas de temps précédent et les différentes équations sont utilisées suivant la gamme de débit correspondant à la pression. Le débit est borné à l'aide du débit du pas de temps précédent afin d'éviter les grandes variations de débit qui n'ont pas lieu en réalité. La fraction volumique devra donc être égale à 1 pour cette surface et la pression doit être libre.

### 2.2.5. Conditions initiales et caractéristiques des particules

Pour pouvoir lancer les simulations de transport solide, il faut au préalable définir les caractéristiques des particules. L'objectif est de définir une gamme de vitesse de chute assez large : de 0.1m/h à 100m/h. Cette gamme correspond aux valeurs qui sont retrouvées dans les réseaux séparatifs (Torres, 2008). La vitesse de chute étant corrélée au diamètre des particules, la gamme de granulométrie est de 7 $\mu$ m à 285 $\mu$ m.

Le choix pour la masse volumique s'est porté sur 2000kg/m<sup>3</sup>. En effet, la densité moyenne est de 1.7 à 2.15 voire 2.5 pour les réseaux de voirie. Le choix de la masse volumique correspond donc à une masse volumique moyenne. Les simulations seront lancées sur le dernier pas de temps de calcul hydraulique. Une vérification de la sensibilité sera effectuée sur d'autres pas de temps.

**En conclusion**, le logiciel OpenFoam est utilisé pour les simulations hydrauliques et les simulations de transport solide. Le solveur *porousInterFoam* est utilisé pour l'hydraulique, pour le transport solide c'est le solveur développé par Isenmann (2016) qui est utilisé. Le maillage est un maillage à maille carrée de 10cm. Le dégrilleur est modélisé par un milieu poreux. L'influence aval du siphon rejetant vers la Seine est prise en compte à l'aide d'une condition aux limites au niveau de la sortie (*GroovyBC* via *Swak4Foam*). Une gamme de vitesse de chute est choisie pour le transport solide avec des particules de masse volumique 2000kg/m<sup>3</sup>.

### 3. Phase 1 : Diagnostic de l'ouvrage

#### 3.1. Situation « Hors crue »

##### 3.1.1. Ecoulement hydrodynamique

Le diagnostic de l'écoulement hydrodynamique sera présenté en trois parties afin de vérifier le dimensionnement des différents ouvrages.

- Une première partie sera consacrée à la vérification du dimensionnement de la chambre à sable et donc la répartition du débit dans les deux chambres.
- Une deuxième partie sera consacrée à la vérification du dimensionnement du by-pass des ouvrages de traitements en cas de fortes pluies.
- La troisième partie sera consacrée à la vérification du dimensionnement de la surverse de sécurité vers l'ouvrage d'eaux usées T5.
- La quatrième partie sera consacrée au fonctionnement de la station lorsque le dégrilleur est en panne.
- Enfin, la dernière partie sera consacrée à l'établissement d'un graphique permettant de connaître le débit d'évacuation vers T5 au niveau de la reprise de temps sec dans la station en fonction de la hauteur d'eau dans la station.

Les débits sont connus grâce à l'étude de Prolog Ingénierie (2015a).

##### 3.1.1.1. Caractéristique de la chambre à sable

Le débit de dimensionnement des ouvrages de traitements est  $0.9\text{m}^3/\text{s}$ . La gamme de débit considérée est de  $0.22\text{m}^3/\text{s}$  (période de retour d'un mois) à  $0.9\text{m}^3/\text{s}$ , le débit de dimensionnement. Trois débits seront donc modélisés dans le cas « hors-crues » afin d'évaluer la répartition du débit dans les deux chambres à sables. En effet, la présence du coude en amont de la station peut potentiellement influencer la répartition du débit.

Les débits modélisés pour vérifier le fonctionnement de la chambre à sable sont récapitulés dans le **Tableau 3.1** :

Tableau 3.1 - Débit de fonctionnement, diagnostic de la chambre à sable

Débit ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Période de retour de la pluie
0.22	1 mois
0.50	Décennale d'hiver, situation actuelle
0.9	6 mois, pluie de projet

Ces débits correspondent à la gamme de fonctionnement de la chambre à sable ( $0.9\text{m}^3/\text{s}$  étant le débit de pointe pour les ouvrages de traitements). Toutefois, des débits supérieurs ont été simulés et il est possible d'observer le fonctionnement de la chambre à sable pour ces débits là également : soit un débit de  $1.5\text{m}^3/\text{s}$ , un débit de  $3.2\text{m}^3/\text{s}$  ainsi que  $4.2\text{m}^3/\text{s}$ . En effet, la chambre à sable reste en fonctionnement pour tous les débits puisque le by-pass a pour but de conserver  $0.9\text{m}^3/\text{s}$  à travers la chambre à sable.

Afin de vérifier la répartition du débit dans les deux chambres à sable, le débit à travers ces chambres au cours du temps a été tracé. Sur la **Figure 3.1** sont représentées la chambre à sable de gauche et de droite.

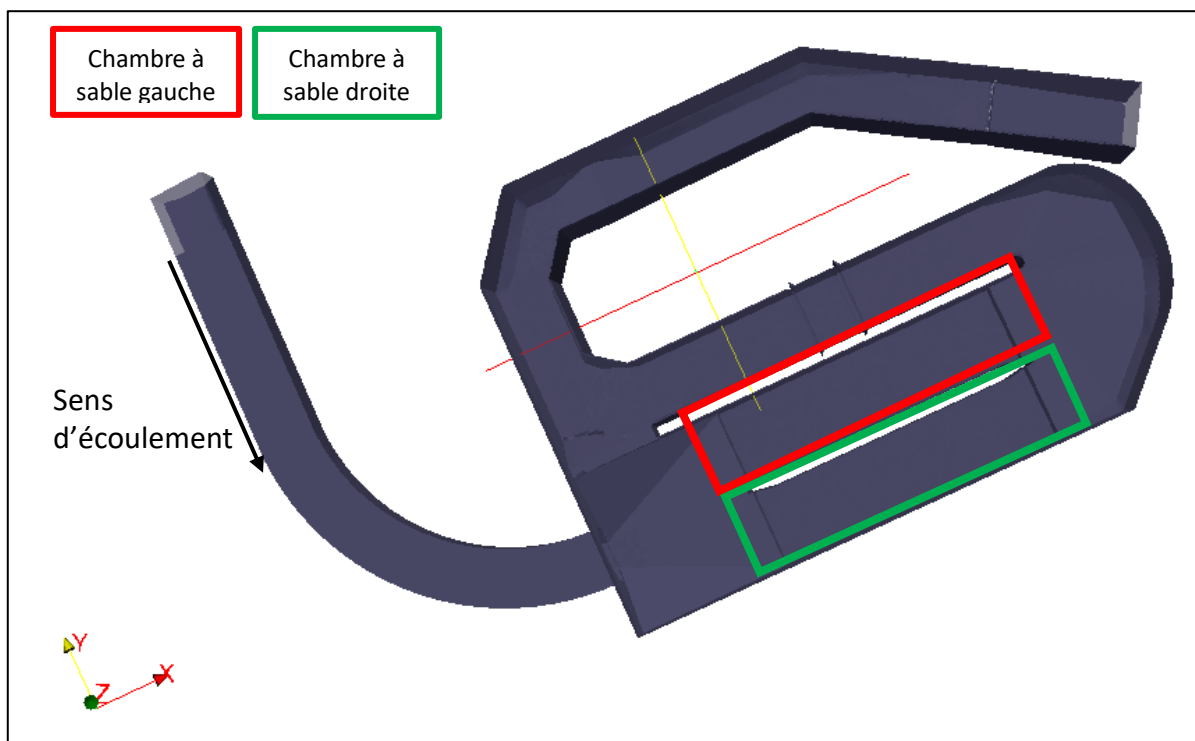


Figure 3.1 - Description de la chambre à sable

Six débits ont donc été modélisés et la répartition du débit dans la chambre à sable au cours du temps a pu être tracée. Le calcul est effectué en transitoire afin de visualiser si il y a un effet d'instabilité. Les différentes courbes sont disponibles en **Annexe 2** :. Sur les courbes, il est possible d'observer que l'écoulement est non stationnaire. Une grande variabilité est observée suivant les débits. Dans le **Tableau 3.2**, la répartition en pourcentage pour chaque débit ainsi que la variabilité est présentée :

Tableau 3.2 - Répartition du débit dans la chambre à sable

Débit		0.22 m <sup>3</sup> /s	0.5 m <sup>3</sup> /s	0.9 m <sup>3</sup> /s	1.5 m <sup>3</sup> /s	3.2 m <sup>3</sup> /s	4.2 m <sup>3</sup> /s
Débit CAS Gauche	Minimum	-0.03	-0.11	-0.26	-0.54	0.00	-0.24
	Médiane	0.11	0.11	0.30	0.88	1.68	1.33
	Moyenne	0.08	0.11	0.24	0.76	1.74	1.38
	Maximum	0.17	0.37	0.50	1.27	2.81	6.99
Débit CAS Droite	Minimum	-0.12	-0.12	-0.12	-0.14	-0.40	-0.80
	Médiane	0.10	0.37	0.62	0.47	0.70	1.46
	Moyenne	0.11	0.35	0.60	0.53	0.63	1.54
	Maximum	0.18	0.50	0.80	1.35	1.90	4.45

Le premier constat est que la répartition n'est pas homogène et n'est pas corrélée au débit. L'objectif d'une répartition homogène n'est pas atteint. La gamme de fonctionnement de la chambre à sable est analysée dans un premier temps. Une répartition non homogène est observée. La répartition pour le débit de dimensionnement est de l'ordre de 60% pour la chambre à sable de droite et 40% pour celle de gauche. La répartition pour le débit de période de retour 1 mois est semblable avec une répartition du débit de l'ordre de 70% pour la chambre à sable de droite et 30% pour celle de gauche. Une recirculation est observée pour le débit décennal d'hiver. De plus, la répartition du débit dans cette gamme est périodique.

Pour la pluie de période de retour 2 ans, il y a une répartition majeure dans la chambre à sable de gauche contrairement à la gamme de fonctionnement de la chambre à sable. La répartition est de l'ordre de 70% pour la chambre à sable de gauche et 30% pour celle de droite. Il en est de même pour la pluie décennale d'été future. Pour le débit décennal d'été actuelle, la répartition est périodique entre une répartition de 80%/20% à 60%/40%.

L'objectif n'est pas atteint puisque la répartition n'est pas homogène. La répartition est périodique pour certains débits et suivant le débit, ce n'est pas la même chambre qui est favorisée. La répartition n'étant pas corrélée au débit transitant par la station, il sera difficile d'établir une géométrie engendrant une répartition homogène dans deux chambres à sable. Il faudra veiller à conserver les autres objectifs lors de l'optimisation de la station.

L'inégale répartition peut être observée sur la **Figure 3.2** à l'aide de lignes de courants.

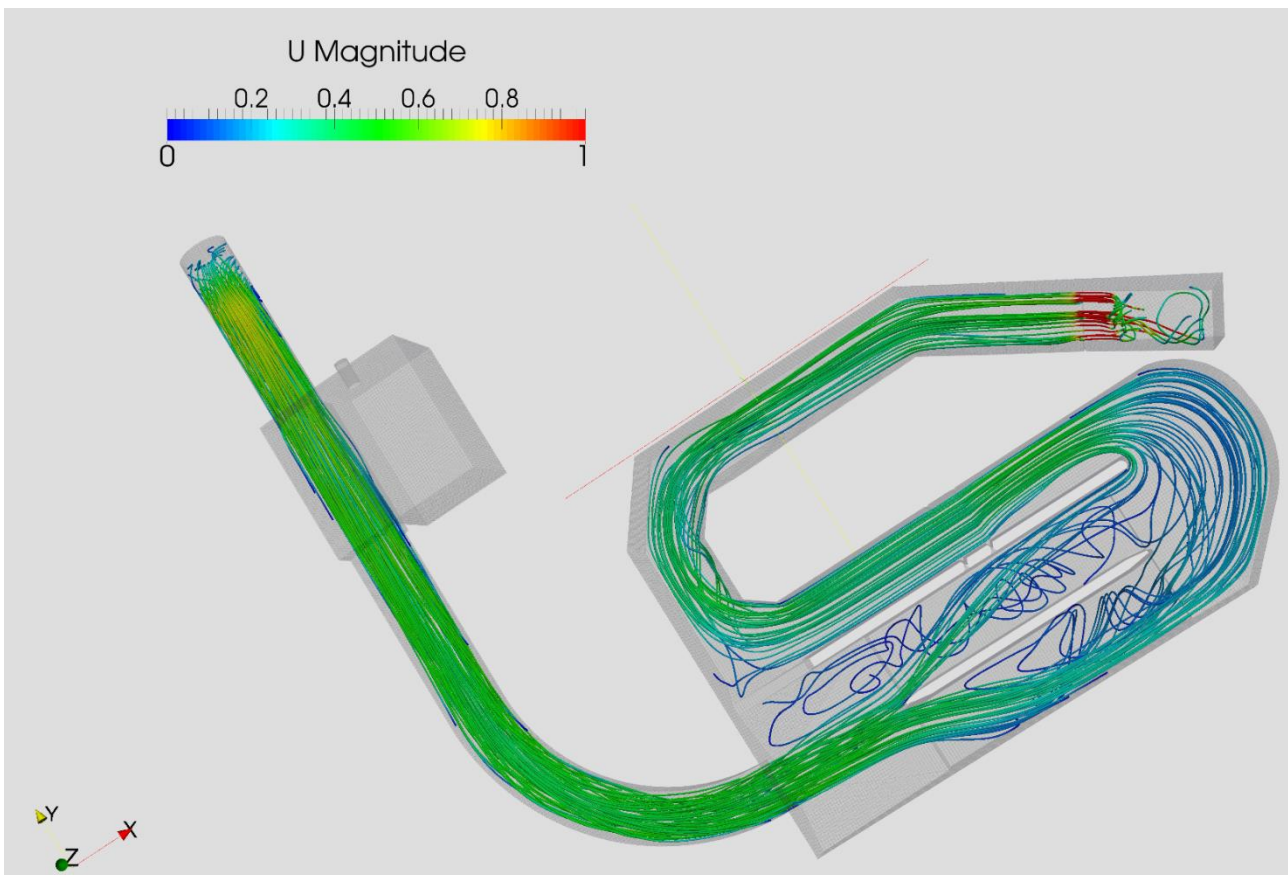


Figure 3.2 - Ligne de courant pour le débit de dimensionnement ( $0.9\text{m}^3/\text{s}$ )

Une répartition inégale est observée : il y a plus de lignes de courant dans la chambre à sable de droite. Il y a également des recirculations au niveau du fond de la chambre à sable. Il y a également une recirculation au niveau du divergent. Il est possible d'observer une diminution des vitesses lors du passage à travers la chambre à sable. Les vitesses sont comprises entre 0.2m/s et 0.5m/s pour le débit de  $0.9\text{m}^3/\text{s}$ . Or, pour faire décanter les particules, il faut que la vitesse de chute soit supérieure à la vitesse horizontale. Cela peut donc donner une idée sur les capacités d'abattement de la station.



### 3.1.1.2. Caractéristique du by-pass des ouvrages de traitements

Le by-pass a été dimensionné afin de déverser pour des pluies supérieures à la pluie de projet ( $0.9\text{m}^3/\text{s}$ ). Le by-pass devrait donc déverser pour des pluies de période de retour supérieur à 6 mois. Trois débits seront donc modélisés : une pluie de période de retour de 2 ans soit  $1.52\text{m}^3/\text{s}$ , une pluie décennale d'été future soit  $3.2\text{m}^3/\text{s}$  et la pluie décennale d'été actuelle soit  $4.2\text{m}^3/\text{s}$ . Le by-pass a une hauteur de crête de 30.80m NGF.

Le **Tableau 3.3** représente la répartition entre le by-pass et la chambre à sable.

Tableau 3.3 - Répartition entre le by-pass et la chambre à sable

Débit	1.5 m <sup>3</sup> /s		3.2 m <sup>3</sup> /s		4.2 m <sup>3</sup> /s	
	Objectif	Modèle	Objectif	Modèle	Objectif	Modèle
%CAS	60%	93%	28%	74%	21%	77%
%By-Pass	40%	7%	72%	26%	79%	23%

Le débit passant à travers le by-pass et à travers la chambre à sable peut être tracé au cours du temps. L'objectif du by-pass est de conserver  $0.9\text{m}^3/\text{s}$ . Pour les différentes simulations effectuées, il y a un débit supérieur à  $0.9\text{m}^3/\text{s}$  qui passe au travers de la chambre à sable, de l'ordre de 30% par rapport à l'objectif. Le by-pass ne fonctionne donc pas de manière optimale. En effet, le débit transitant par la chambre à sable est trop important pour conserver un bon fonctionnement de la chambre à sable (deux voire trois fois plus que le débit de dimensionnement). Sur la **Figure 3.3**, les lignes de courants ont été tracées pour le débit décennal d'été futur ( $3.2\text{m}^3/\text{s}$ ).

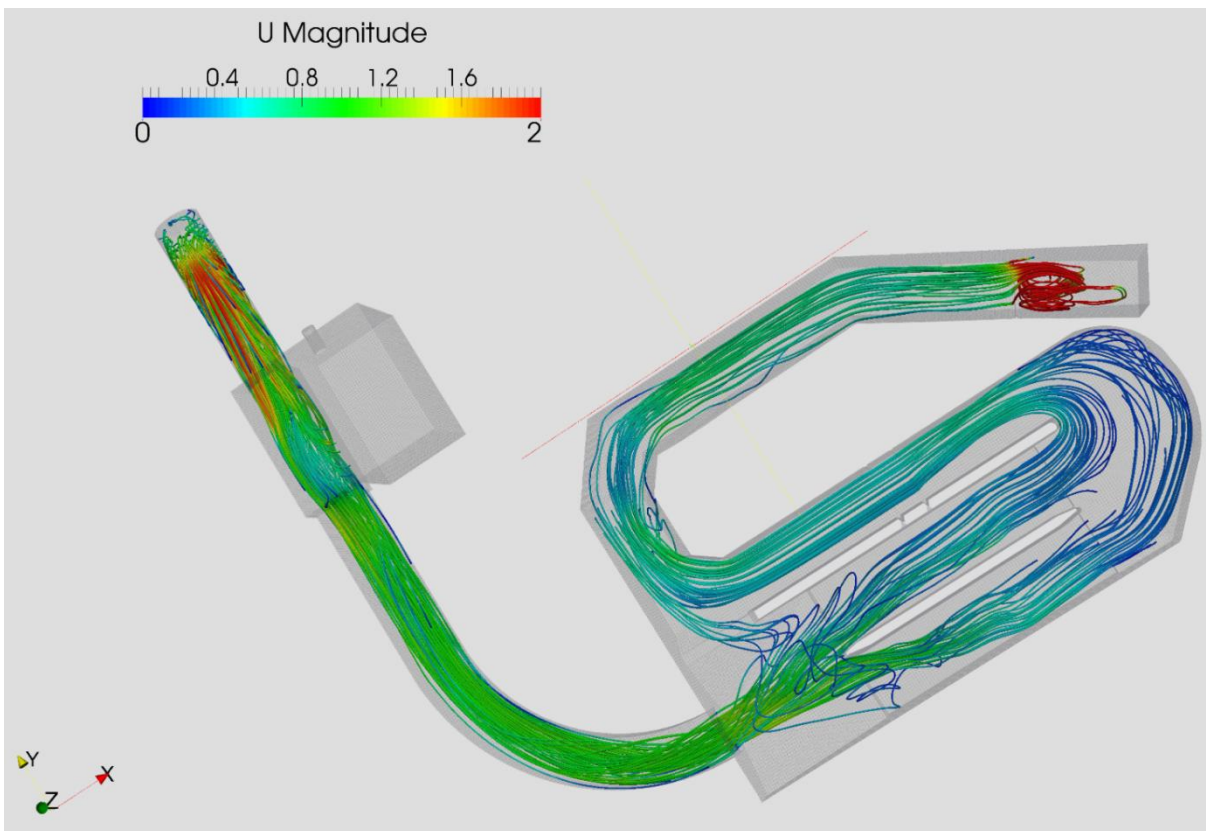


Figure 3.3 - Lignes de courants du débit décennal d'été futur ( $3.2\text{m}^3/\text{s}$ )

### 3.1.1.3. Caractéristique de la surverse de sécurité vers T5

La surverse vers T5 a été dimensionnée pour ne pas déverser pour des débits inférieurs à la pluie décennale d'été future. La hauteur de crête est fixée à 31.72m NGF. Le débit qui sera utilisé pour cette modélisation est la pluie décennale d'été actuelle soit 4.2m<sup>3</sup>/s. La géométrie de la chambre de déversement a été fournie par le DSEA. Pour la pluie décennale d'été actuelle, la surverse est dimensionnée afin qu'il y ait un débit déversé aux alentours de 1m<sup>3</sup>/s.

La répartition est présentée dans le **Tableau 3.4** :

Tableau 3.4 - Répartition entre la station et le collecteur T5

Débit	3.2 m <sup>3</sup> /s		4.2 m <sup>3</sup> /s	
	Objectif	Modèle	Objectif	Modèle
%Station	100%	99.4%	76%	92%
%Surverse T5	0%	0.6%	24%	8%

La surverse a été rehaussée afin d'éviter les déversements pour des débits inférieurs à 3.2m<sup>3</sup>/s. Pour la situation d'été future, il n'y a que très peu de déversement. Le rehaussement de la surverse pour éviter les déversements pour des débits inférieurs à 3.2m<sup>3</sup>/s est donc utile puisqu'il n'y a pas de déversements. Pour la pluie décennale d'été actuelle, l'objectif de déversement vers la surverse T5 n'est pas atteint. Toutefois, cela signifie qu'il y aura moins d'eaux pluviales rejetées dans le réseau d'eaux usées.

### 3.1.1.4. Cas du dégrilleur en panne

L'objectif est d'observer le fonctionnement de la station lorsque le dégrilleur est en panne. L'utilisation du milieu poreux permet d'engendrer une très grande perte de charge au niveau du dégrilleur qui correspondrait à un dégrilleur en panne comblé par les déchets accumulés. La porosité du milieu a donc été choisie à une valeur très élevée et le débit simulé est le débit de dimensionnement soit 0.9m<sup>3</sup>/s.

En fonctionnement normal, pour ce débit, le by-pass n'est pas en fonctionnement. Ici, la chambre à sable et la partie de la station en amont du dégrilleur vont se remplir jusqu'à atteindre la hauteur de crête. Sur la **Figure 3.4**, les lignes de courants ont été tracées pour un pas de temps où le by-pass est en fonctionnement. Le fonctionnement de la chambre à sable est très particulier. La chambre à sable de gauche contient 100% du débit qui continue à se diriger vers le dégrilleur tandis que la chambre à sable de droite permet une recirculation de l'écoulement. Il y a également une recirculation au sein de la chambre à sable de gauche. La panne du dégrilleur n'empêchera donc pas l'évacuation vers la Seine mais entraîne un dysfonctionnement de la chambre à sable.

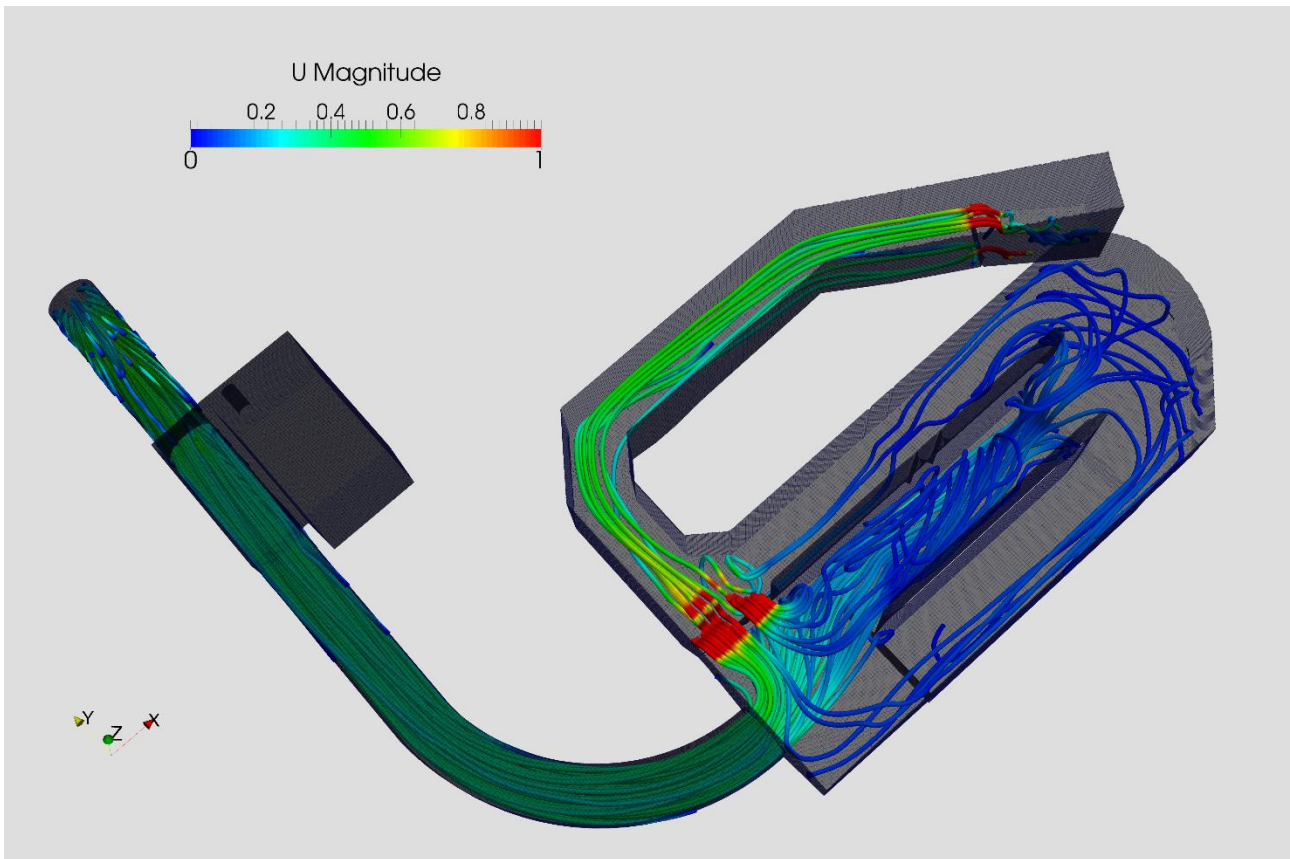


Figure 3.4 - Ligne de courants lorsque le dégrilleur est en panne (0.9m<sup>3</sup>/s)

### 3.1.1.5. Loi hauteur/débit pour l'évacuation vers l'ouvrage T5

L'objectif est de connaître le débit d'évacuation vers la vanne de reprise de temps sec en fonction de la hauteur d'eau dans la station. Pour cela, la modélisation sera initialisée avec différentes hauteurs d'eau dans la station et il n'y aura pas d'injection d'eau, uniquement une sortie. Différentes hauteurs ont été simulées. Les hauteurs d'eau ont été prises entre 29.45m NGF et 30.30m NGF. En traçant le débit de sortie en fonction de la hauteur d'eau dans la station il est alors possible d'obtenir une loi hauteur/débit.

En traçant le débit moyen de vidange pour chaque hauteur d'eau initiale dans la station, il est possible d'obtenir une loi. La loi obtenue est une loi linéaire :

$$Q_{vidange}(L/s) = 189.54 * Hauteur(m NGF) - 5559.6 \quad (18)$$

Cette équation possède plusieurs incertitudes puisqu'elle a été trouvée à l'aide du débit moyen. Le débit est en litre par seconde et la hauteur d'eau en mètre NGF. Le graphique est présenté sur la **Figure 3.5** :

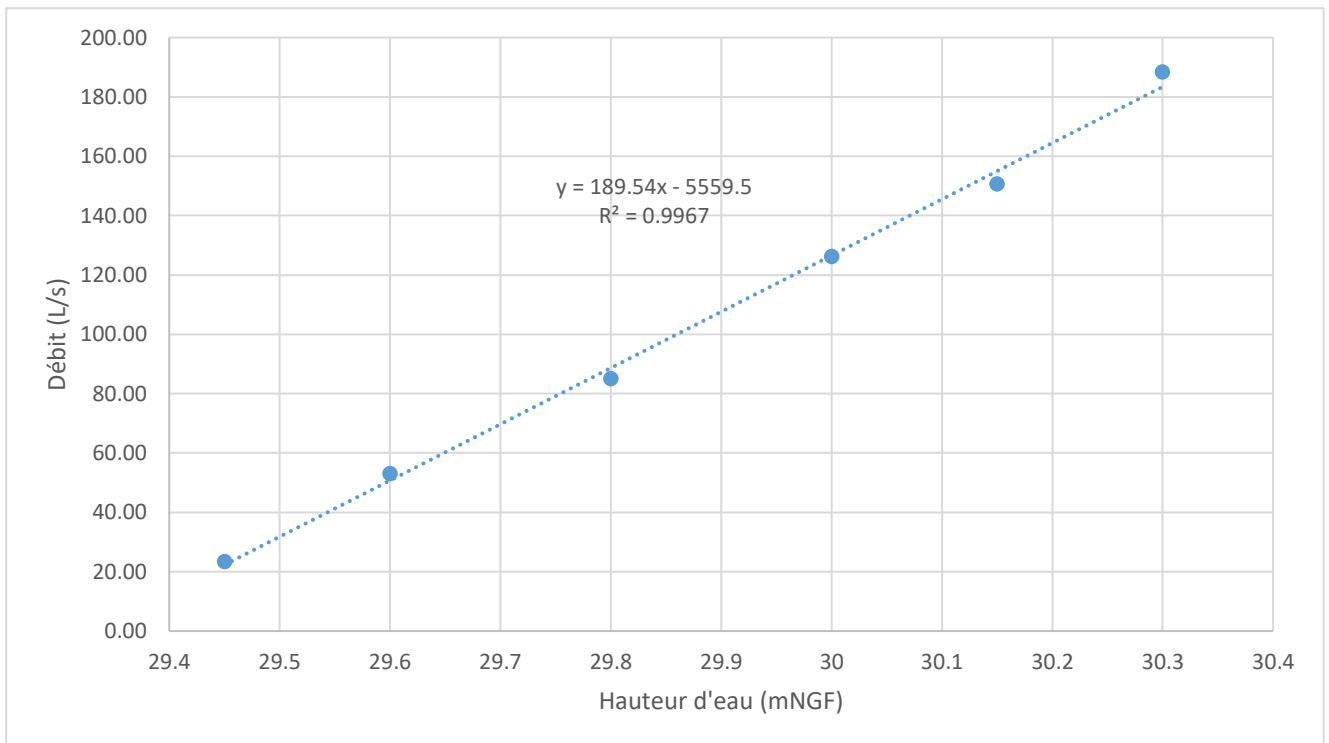


Figure 3.5 -  $Q_{moyen} = f(\text{hauteur d'eau})$

**En conclusion**, la répartition du débit au sein de la chambre à sable est dépendante du débit en entrée de station et n'est pas réparti de manière égalitaire. Des recirculations sont parfois observées selon les débits simulés. La répartition au travers de la chambre à sable est périodique pour certains débits et pour d'autres c'est une des deux chambres à sables qui est favorisée.

Le by-pass ne fonctionne pas de manière optimale. Le débit passant à travers ce dernier est bien inférieur au débit fixé par l'objectif. Il y a un débit trop élevé qui transite à travers la chambre à sable lorsque le débit est supérieur au débit de dimensionnement.

Quant à la surverse vers T5, il n'y a pas ou très peu de déversement pour la pluie décennale d'été future ce qui correspond à l'objectif. Pour les débits supérieurs, le déversement est inférieur à l'objectif souhaité.

Lorsque le dégrilleur est en panne, le by-pass est mis en fonctionnement et il y a une recirculation au niveau de la chambre à sable. C'est celle de droite qui permet la recirculation.

Pour la vidange vers T5 en fin de pluie ou pour les petites pluies, une équation linéaire a été trouvée pour connaître le débit moyen d'évacuation en fonction de la hauteur d'eau dans la station.

La géométrie au niveau de la chambre à sable et du by-pass doit être repensée afin de correspondre aux objectifs : une répartition égale au niveau de la chambre à sable, conserver un débit proche de  $0.9\text{m}^3/\text{s}$  au travers de la chambre à sable pour les forts débits et observer un déversement vers la surverse T5 uniquement lorsque le débit dépasse  $3.2\text{m}^3/\text{s}$ .

### 3.1.2. Transport solide

Cette partie traite des modélisations de transport solide effectuées à l'aide de l'outil décrit dans la partie 2.1.2. L'objectif est de :

- Connaître les performances de la station en termes d'abattement.
- Les modélisations vont également fournir une cartographie des dépôts.
- Enfin, l'abattement dans la conduite amont pourra être comptabilisé.

Sept simulations de transports solides seront effectuées par débits. Dans le **Tableau 3.5**, les diamètres et les vitesses de chutes correspondantes sont présentés. 10 000 particules ont été envoyées pour chaque diamètre et chaque débit après vérification de l'insensibilité du nombre de particules.

Tableau 3.5 - Gamme de vitesse de chute

<b>Diamètre (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	7	23	50	72	104	157	200	285
<b>Vitesse de chute (m/h)</b>	0.1	1	5	10	20	40	59	100

La chambre à sable a été dimensionnée pour un seuil de coupure à 200 $\mu\text{m}$ , c'est-à-dire que les particules ayant un diamètre supérieur à 200 $\mu\text{m}$  ne dépasseront pas la chambre à sable. L'objectif est donc de visualiser sur la cartographie des dépôts si pour les diamètres correspondant, le dépôt ne dépasse pas la chambre à sable. Un deuxième objectif est de visualiser s'il y a un dépôt important dans la conduite en amont de la station. La gamme de dimensionnement de la chambre à sable pour les débits correspond à des débits compris entre 0.2m<sup>3</sup>/s et 0.9m<sup>3</sup>/s.

Ainsi un graphique du taux d'abattement en fonction du diamètre peut être tracé en **Figure 3.6**.

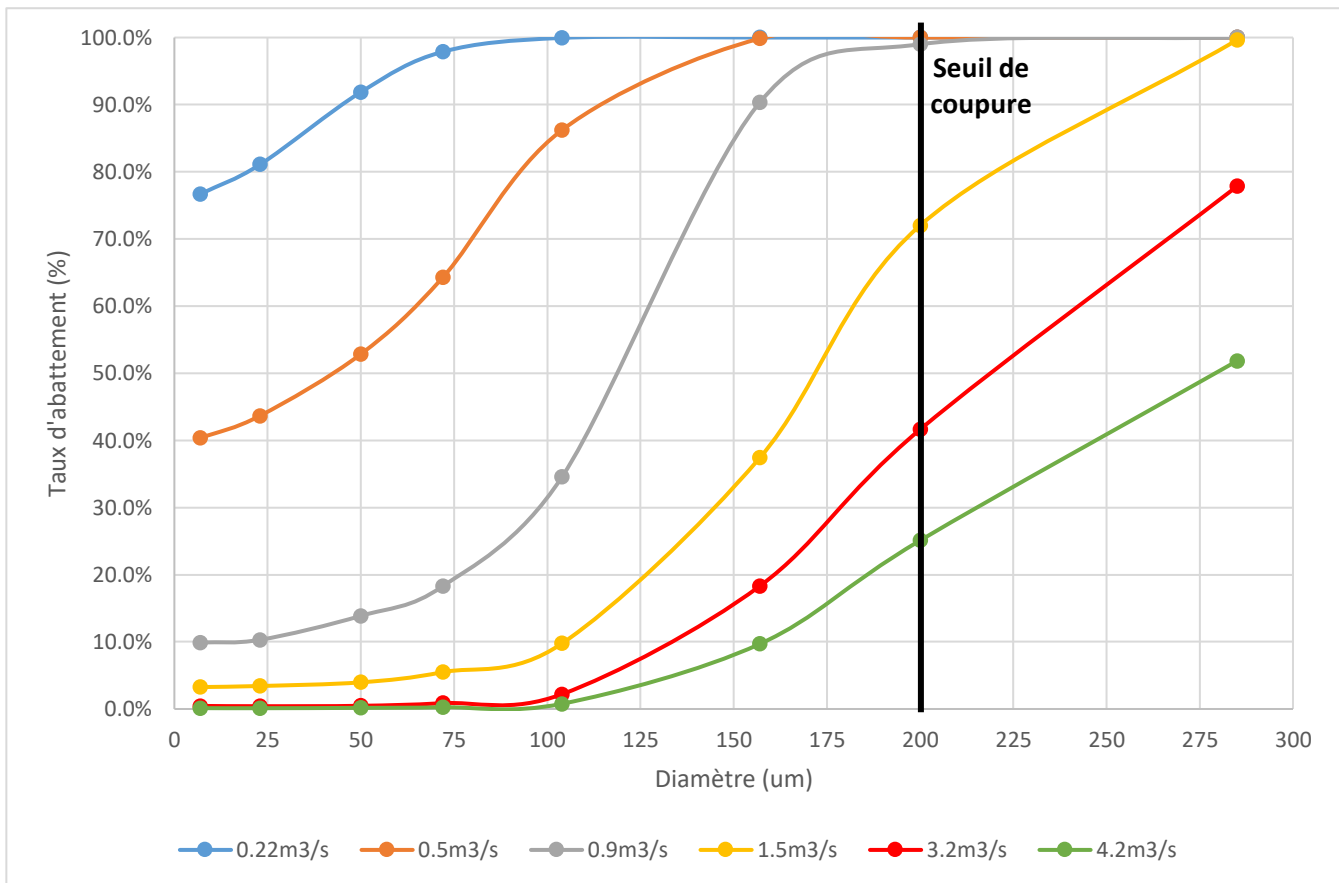


Figure 3.6 - Taux d'abattement en fonction du diamètre des particules

Toutes les particules supérieures à 285µm sont abattues pour des débits ayant une période de retour inférieure ou égale à 2ans. Le taux d'abattement diminue rapidement lorsque le diamètre des particules diminue.

Le pourcentage d'abattement est supérieur 80% pour la gamme de débit de la chambre à sable et la gamme de vitesse de chute (soit un débit entre 0.2m³/s et 0.9m³/s, et une vitesse de chute supérieur à 60m/h). Lorsque le débit est supérieur au débit de dimensionnement de la chambre à sable, il est possible d'observer que le taux d'abattement pour le seuil de coupure est inférieur ou égal à 70%. Une chute du taux d'abattement est observée pour le débit décennal d'été futur et actuel. En effet, il y a moins de 50% d'abattement pour les particules de 200µm. Les particules évacuées par la surverse T5 ne sont pas prises en compte dans le calcul du taux d'abattement.

Une cartographie des zones de dépôt est présentée pour le débit de dimensionnement. La cartographie des autres débits peut être retrouvée de l'Annexe 4 : à l'Annexe 8 :

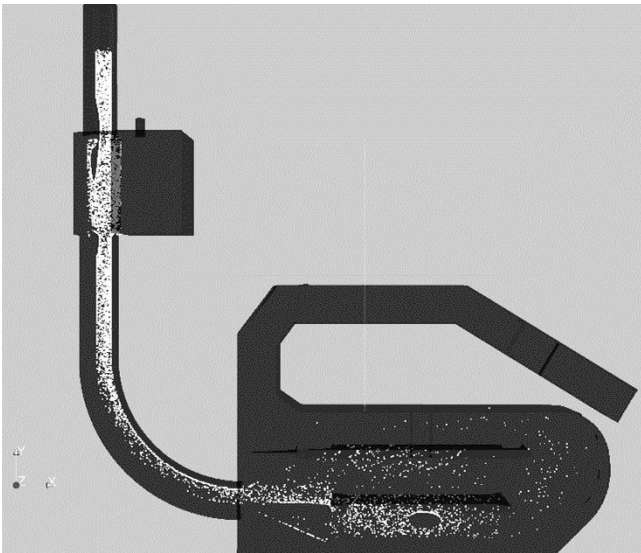


Figure 3.7 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 285 microns

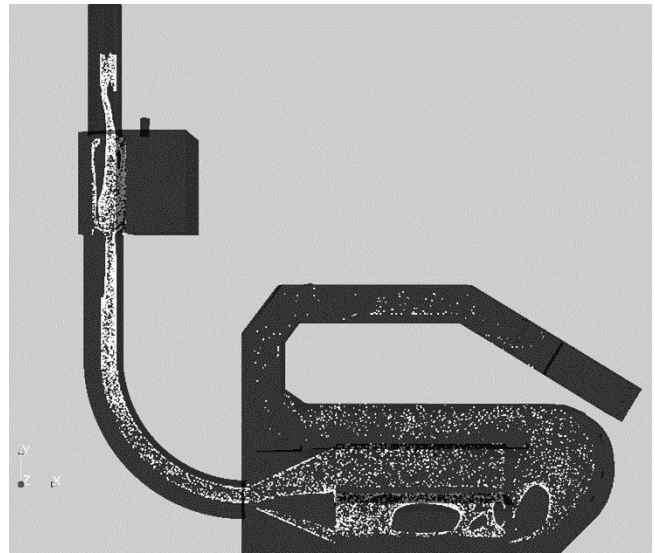


Figure 3.8 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 200 microns

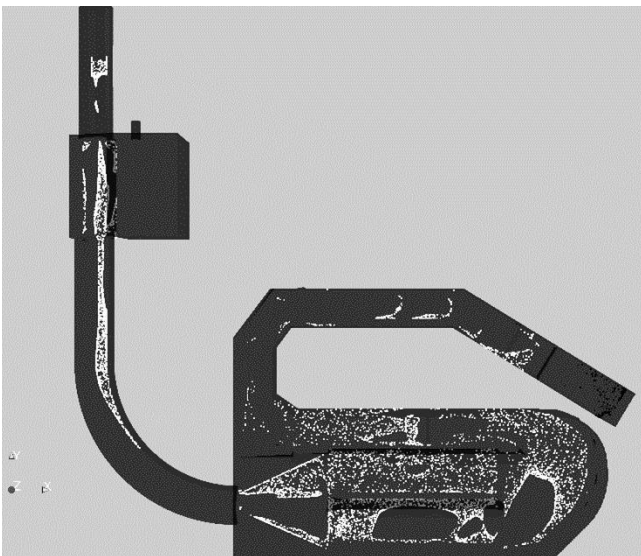


Figure 3.9 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 157 microns

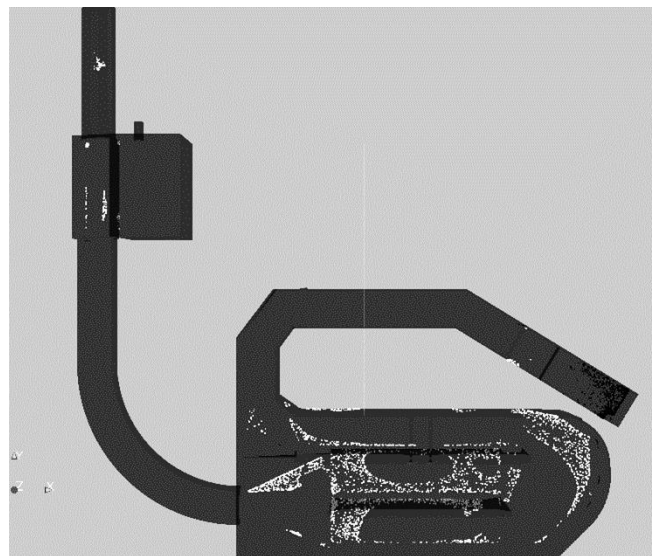


Figure 3.10 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 104 microns

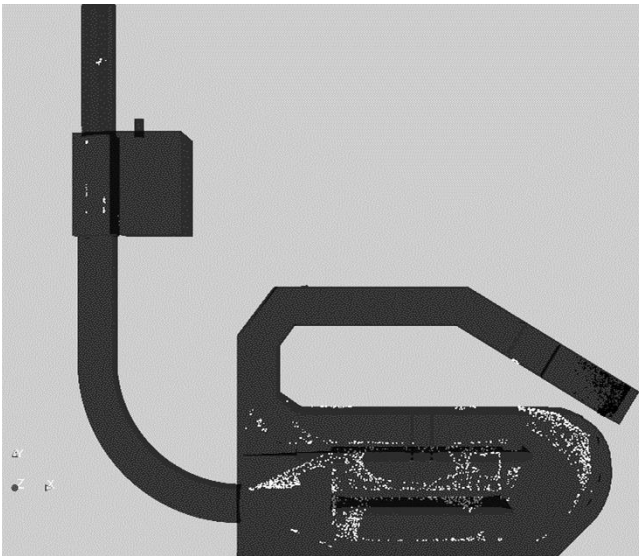


Figure 3.11 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 72 microns

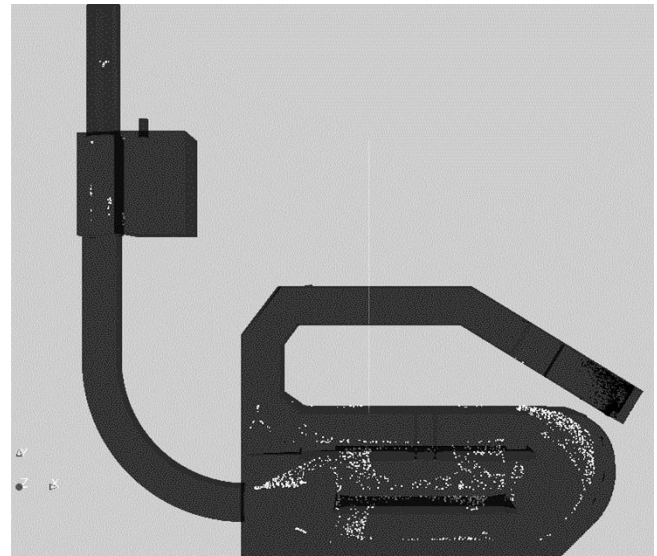


Figure 3.12 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre de 50 microns

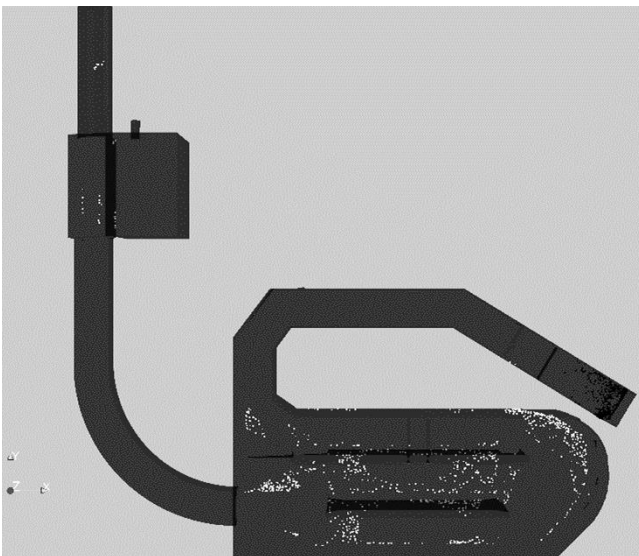


Figure 3.13 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 23 microns

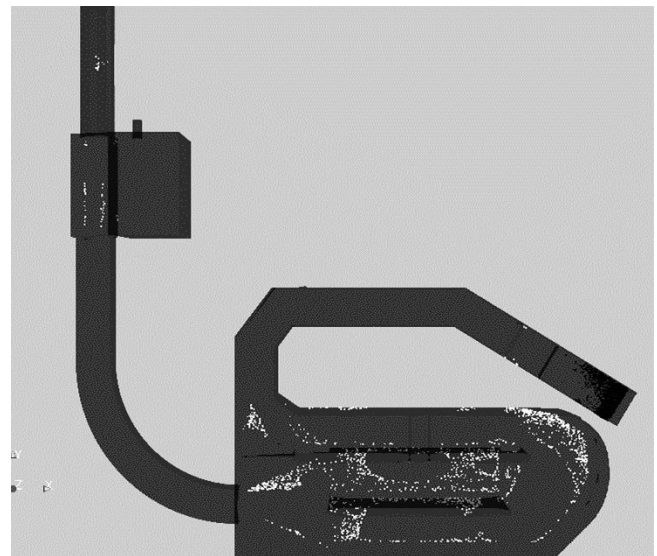


Figure 3.14 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 7 microns

Sur la cartographie, il est possible d'observer des zones où le dépôt est inexistant au sein de la chambre à sable. Cela peut être dû aux recirculations qui ont été observées lors des modélisations de l'écoulement. Le dépôt dans la conduite est également important pour les diamètres supérieurs à 100 $\mu$ m. En effet, il est observé que plus de 70% des particules qui se sont déposées se sont déposées dans la conduite en amont de la station. Cela est également valable pour les petits débits. Pour les forts événements pluvieux, il n'y a que très peu de dépôts dans la conduite amont. Les pourcentages de dépôts dans la conduite amont sont représentés dans le **Tableau 3.6** pour les débits dans la gamme de fonctionnement de la chambre à sable :



Tableau 3.6 - Pourcentage de dépôt dans la conduite amont pour la gamme de débit de fonctionnement de la chambre à sable

Débit		0.22 m <sup>3</sup> /s		0.5 m <sup>3</sup> /s		0.9 m <sup>3</sup> /s	
Diamètre (μm)	Vitesse de chute (m/h)	Abattement conduite (%)	Abattement station (%)	Abattement conduite (%)	Abattement station (%)	Abattement conduite (%)	Abattement station (%)
7	0.1	27.0%	73.0%	26.1%	73.9%	2.5%	97.5%
23	1	30.0%	70.0%	24.5%	75.5%	3.5%	96.5%
50	5	38.9%	61.1%	23.8%	76.2%	3.4%	96.6%
72	10	50.9%	49.1%	23.1%	76.9%	2.4%	97.6%
104	20	76.9%	23.1%	39.3%	60.7%	5.5%	94.5%
157	40	98.5%	1.5%	77.7%	22.3%	36.5%	63.5%
200	59	100.0%	0.0%	94.5%	5.5%	58.7%	41.3%
285	100	100.0%	0.0%	100.0%	0.0%	84.6%	15.4%

Pour des débits plus faibles, le dépôt dans la conduite est également important pour des vitesses de chute plus faibles (voir **Annexe 4** : à **Annexe 8** :). En effet, le pourcentage de particules dans la conduite décroît très vite avec la vitesse de chute pour le débit de dimensionnement mais ne diminue que faiblement pour le débit de période de retour 1 mois. La station est donc performante pour la décantation mais c'est essentiellement la conduite amont qui joue le rôle de décanteur pour les particules à forte vitesse de chute (supérieure à 30m/h). Il y a donc un risque de curage de la conduite lors d'évènements pluvieux plus fort (décennal d'été par exemple).

Afin de visualiser la remise en suspension des particules dans la chambre à sable, une simulation différente a été effectuée. En effet, pour les simulations précédentes, l'injection des particules est faite au niveau de l'injection du débit. Pour visualiser la remise en suspension, les zones d'injection des particules ont été modifiées comme sur la **Figure 3.15**. Les zones d'injection sont présentées en rouge.

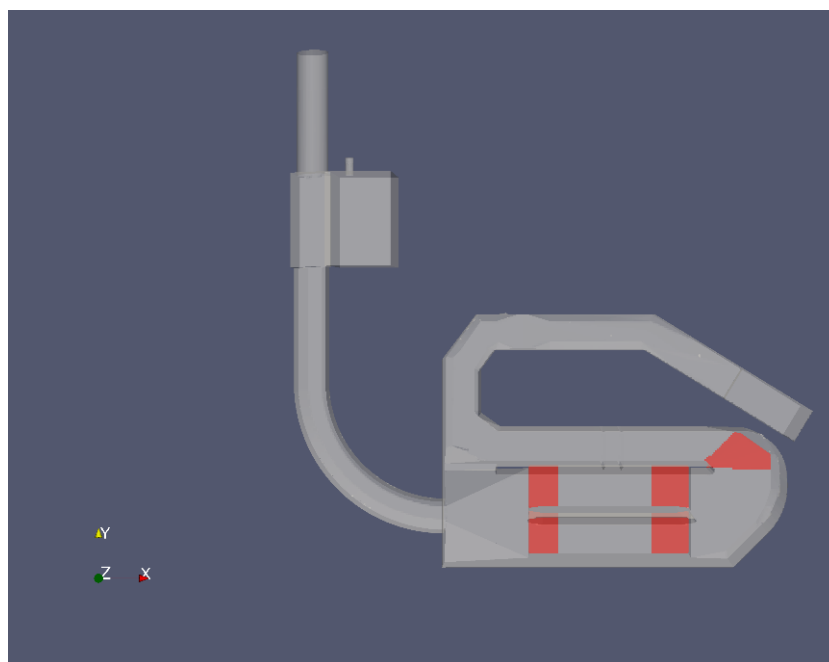


Figure 3.15 - Zones d'injection pour le test de la remise en suspension

Ces tests de remise en suspension sont effectués pour des débits correspondant aux forts événements pluvieux notamment le débit décennal d'été future. Pour le premier essai, ce sont des particules de 200µm qui sont envoyées. Les particules présentes sur la zone d'injection n°3 semblent être remises en suspension. Celle de la zone n°1 reste au niveau de la zone d'injection ou de la chambre à sable. Un deuxième test a été effectué avec des particules ayant une vitesse de chute beaucoup plus faible (soit 1m/h). Pour cet essai, la quasi-totalité des particules ont été charriées et emmené vers la Seine. Ces essais indiquent qu'il y a un risque de remise en suspension des particules à faible vitesse de chute lors des forts événements pluvieux.

**En conclusion**, les particules ayant un diamètre supérieur à 200µm, seuil de coupure de la chambre à sable, ont un taux d'abattement correct (supérieur à 80%) pour la gamme de fonctionnement de la chambre à sable. Toutefois, ces particules ont tendance à se déposer au sein de la conduite amont de la station, ce qui peut entraîner un potentiel encrassement de la conduite et c'est donc la conduite qui sert de dessableur.

Le taux d'abattement ne descend pas en dessous de 30% pour les débits de fonctionnement de la chambre à sable même pour des petits diamètres. Toutefois, il faut noter que pour de forts événements pluvieux, les particules ayant une faible vitesse de chute sont entraînées vers la Seine et que pour les grosses particules le taux d'abattement est tout de même plus faible.

Le fonctionnement de la station d'un point de vue transport solide s'approche des objectifs. Il faudra donc veiller lors de l'optimisation de l'écoulement hydrodynamique à ne pas diminuer les performances de décantation de la station.

## 3.2. Situation « Crue »

### 3.2.1. Ecoulement hydrodynamique

Pour le cas où la station est en crue, la vidange vers la Seine s'effectue par pompage avec un débit de pompage de  $0.5\text{m}^3/\text{s}$ . Le débit qui a été simulé est le débit correspondant à la pluie décennale d'hiver. En effet, c'est à partir de ce débit que le débit de pompage a été calé. La répartition par la chambre à sable et le by-pass sera analysée.

Le débit à travers le by-pass doit être nul ainsi qu'au niveau de la surverse T5. Pour la répartition, 75% du débit passe dans la chambre à sable de droite tandis que 25% passe dans la chambre à sable de gauche. Sur la **Figure 3.16**, quelques lignes de courant ont été tracées :

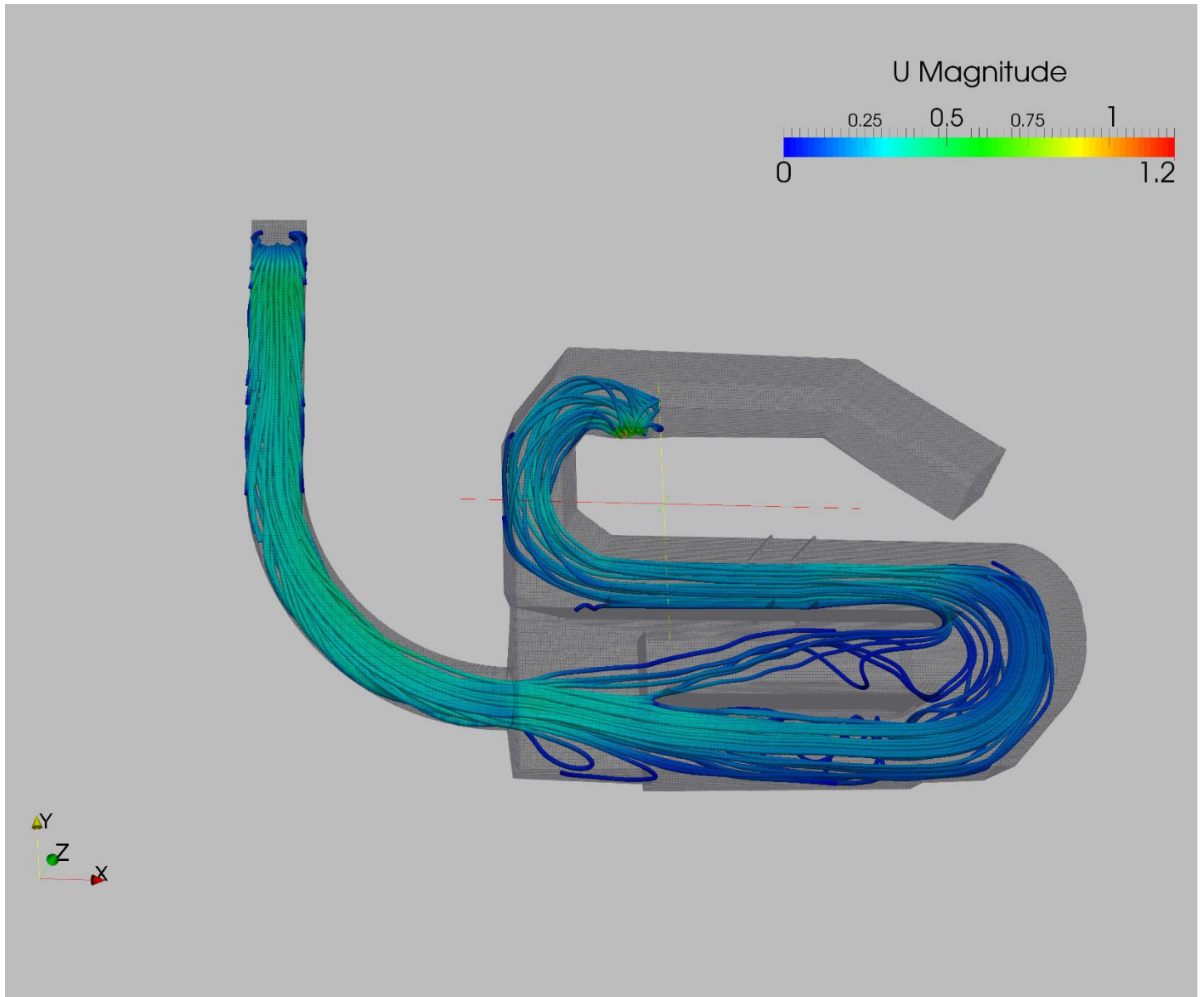


Figure 3.16 - Lignes de courants pour un débit de  $0.5\text{m}^3/\text{s}$  en situation "crue"

Pour la situation en « crue », il y a une répartition inégale du débit au sein de la chambre en sable pour le débit décennal d'hiver. Le by-pass n'est pas sollicité, ce qui correspond à l'objectif d'un non dépassement pour des débits inférieurs à  $0.9\text{m}^3/\text{s}$ . L'écoulement hydrodynamique en crue est donc semblable à celui « hors crue ». La conclusion est donc la même, la géométrie doit être repensée pour avoir une répartition égale au sein de la chambre à sable.

### 3.1.2. Transport solide

L'abattement pour la situation en crue est plus faible que celui « hors-crue » pour le débit décennal d'hiver. Toutefois, la chambre à sable permet de conserver 90% des particules au minimum qui ont un diamètre supérieur ou égal à 200 $\mu$ m. L'écart entre le taux d'abattement hors crue et en crue est de l'ordre de 10%. Cet écart est visible sur la **Figure 3.17**:

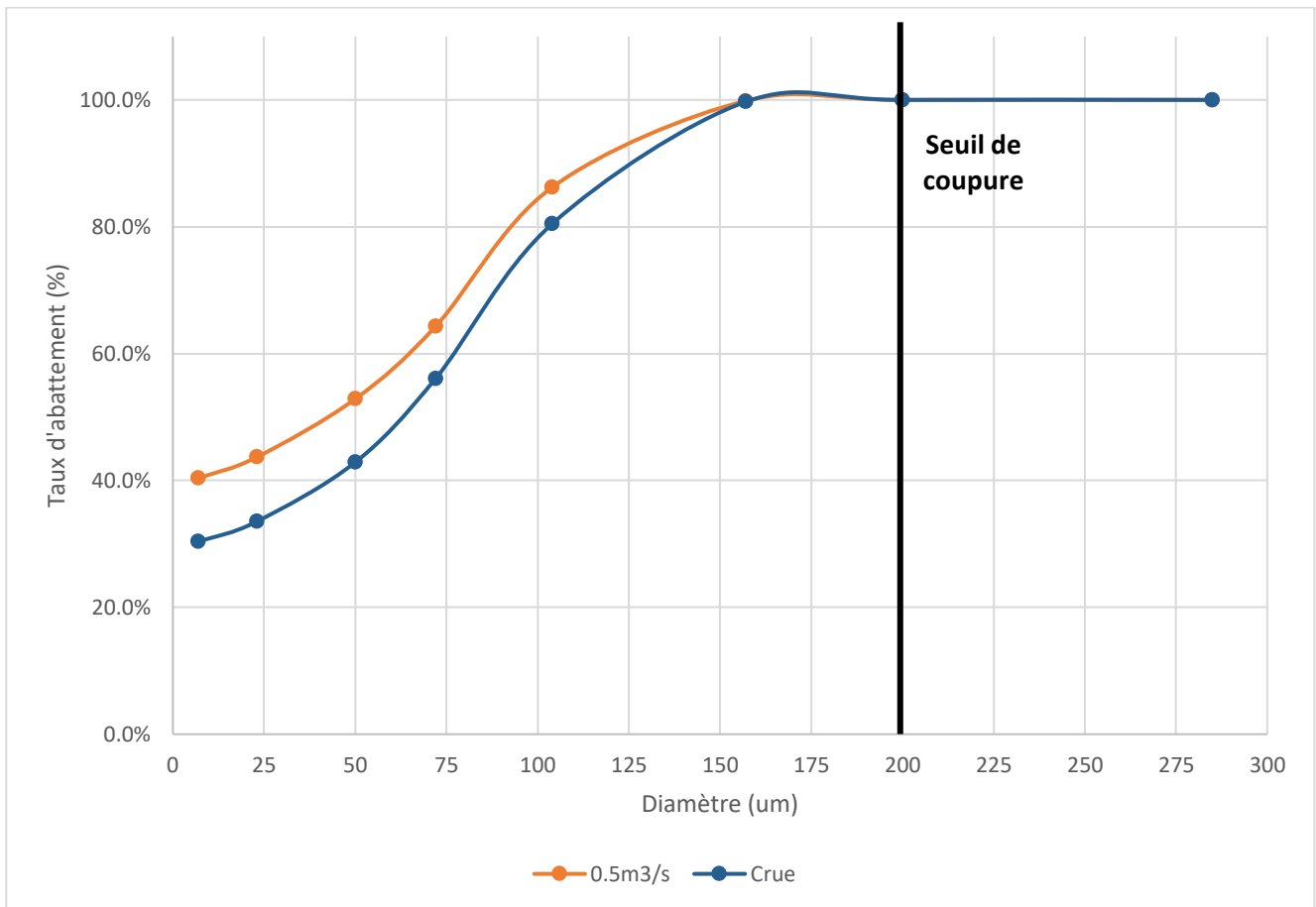


Figure 3.17 - Comparaison du taux d'abattement en situation en crue et hors crue pour le débit de 0.5m<sup>3</sup>/s

L'abattement global reste satisfaisant pour la situation en crue. Cette différence de performance entre la situation en crue et hors crues peut être expliquée par le fait que les vitesses au sein de la chambre à sable sont légèrement plus élevées pour la situation en crue. En effet, le niveau d'eau est plus bas donc les vitesses sont plus élevées.

La cartographie des zones de dépôt est présentée ci-dessous et peut être comparée avec la cartographie du débit similaire en situation hors crue présente en **Annexe 5** .:

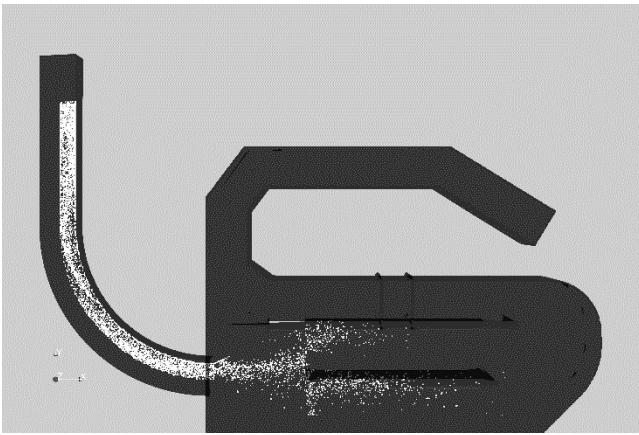


Figure 3.18 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 285 microns

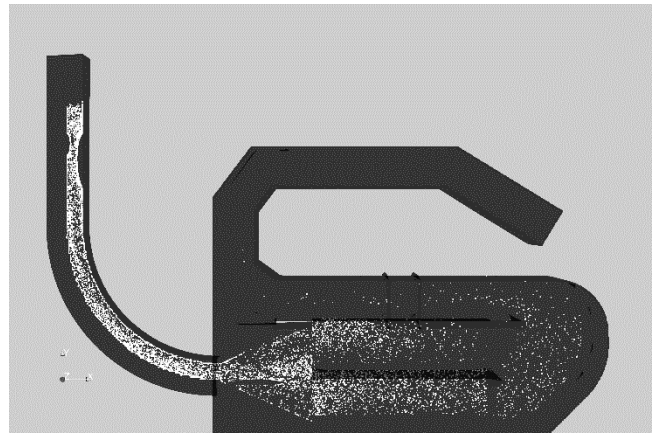


Figure 3.19 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 200 microns

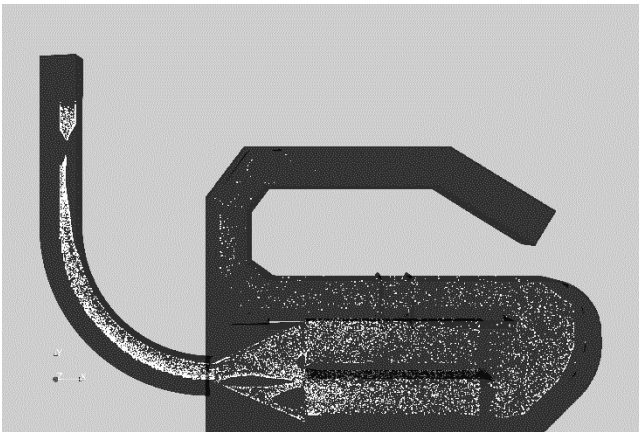


Figure 3.20 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 157 microns

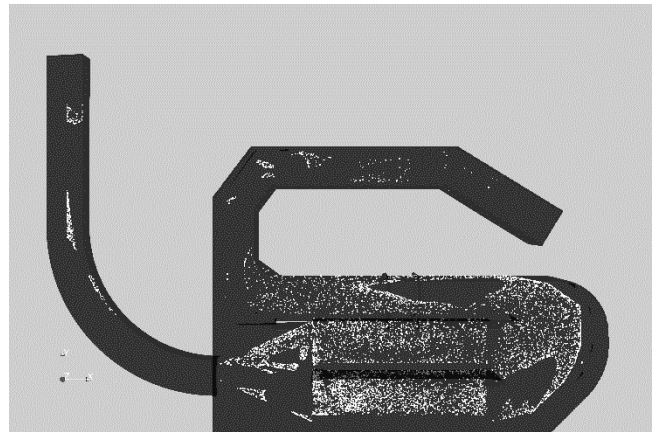


Figure 3.21 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 104 microns

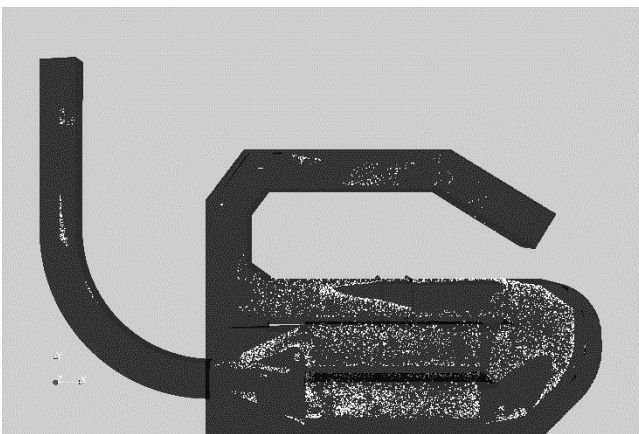


Figure 3.22 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 72 microns

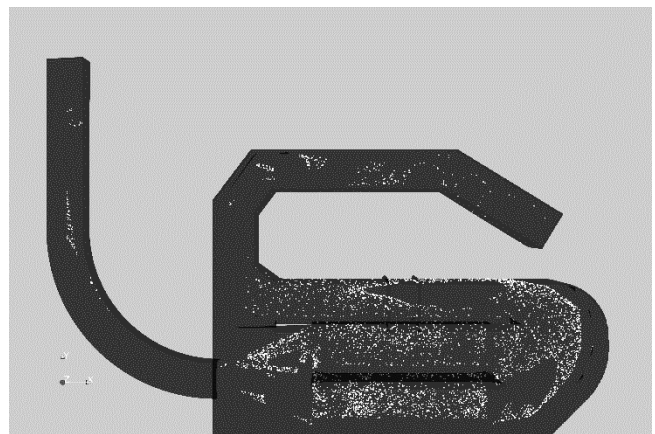


Figure 3.23 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 50 microns

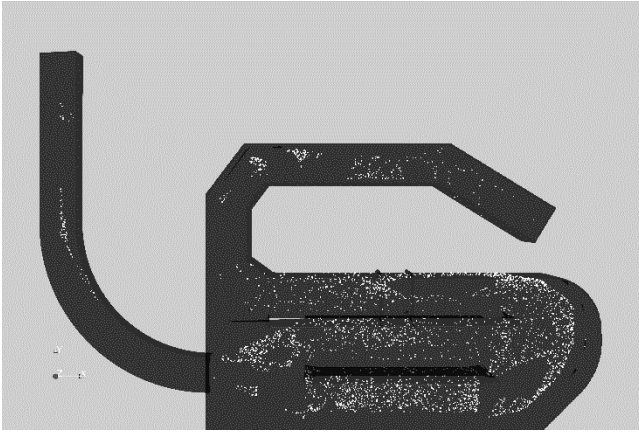


Figure 3.24 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 23 microns

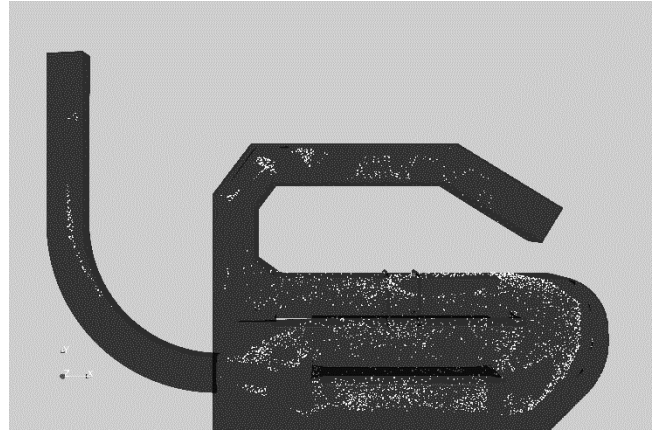


Figure 3.25 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 7 microns

Lors de la comparaison entre les deux cartographies pour le même débit, une différence est observée. En effet, le dépôt dans la conduite en amont est moins important dans le cas de la situation en crue. Par exemple, pour les particules de diamètres  $104\mu\text{m}$ , il y a 40% des particules déposées qui le sont dans la conduite pour la situation hors crue tandis qu'il y a seulement 5% des particules déposées pour la situation en crue.

**En conclusion**, la répartition dans la chambre à sable dans la situation en crue est relativement semblable à la situation hors crue. Il y a une plus grande proportion du débit dans la chambre à sable de droite. Le by-pass n'est pas sollicité, ce qui correspond à l'objectif.

D'un point de vue transport solide, la station est moins performante pour la rétention de particules que lorsqu'elle est en situation « hors crue ». Il y a une diminution de la performance de l'ordre de 10%. Toutefois, le dépôt est moins présent dans la conduite amont et c'est cette fois-ci la chambre à sable qui joue le rôle de décanteur. La géométrie optimisée devra donc prendre en compte ces résultats pour améliorer les performances de la station.



## 4. Phase 2 : Optimisation de l'écoulement et de la dépollution

### 4.1. Modification de la géométrie

Il a été observé lors du diagnostic que le by-pass n'avait pas un fonctionnement optimal et que la répartition dans la chambre à sable n'est pas homogène. L'idée est de régler le problème du by-pass dans un premier temps et de prendre en compte la répartition dans la chambre à sable dans un second temps.

La répartition au sein de la chambre à sable étant mauvaise, l'idée est de former un seul couloir avec trois passages au sein de la chambre à sable. Cela engendre un couloir d'une largeur de 1.7m. Seule la zone de la chambre à sable et l'arrivée à la station ont été modifiées, le reste de la station reste comme il a été pensé au départ. Une paroi est érigé afin de diriger le flot vers le by-pass est de conserver  $0.9\text{m}^3/\text{s}$  vers la chambre à sable, la paroi est abaissée de 5cm par rapport au by-pass. La condition aux limites reste inchangée et prend en compte l'influence aval. La taille de maille est de 10cm.

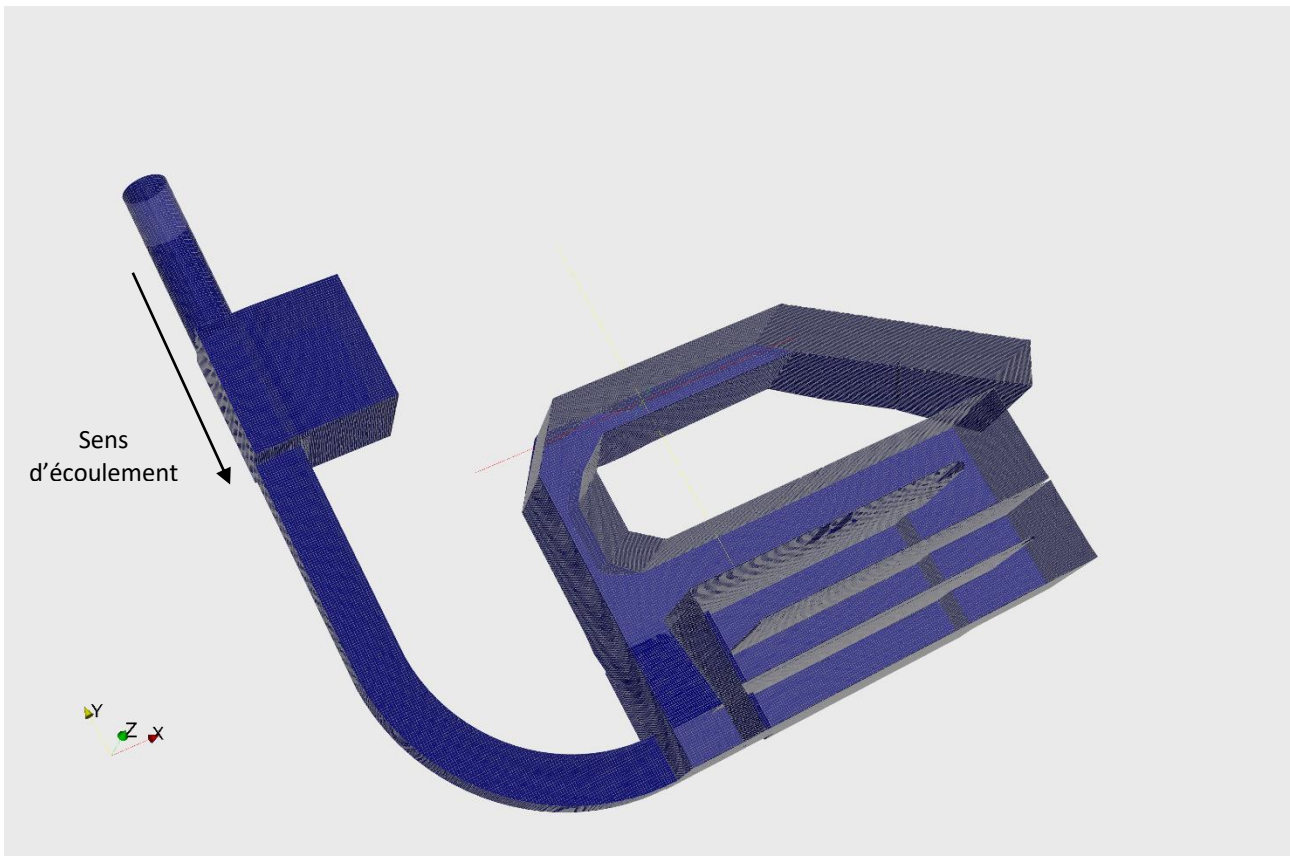


Figure 4.1 - Géométrie optimisé vue de 3/4

Sur la **Figure 4.1**, il est possible de distinguer la paroi permettant de conserver un débit inférieur à  $0.9\text{m}^3/\text{s}$  vers la chambre à sable. Le bas de la paroi est donc à 30.75m NGF. Le by-pass est proposé de manière incliné afin d'éviter une crête épaisse trop large où le dépôt aurait pu être présent. Sur la **Figure 4.2**, il est possible de distinguer les trois chambres et les rétrécissements des canaux au niveau du passage d'une chambre à sable à l'autre.



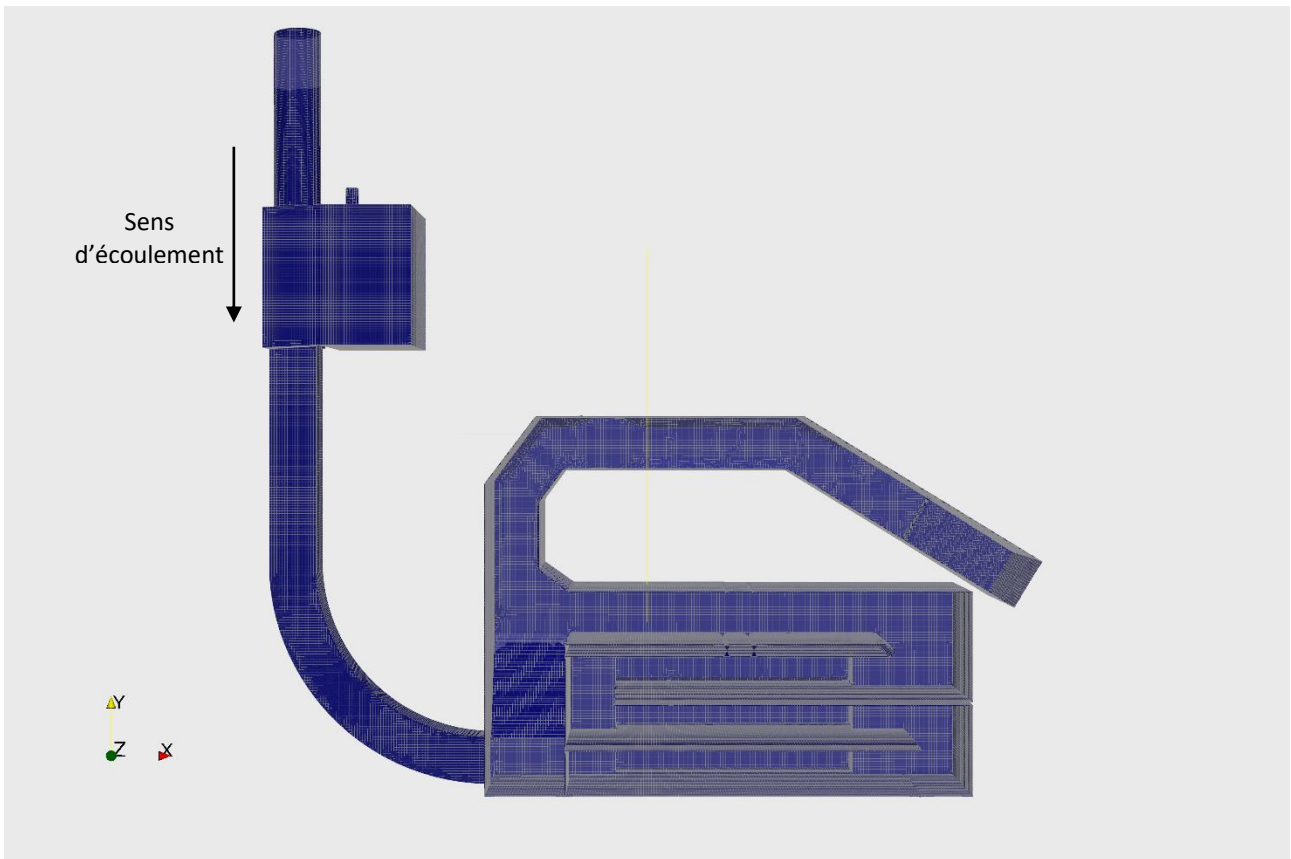


Figure 4.2 - Géométrie optimisé vue de dessus

## 4.2. Écoulement hydrodynamique

Les simulations sont effectuées pour la situation hors crues. Seul deux débits sont simulés : le débit de dimensionnement de la chambre à sable :  $0.9\text{m}^3/\text{s}$  et un fort évènement, la pluie décennale d'été future :  $3.2\text{m}^3/\text{s}$ . Sur la **Figure 4.3**, les lignes de courant ont été tracées. Il est possible de remarquer qu'il y a une recirculation au niveau des « virages » et une augmentation des vitesses par rapport à la chambre à sable sous forme de deux couloirs. En effet, les vitesses sont de l'ordre de  $0.5\text{m/s}$  voir plus tandis qu'initialement les vitesses étaient de l'ordre de  $0.2$  ou  $0.3\text{m/s}$ .

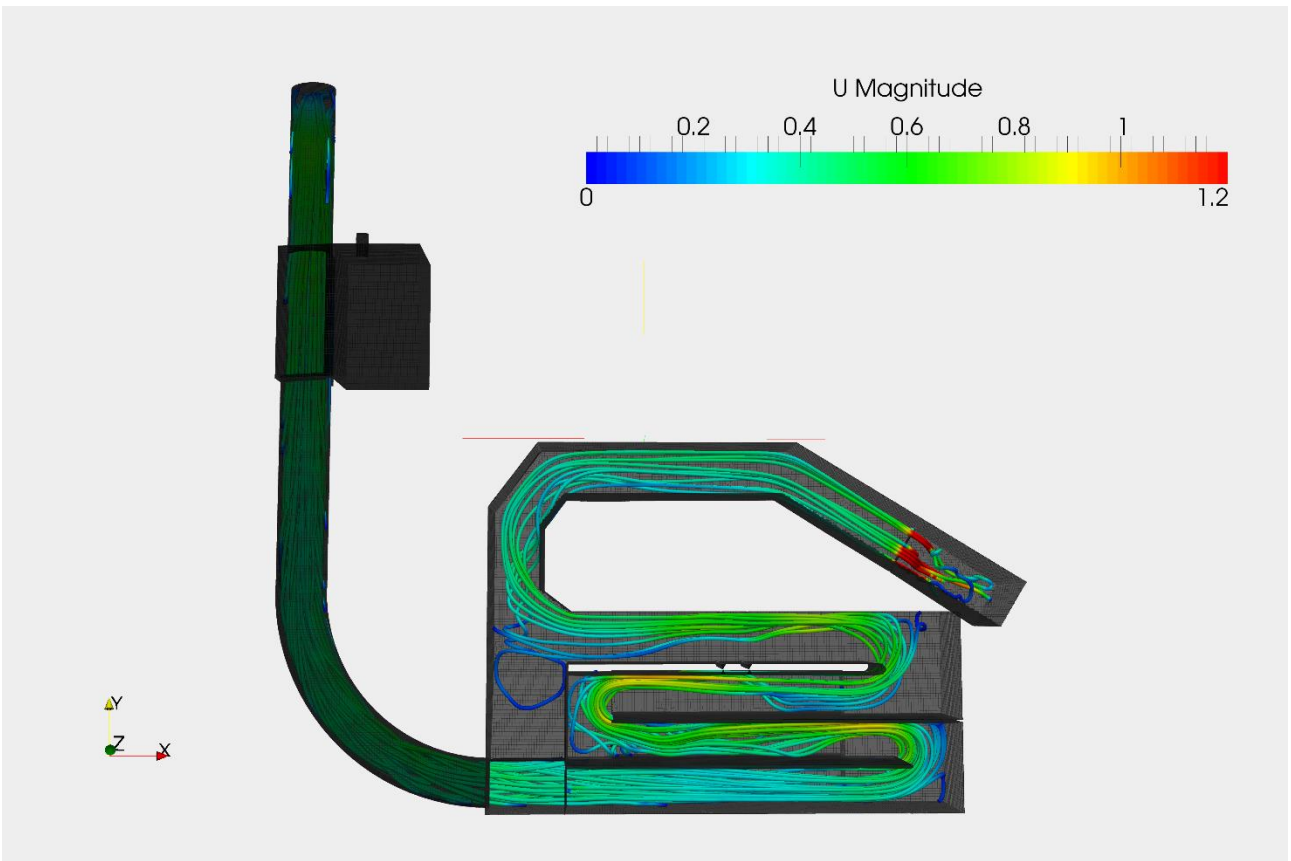


Figure 4.3 - Lignes de courant pour le débit de  $0.9\text{m}^3/\text{s}$

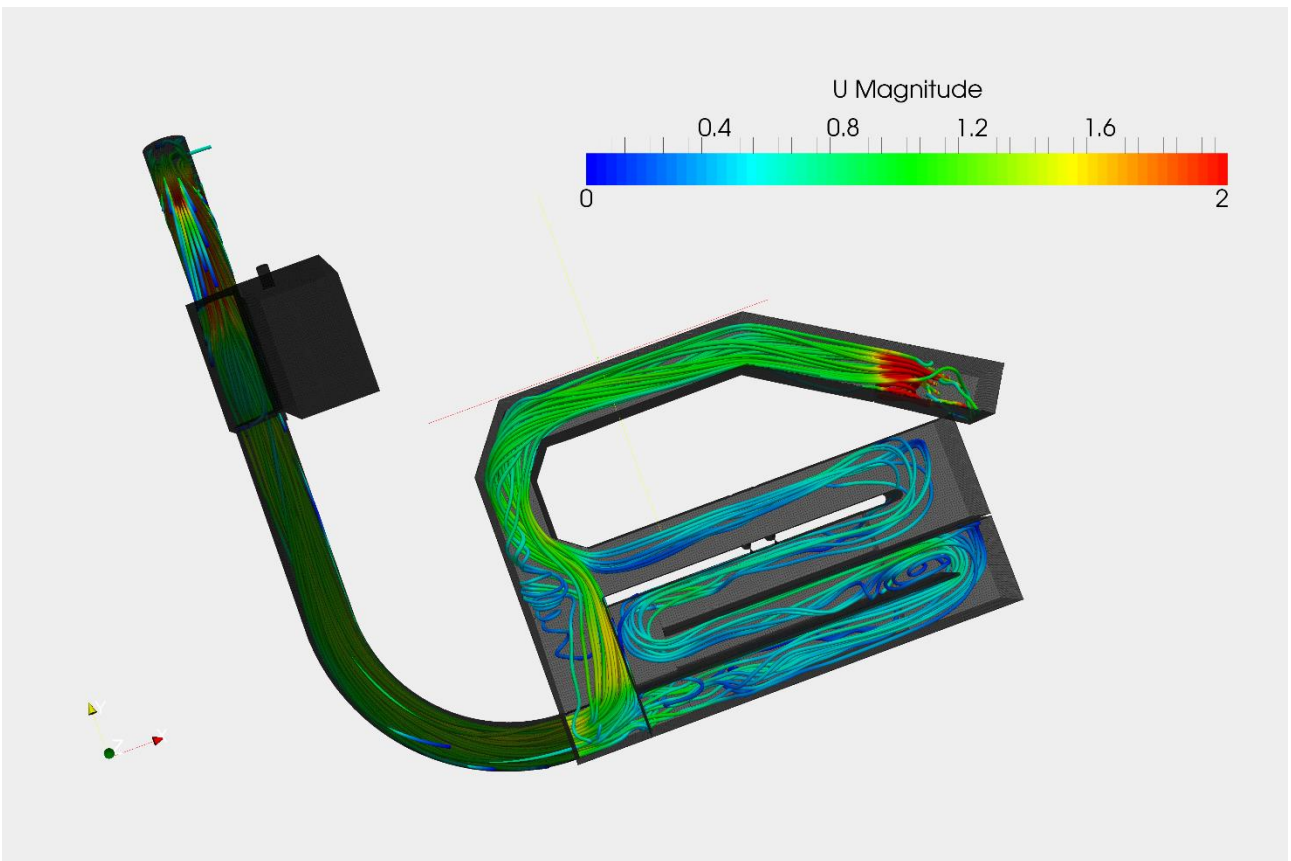


Figure 4.4 - Lignes de courant pour le débit de  $3.2\text{m}^3/\text{s}$

Pour un fort évènement pluvieux comme sur la **Figure 4.4**, les vitesses sont plutôt élevées, de l'ordre de 1m/s. Cela va avoir une influence sur le dépôt puisque la vitesse de chute de la particule doit être supérieure à la vitesse de l'écoulement. Toutefois, il y a trois passages par une chambre à sable. Il faudra donc vérifier les performances en termes de transport solide de la station. Au niveau de la séparation de débit entre le by-pass et la chambre à sable, 1.3m<sup>3</sup>/s est conservé dans la chambre à sable. L'objectif de ne conserver que 0.9m<sup>3</sup>/s n'est toujours pas atteint mais avec la géométrie initial, c'était 2.5m<sup>3</sup>/s qui était conservé.

Cette forme de by-pass permet donc de mieux réguler le débit mais l'objectif n'est toujours pas atteint. Il est possible d'envisager de diminuer encore la hauteur de la paroi de 5cm soit le bas de paroi à 30.70m NGF tout en conservant la hauteur de crête du by-pass à 30.80. En effet, la hauteur d'eau au niveau du by-pass pour la modélisation du débit 0.9m<sup>3</sup>/s indique qu'il y a encore possibilité de diminuer la hauteur.

### 4.3. Transport solide

Il a été observé sur les modélisations hydrauliques que les vitesses au sein de la chambre à sable étaient plus élevées qu'avec les deux chambres à sables. Cela aura peut-être une influence sur le dépôt puisque la vitesse de l'écoulement sera supérieure à la vitesse de chute. Des essais ont été effectués pour les particules supérieures à 100µm. Sur le graphique suivant, les taux d'abattement ont été comparés pour les trois essais de particules soit : 285µm, 200µm, 157µm et 104µm.

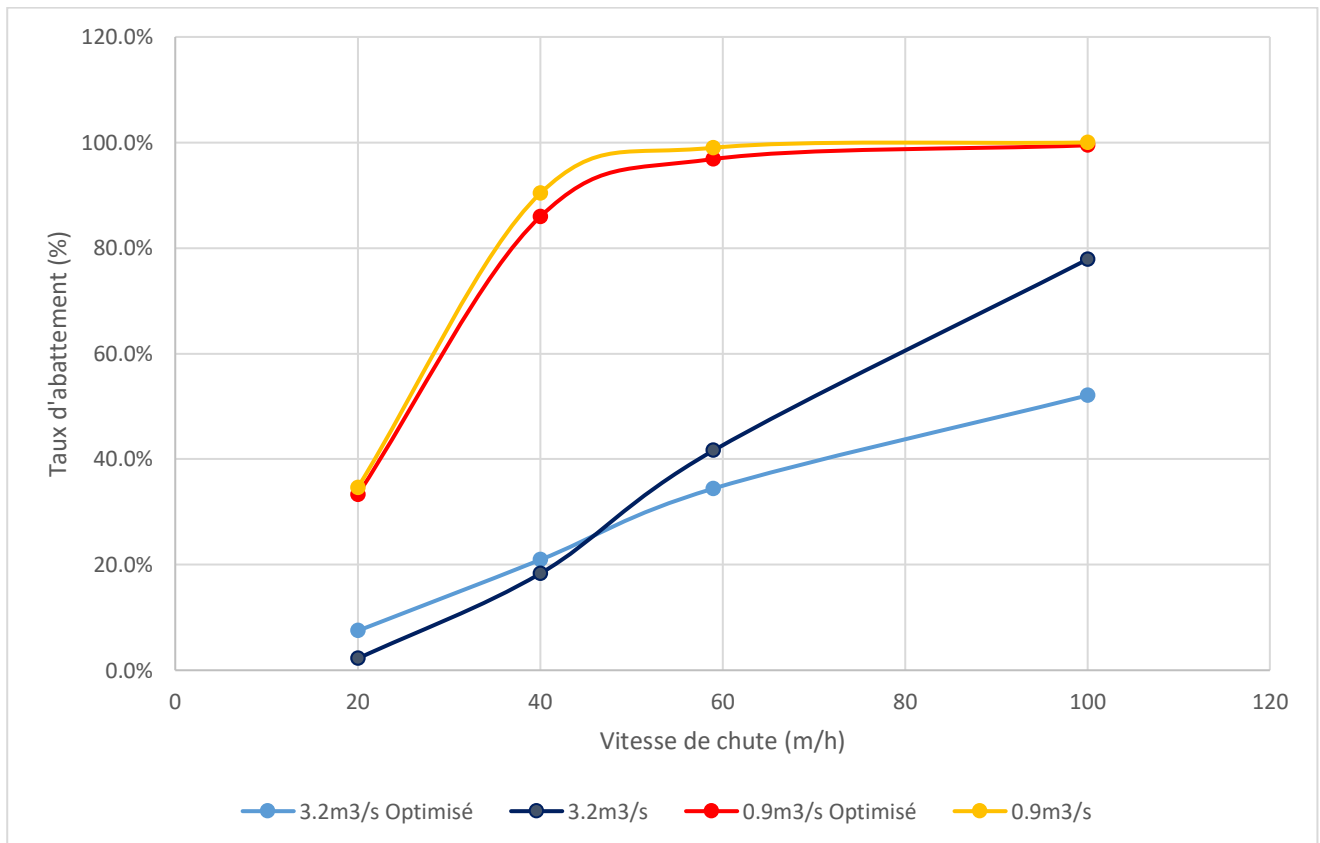


Figure 4.5 - Comparaison du taux d'abattement en fonction de la vitesse de chute

Le taux d'abattement est plus faible pour les particules de 200 $\mu\text{m}$  et 285 $\mu\text{m}$ . La différence est d'autant plus forte pour les forts débits. Toutefois, pour les particules plus fines, le taux d'abattement est plus élevé pour la géométrie optimisée que la géométrie initiale. Le taux d'abattement semble chuter moins vite avec la vitesse de chute pour la géométrie optimisée.

Les dépôts se font principalement dans la première chambre à sable. Le dépôt dans la conduite amont pour le débit de 0.9m<sup>3</sup>/s reste important.

Le problème étant la mauvaise répartition du débit dans les chambres à sable, la géométrie optimisée possède trois passages par une chambre à sable unique. Le passage par le by-pass est forcé à l'aide d'une vanne fixe abaissée 5cm en dessous de la hauteur de crête du by-pass. La surverse vers T5 n'est pas modifiée. Les résultats indiquent une vitesse un peu plus élevée au niveau de la chambre à sable et une conservation du débit vers la chambre à sable de 1.3m<sup>3</sup>/s L'objectif n'est toujours pas atteint mais le débit transitant à travers la chambre à sable pendant les forts événements pluvieux est fortement réduit (environ 50%).

Pour le transport solide, les performances de la station étaient correctes malgré le fait que le collecteur amont jouait un rôle important dans cette performance. Toutefois, la géométrie optimisée a tendance à diminuer le taux d'abattement pour les grosses particules même si il est meilleur ou égal pour les particules plus fines.

Cette géométrie n'est donc pas optimale et d'autres aménagements sont nécessaires en prenant en compte ces premiers résultats.



## Conclusion

Ce rapport présente l'utilisation d'outils non usuels en modélisation 3D pour diagnostiquer les performances hydrauliques et de sédimentation d'une station anti-crue à Vitry-sur-Seine. La modélisation 3D s'est appuyée sur quatre points essentiels :

- ✓ La géométrie et le maillage de la station sont la base de la modélisation 3D. Pour l'écoulement hydrodynamique, c'est le **solveur *porousInterFoam*** du logiciel OpenFoam qui a été utilisé. Il a permis de résoudre les **équations de Navier-Stokes** couplé à un modèle de turbulence **k-oméga SST** en prenant en compte un régime transitoire et un milieu poreux. La surface libre a été modélisée à l'aide du modèle ***Volume of Fluid***.
- ✓ Le transport solide a été modélisé à l'aide d'un suivi lagrangien de particules couplé à une condition aux parois particulière s'appuyant sur l'énergie cinétique turbulente : la condition ***Bed Turbulent Kinetic Energy***. Cette condition dépend du diamètre adimensionnel de la particule et s'appuie sur un critère de charriage et mise en suspension. La masse volumique des particules a été prise à **2000kg/m<sup>3</sup>** et une gamme de vitesse de chute/diamètre a été modélisée.
- ✓ La présence du dégrilleur dans la station a amené une réflexion sur la manière de la modéliser. L'idée étant de réduire le nombre de maille tout en gardant un maillage insensible afin de réduire le temps de calcul, le dégrilleur a été modélisé à l'aide d'un **milieu poreux**. Le milieu poreux engendre une perte de charge semblable à la perte de charge créée par le dégrilleur.
- ✓ Le rejet en Seine de la station se fait par un siphon d'une centaine de mètre. Afin de gagner du temps de calcul, le siphon a été réduit à une influence aval codée pour la sortie de la station. L'utilisation du complément ***swak4Foam*** et de la fonction ***GroovyBC*** ont permis de mettre une condition aux limites sous forme d'équations dépendantes de la pression pour la sortie de la station. Cette condition aux limites a permis de modéliser l'influence du siphon sans pour autant modéliser le siphon lui-même.

Le premier objectif de ces modélisations était de diagnostiquer le fonctionnement hydraulique de la station. La chambre à sable sous forme de deux canaux avait pour objectif d'avoir une **répartition homogène du débit**. Suite aux modélisations, il a été observé que la répartition était **périodique pour la gamme de fonctionnement** de la chambre à sable tout en favorisant une chambre à sable avec **une répartition de l'ordre de 70/30**. Pour les forts évènements pluvieux, c'est une des deux chambres qui est favorisé avec **une répartition de 60/40 voire 80/20**. Dans le cas où la station est en situation de crue, le fonctionnement hydraulique de la station est semblable.

Le by-pass des ouvrages de traitement devait permettre de **conserver 0.9m<sup>3</sup>/s** en direction de la chambre à sable pour les forts évènements pluvieux. Les modélisations ont montrées que les débits déversés via le by-pass sont très inférieurs à l'objectif et que le débit transitant via la chambre à sable est **deux à trois fois supérieur au débit de dimensionnement**.

La surverse vers T5 était conçue afin de conserver le débit maximum à l'exutoire au sein de la station soit **un débit de 3.2m<sup>3</sup>/s vers la station**. Les modélisations ont montré qu'il n'y avait effectivement **pas de déversement pour des débits inférieurs** mais également que la surverse déverse **environ 10% de débit de moins que prévu** dans les objectifs. Toutefois, cela implique une moindre quantité d'eau envoyée dans le réseau d'eaux usées.

Le deuxième objectif était d'observer le comportement de la station en cas de **panne du dégrilleur**. Le by-pass est mis en fonctionnement lorsque la hauteur d'eau atteint la hauteur de crête. Il y a une **recirculation au niveau de la chambre à sable**.

Le troisième objectif est de connaître le **débit d'évacuation à travers la vanne de vidange**. La modélisation a fourni une équation permettant de connaître le **débit moyen d'évacuation en fonction de la hauteur d'eau initiale** dans la station.

Le quatrième et dernier objectif concerne le transport solide. En effet, le DSEA souhaite connaître le **taux d'abattement de la station ainsi que les zones préférentielles de dépôts** en vue d'une future exploitation facilitée. La chambre à sable a été dimensionnée avec un **seuil de coupure à 200 $\mu$ m**. Pour la gamme de fonctionnement de la chambre à sable, le taux d'abattement est **supérieur à 80%** avec une faible différence pour le cas où la station est en crue. Pour les forts évènements pluvieux, il est plus faible mais reste supérieur à 30%. Toutefois, il faut noter que pour la gamme de fonctionnement de la chambre à sable, **plus de 50% des particules supérieures à 100 $\mu$ m se dépose dans la conduite amont** et non pas dans la chambre à sable. Des tests de remise en suspension ont été effectués afin de voir si les forts évènements pluvieux pouvaient entraîner les particules présentes dans la station. Il s'est avéré que **les forts évènements pluvieux pouvaient entraîner les petites particules** présentes notamment ailleurs que dans la chambre à sable

Une géométrie optimisée a été proposée en réglant le problème de la répartition dans les deux chambres à sable par **une unique chambre et trois passages au sein de celle-ci**. Le by-pass a été conservé en ajoutant **une vanne seuil fixe abaissée à 5 cm en dessous de la hauteur de crête**. Cela permet de conserver environ **deux fois moins de débit vers la chambre à sable** qu'avec la géométrie initiale. Toutefois, le taux d'abattement pour les grosses particules est un peu moins bon que pour la géométrie initiale même si pour les particules plus fines, il semble être meilleur. Cette première piste d'optimisation n'est pas optimale mais cela donne déjà une idée des aménagements qui peuvent être proposés par la suite.

## Bibliographie

Adamsson A. (1999), Computational Fluid Dynamics for Detention Tanks: Simulation of Flow Pattern and Sedimentation. *Thesis for the degree of licentiate of engineering of Chalmers university of technology, Goteborg, Sweden.*

Bertrant-Krajewski J.L. (2006), Les polluants des rejets urbains de temps de pluie: natures, concentrations, flux, caractéristiques physico-chimiques, solides en suspension, et répartition temporelle durant les événements pluvieux. *Cours d'hydrologie urbaine de l'INSA de Lyon [Consulté le 20/01/2017].*

Chebbo G. (1992), Solides des rejets pluviaux urbains : caractérisation et traitabilité. *Thèse de doctorat de l'École Nationale des ponts et chaussée.*

Dufresne M., Dewals B., Erpicum S., Archambeau P., Pirotton M. (2010), Experimental investigation of flow pattern and sediment deposition in rectangular shallow reservoirs. *International Journal of Sediment Research, Vol.25, pp.258-270, doi : 10.1016/S1001-6279(10)60043-1.*

Dufresne M., Terfous A., Ghenaim A., Poulet J.B., Vazquez J. (2008), Prévoir l'efficacité des bassins d'orage par modélisation 3D : du bassin expérimental à l'ouvrage réel. *La Houille Blanche, Vol 1, pp90-96, doi : 10.1051/lhb:2008061.*

Dufresne M., Terfous A., Ghenaim A., Poulet J.B., Vazquez J. (2010), Modélisation 3D du transport solide dans les déversoirs d'eau excédentaire. *La Houille Blanche, Vol 5, pp92-98, doi : 10.1051/lhb/2010010.*

Dufresne M., Vazquez J., Terfous A., Ghenaim A., Poulet J.B. (2009a), CFD Modeling of solid separation in three combined sewer overflow chambers. *Journal of environmental engineering, Vol 135 Issue 9, doi: 10.1061/ASCE.1943-7870.0000017.*

Dufresne M., Vazquez J., Terfous A., Ghenaim A., Poulet J.B. (2009b), Experimental investigation and CFD modelling of flow, sedimentation, and solids separation in a combined sewer detention tank. *Computer and Fluids, Vol 38 Issue 5, doi:10.1016/j.compfluid.2008.01.011.*

Dupont J.P., Guézennec L., Lafite R., Le Hir P., Lesueur P. (2001), Matériaux fins : le cheminement des particules en suspension. *Fascicule SA 1.4, <http://seine-aval.crihan.fr>.*

Isenmann G. (2016), Approche Euler-Lagrange pour la modélisation du transport solide dans les ouvrages de décantation. *Thèse de doctorat de l'université de Strasbourg.*

Isenmann G., Bellahcen S., Vazquez J., Dufresne M., Mose R. (2016), Stage-discharge relationship for a pipe overflow structure in both free and submerged flow. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, 10:1, pp284-296, doi : 10.1080/19942060.2016.1157100.*



Kafi-Beny-Ahia M. (2006), Variabilité spatiale des caractéristiques et des origines des polluants de temps de pluie dans le réseau d'assainissement unitaire parisien. *Thèse de doctorat de l'école nationale des ponts et chaussées.*

Lipeme Kouyi G., Arias L., Barraud S., Bertrand-Krajewski J.L. (2010), CFD Modelling of flows in a large stormwater detention and settling basin. *Conférence: Novatech 2010, At Lyon, France.*

Morsi SA., Alexander AJ. (1972), An investigation of particle trajectories in two phase-flow systems. *Journal of Fluid Mechanics, Vol 55, pp 193-208, doi: 10.1017/S0022112072001806.*

Prolog Ingénierie, (2015a). Actualisation du projet de station anti-crue et de dépollution des eaux pluviales.

Prolog Ingénierie, (2015b). Création d'une station anti-crue et de dépollution des eaux pluviales : Note de présentation du projet.

Torres A. (2008), Décantation des eaux pluviales dans un ouvrage réel de grande taille : éléments de réflexion pour le suivi et la modélisation. *Thèse de doctorat de l'institut national des sciences appliquées de Lyon.*

Schmitt V., Dufresne M., Vazquez J., Fischer M., Morin A. (2013), Investigation expérimentale et numérique d'un séparateur hydrodynamique : Du pilote à la finalité d'une installation en fonctionnement. *La Houille Blanche, Vol 5, pp48-53, doi: 10.1051/lhb/2013042.*

Schmitt V. (2013), Investigation expérimentale et numérique d'un ouvrage de séparation particulaire en assainissement. *Thèse de doctorat de l'université de Strasbourg.*

Yan H., Lipeme Kouyi G., Gonzaler-Merchan C., Becouze-Lareure C., Sebastian C. (2014), Computational fluid dynamics modelling of flow and particulate contaminants sedimentation in an urban stormwater detention and settling basin. *Environmental Science and Pollution Research, 21:5347-5356, doi 10.1007/s11356-013-2455-6.*

# Annexe

<b>ANNEXE 1 :</b>	<b>PLAN DE LA STATION ANTI-CRUE .....</b>	<b>59</b>
<b>ANNEXE 2 :</b>	<b>REPARTITION DU DEBIT DANS LA CHAMBRE A SABLE.....</b>	<b>60</b>
<b>ANNEXE 3 :</b>	<b>REPARTITION DU DEBIT A TRAVERS LE BY-PASS.....</b>	<b>63</b>
<b>ANNEXE 4 :</b>	<b>CARTOGRAPHIE DES ZONES DE DEPOTS POUR UN DEBIT DE 0.22M<sup>3</sup>/S .....</b>	<b>65</b>
<b>ANNEXE 5 :</b>	<b>CARTOGRAPHIE DES ZONES DE DEPOTS POUR UN DEBIT DE 0.5M<sup>3</sup>/S .....</b>	<b>67</b>
<b>ANNEXE 6 :</b>	<b>CARTOGRAPHIE DES ZONES DE DEPOTS POUR UN DEBIT DE 1.5M<sup>3</sup>/S .....</b>	<b>69</b>
<b>ANNEXE 7 :</b>	<b>CARTOGRAPHIE DES ZONES DE DEPOTS POUR UN DEBIT DE 3.2M<sup>3</sup>/S .....</b>	<b>71</b>
<b>ANNEXE 8 :</b>	<b>CARTOGRAPHIE DES ZONES DE DEPOTS POUR UN DEBIT DE 4.2M<sup>3</sup>/S .....</b>	<b>73</b>

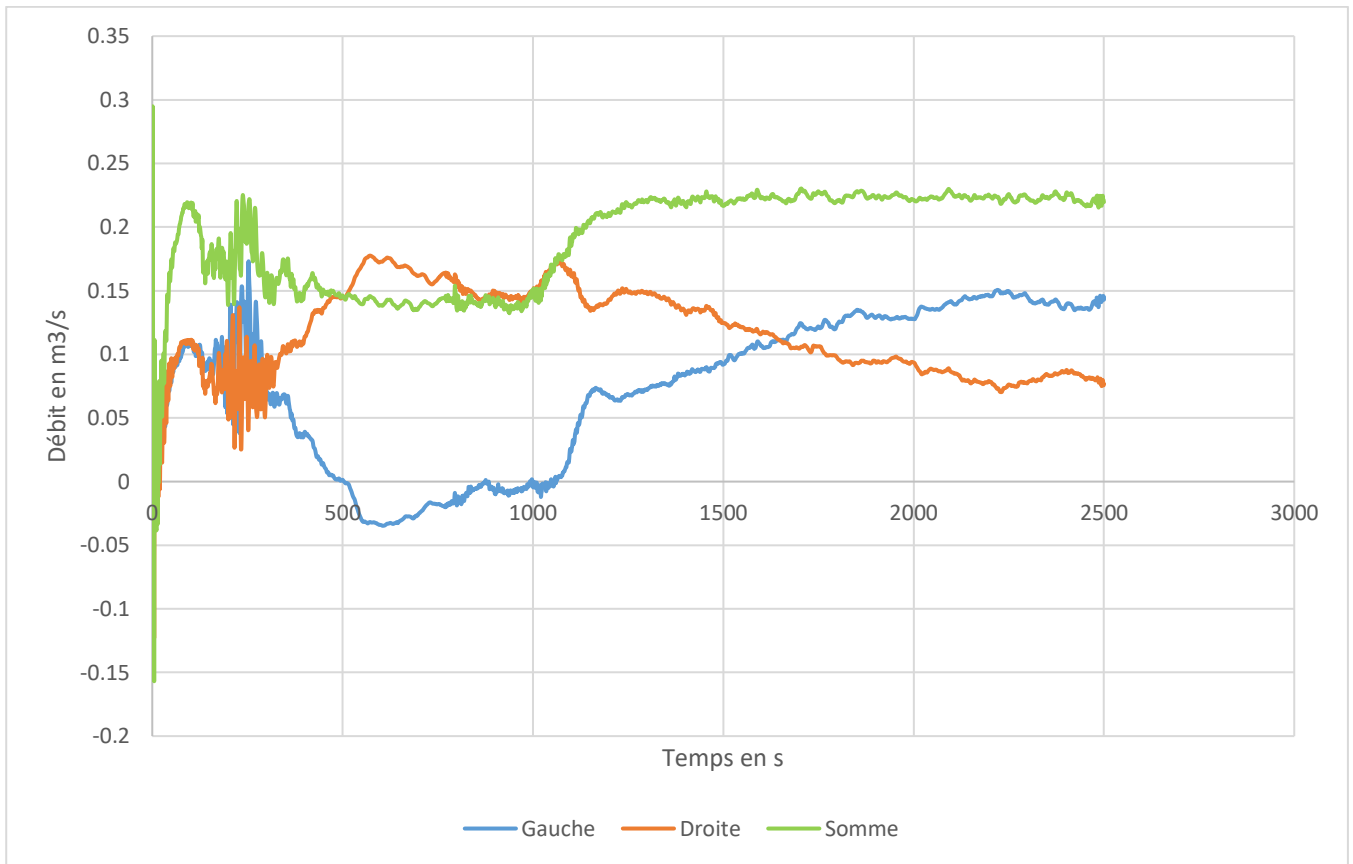
## Table des annexes

ANNEXE 1.1 - VUE EN PLAN DU REZ-DE-CHAUSSEE DE LA STATION .....	59
ANNEXE 2.1 - DEBIT DE PERIODE DE RETOUR 1 MOIS : 0.22M <sup>3</sup> /s.....	60
ANNEXE 2.2 - DEBIT DE PERIODE DE RETOUR DECENNALE D'HIVER : 0.5 M <sup>3</sup> /s.....	60
ANNEXE 2.3 - DEBIT DE PERIODE DE RETOUR 6 MOIS : 0.9M <sup>3</sup> /s.....	61
ANNEXE 2.4 - DEBIT DE PERIODE DE RETOUR 2 ANS : 1.5 M <sup>3</sup> /s.....	61
ANNEXE 2.5 - DEBIT DE PERIODE DE RETOUR DECENNALE D'ETE FUTURE : 3.2M <sup>3</sup> /s.....	62
ANNEXE 2.6 - DEBIT DE PERIODE DE RETOUR DECENNALE D'ETE ACTUELLE : 4.2M <sup>3</sup> /s .....	62
ANNEXE 3.1 - DEBIT DE PERIODE DE RETOUR 2 ANS : 1.5M <sup>3</sup> /s.....	63
ANNEXE 3.2 - DEBIT DE PERIODE DE RETOUR DECENNALE D'ETE FUTURE : 3.2M <sup>3</sup> /s.....	63
ANNEXE 3.3 - DEBIT DE PERIODE DE RETOUR D'ETE ACTUELLE : 4.2 M <sup>3</sup> /s .....	64
ANNEXE 4.1 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 285µM .....	65
ANNEXE 4.2 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 200µM .....	65
ANNEXE 4.3 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 157µM .....	65
ANNEXE 4.4 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 104µM .....	65
ANNEXE 4.5 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 72µM .....	66
ANNEXE 4.6 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 50µM .....	66
ANNEXE 4.7 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 23µM .....	66
ANNEXE 4.8 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 7µM .....	66
ANNEXE 5.1 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 285µM .....	67
ANNEXE 5.2 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 200µM .....	67
ANNEXE 5.3 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 157µM .....	67
ANNEXE 5.4 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 104µM .....	67
ANNEXE 5.5 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 72µM .....	68
ANNEXE 5.6 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 50µM .....	68
ANNEXE 5.7 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 23µM .....	68
ANNEXE 5.8 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 7µM .....	68
ANNEXE 6.1 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 285µM .....	69
ANNEXE 6.2 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 200µM .....	69
ANNEXE 6.3 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 157µM .....	69
ANNEXE 6.4 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 104µM .....	69
ANNEXE 6.5 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 72µM .....	70
ANNEXE 6.6 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 50µM .....	70
ANNEXE 6.7 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 23µM .....	70
ANNEXE 6.8 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 7µM .....	70
ANNEXE 7.1 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 285µM .....	71
ANNEXE 7.2 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 200µM .....	71
ANNEXE 7.3 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 157µM .....	71
ANNEXE 7.4 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 104µM .....	71
ANNEXE 7.5 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 72µM .....	72

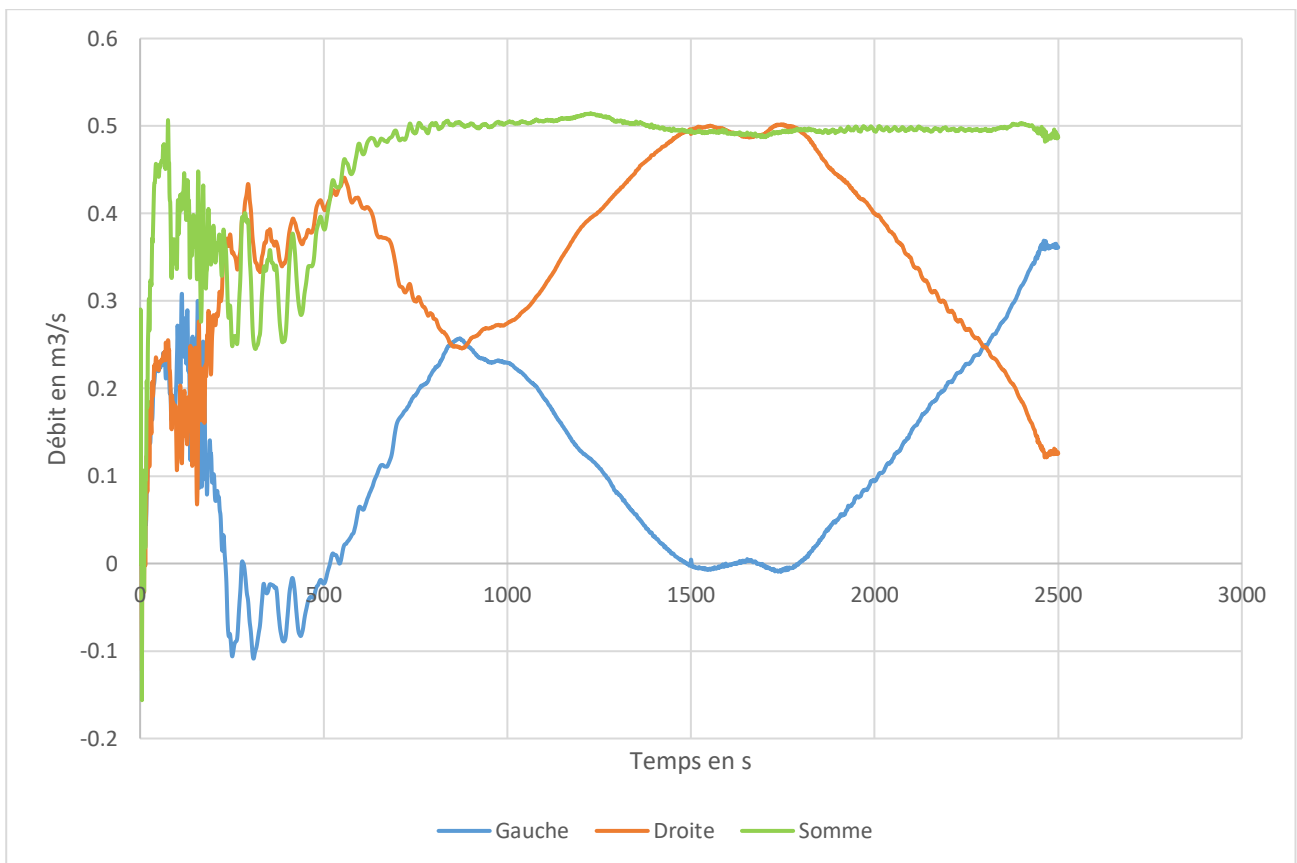
ANNEXE 7.6 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 50 $\mu$ M .....	72
ANNEXE 7.7 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 23 $\mu$ M .....	72
ANNEXE 7.8 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 7 $\mu$ M .....	72
ANNEXE 8.1 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 285 $\mu$ M .....	73
ANNEXE 8.2 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 200 $\mu$ M .....	73
ANNEXE 8.3 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 157 $\mu$ M .....	73
ANNEXE 8.4 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 104 $\mu$ M .....	73
ANNEXE 8.5 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 72 $\mu$ M .....	74
ANNEXE 8.6 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 50 $\mu$ M .....	74
ANNEXE 8.7 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 23 $\mu$ M .....	74
ANNEXE 8.8 - ZONE DE DEPOT POUR LES PARTICULES DE DIAMETRE 7 $\mu$ M .....	74



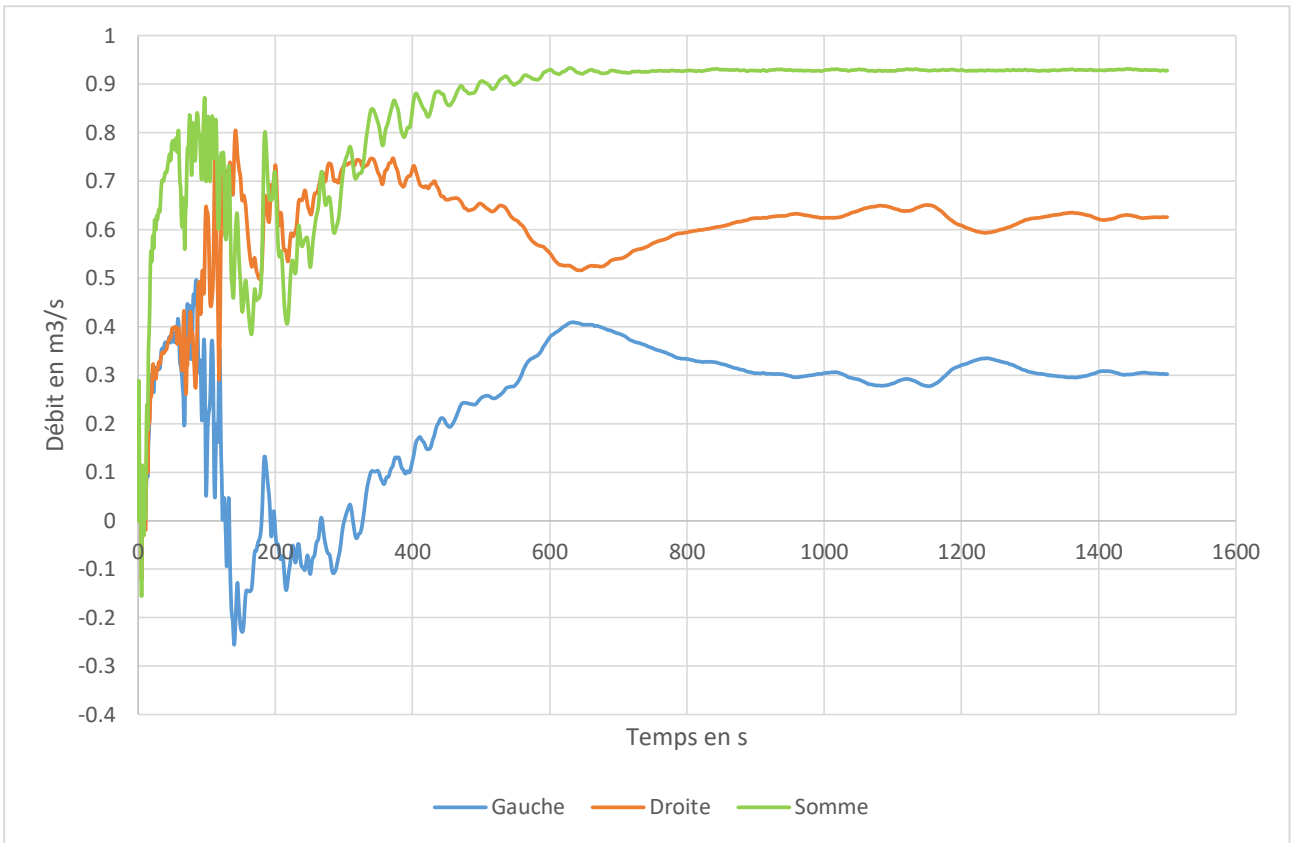
## Annexe 2 : Répartition du débit dans la chambre à sable



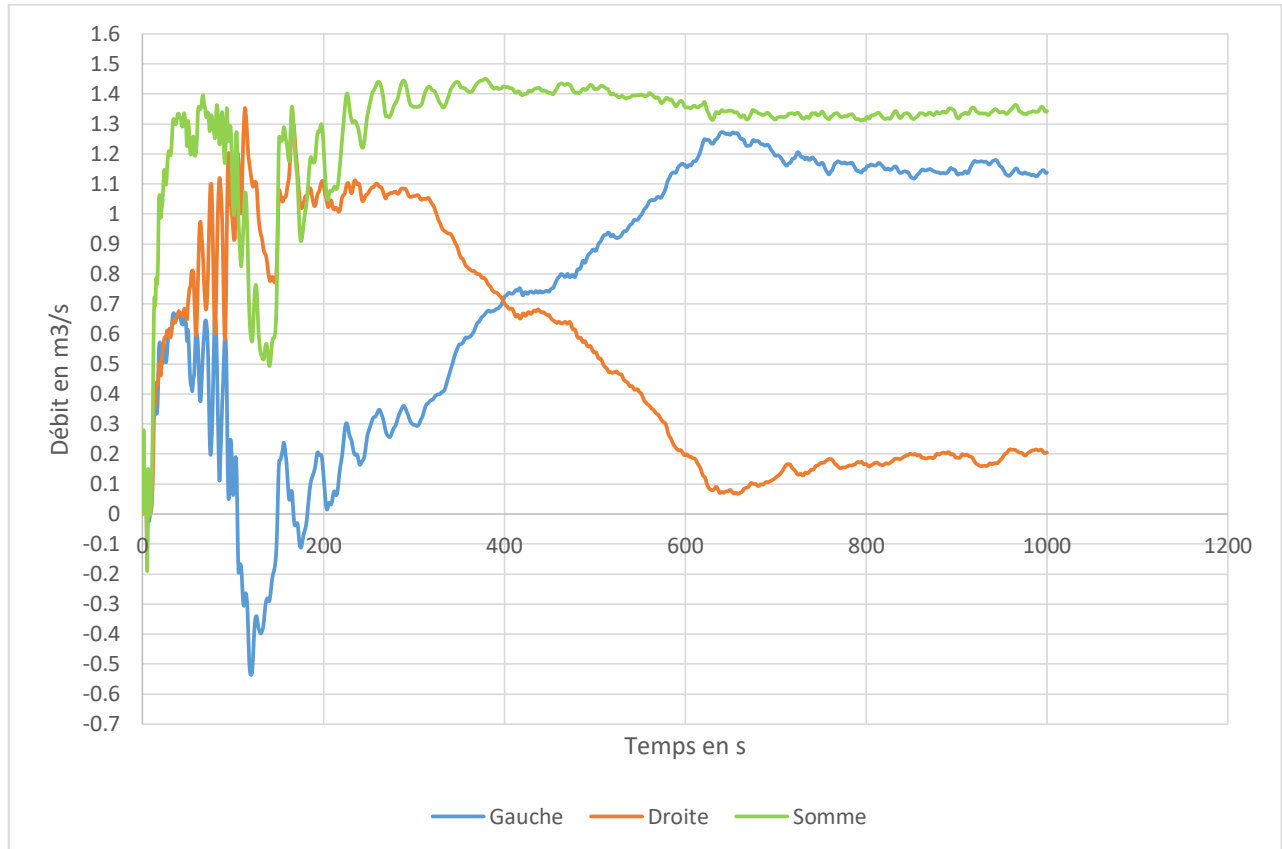
Annexe 2.1 - Débit de période de retour 1 mois : 0.22m<sup>3</sup>/s



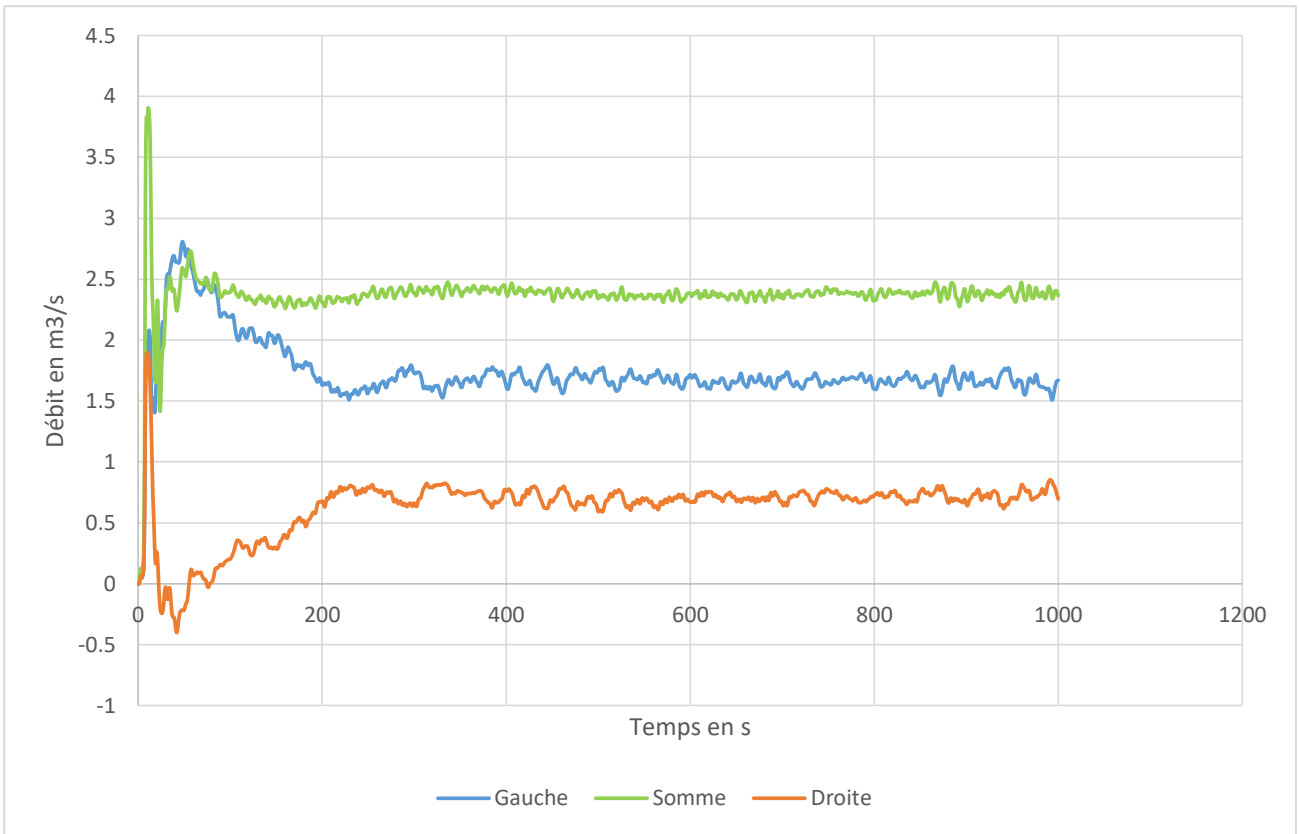
Annexe 2.2 - Débit de période de retour décennale d'hiver : 0.5 m<sup>3</sup>/s.



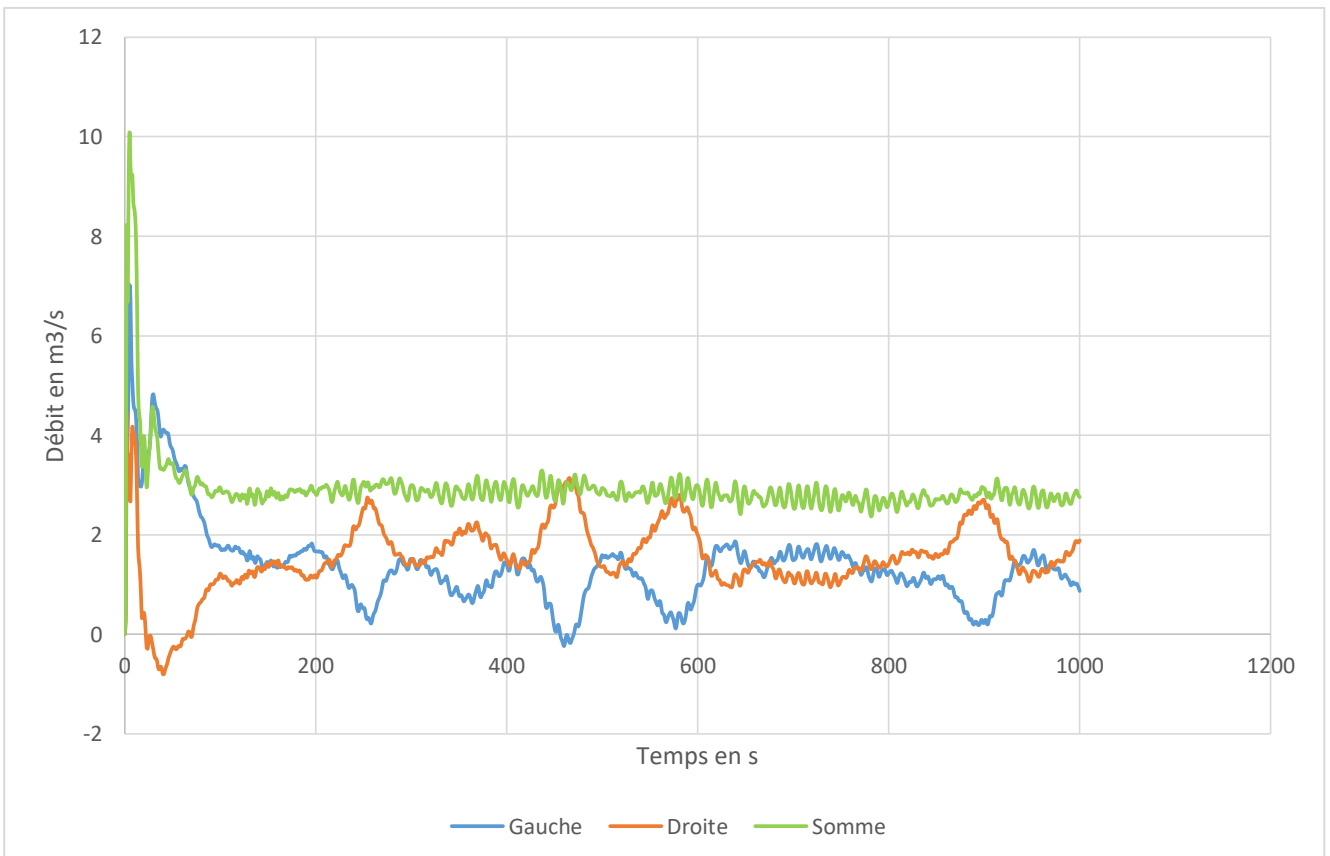
Annexe 2.3 - Débit de période de retour 6 mois : 0.9m<sup>3</sup>/s



Annexe 2.4 - Débit de période de retour 2 ans : 1.5 m<sup>3</sup>/s

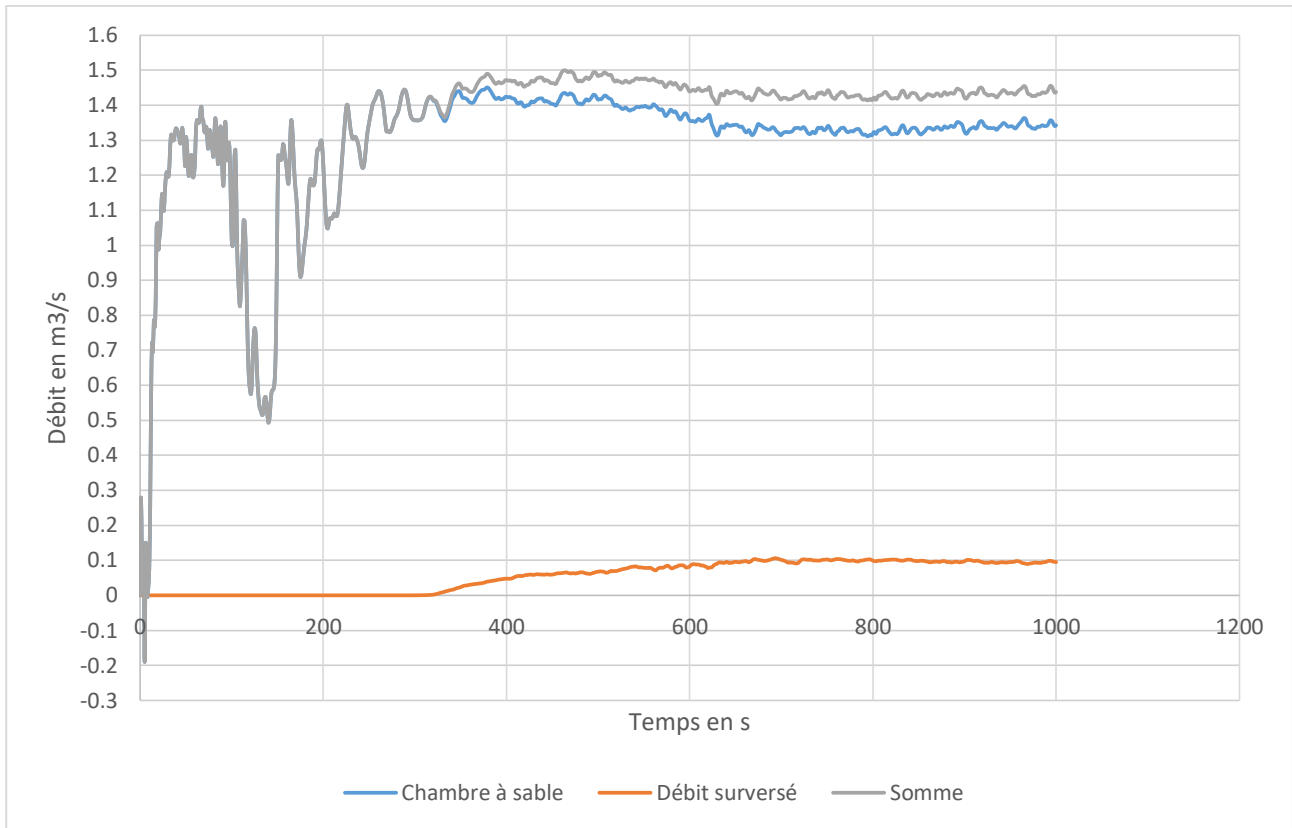


Annexe 2.5 - Débit de période de retour décennale d'été future :  $3.2\text{m}^3/\text{s}$

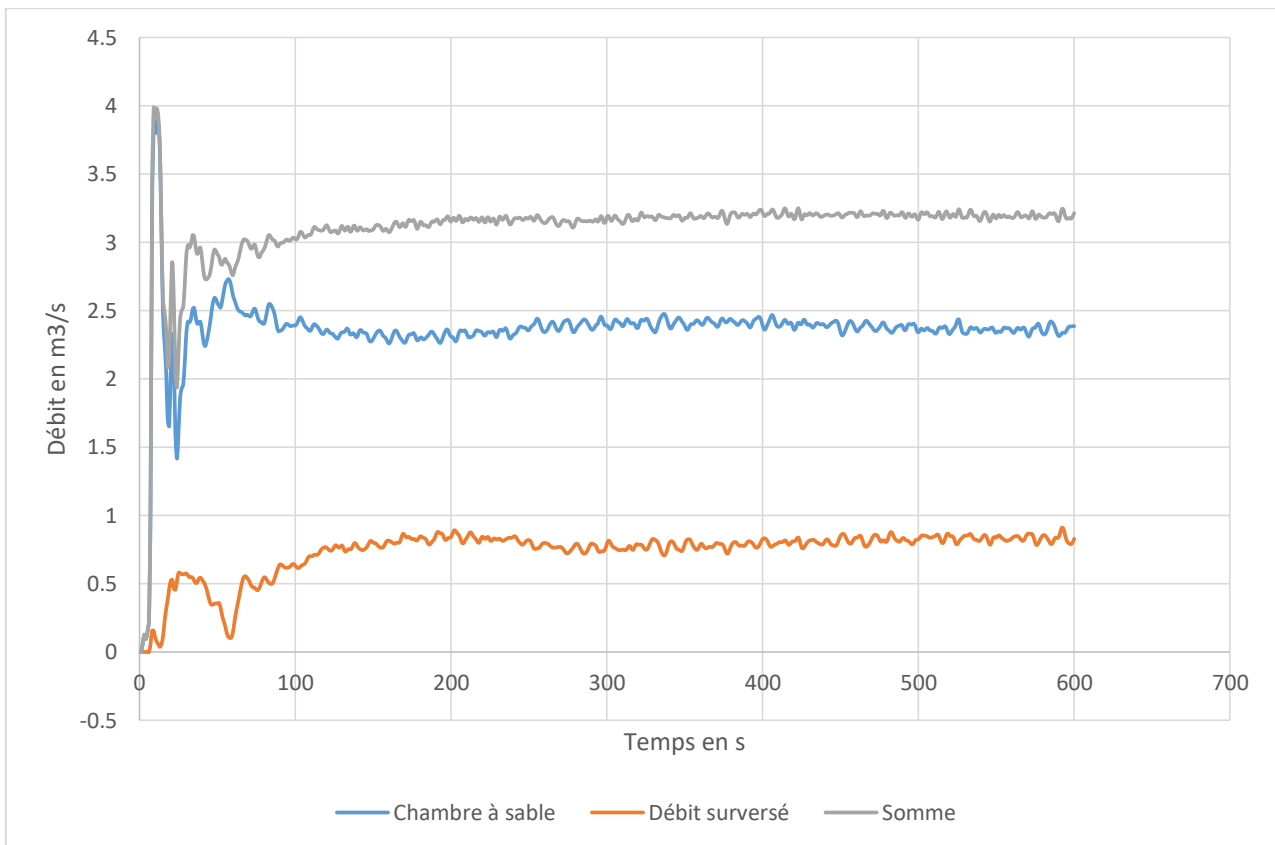


Annexe 2.6 - Débit de période de retour décennale d'été actuelle :  $4.2\text{m}^3/\text{s}$

### Annexe 3 : Répartition du débit à travers le by-pass

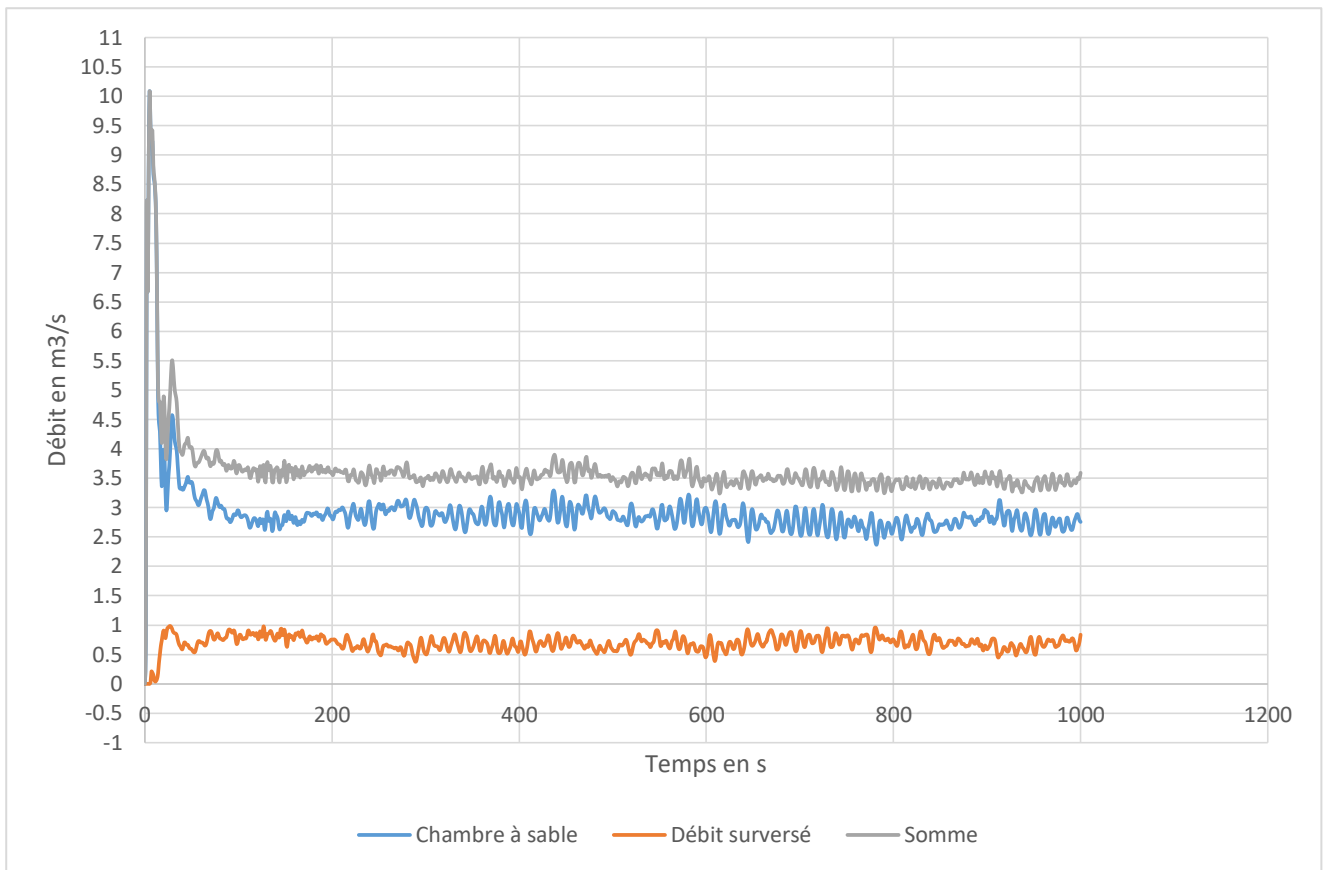


Annexe 3.1 - Débit de période de retour 2 ans : 1.5m<sup>3</sup>/s



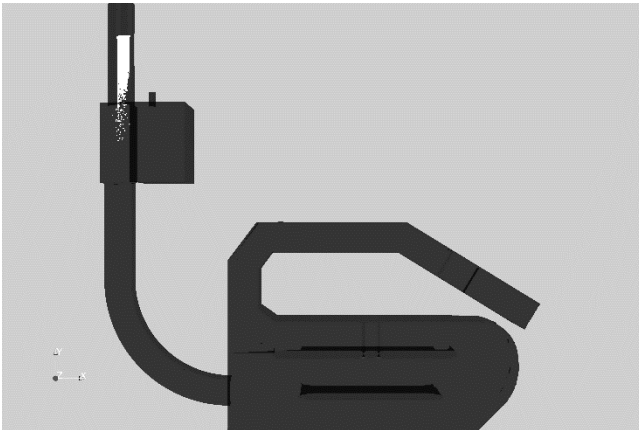
Annexe 3.2 - Débit de période de retour décennale d'été future : 3.2m<sup>3</sup>/s



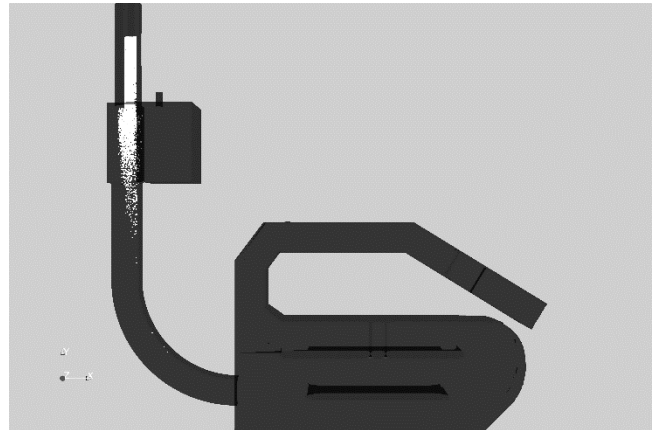


Annexe 3.3 - Débit de période de retour d'été actuelle : 4.2 m<sup>3</sup>/s

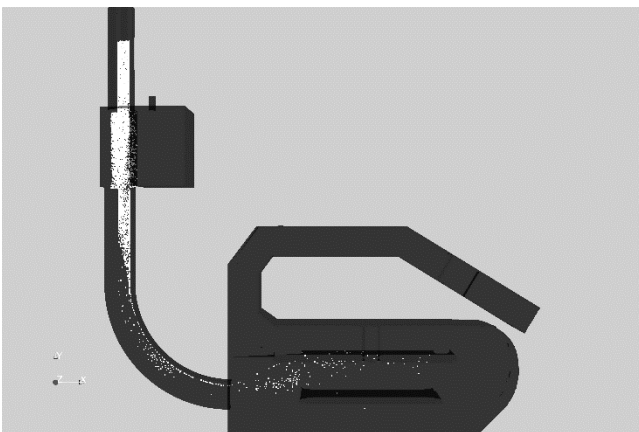
Annexe 4 : Cartographie des zones de dépôts pour un débit de 0.22m<sup>3</sup>/s



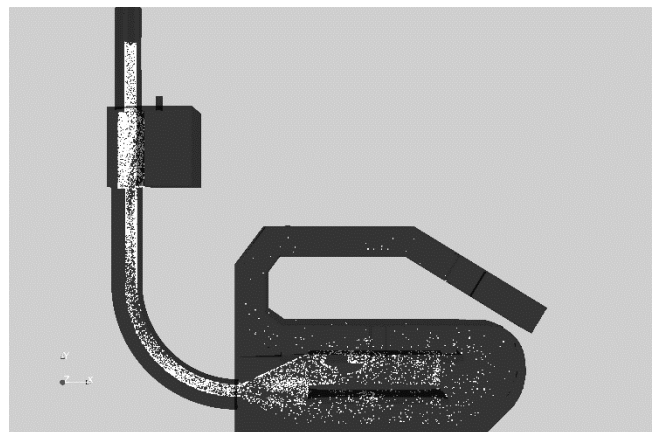
Annexe 4.1 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 285µm



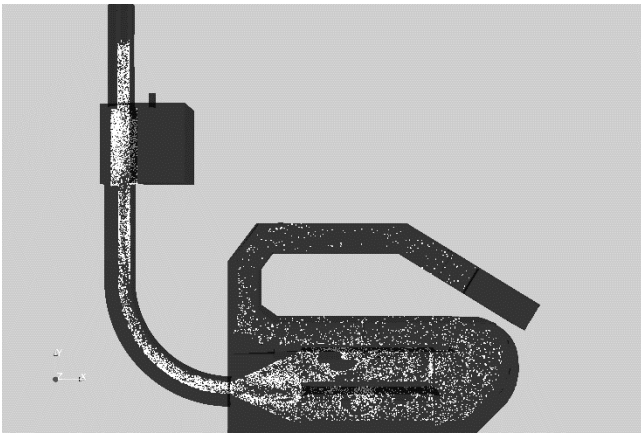
Annexe 4.2 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 200µm



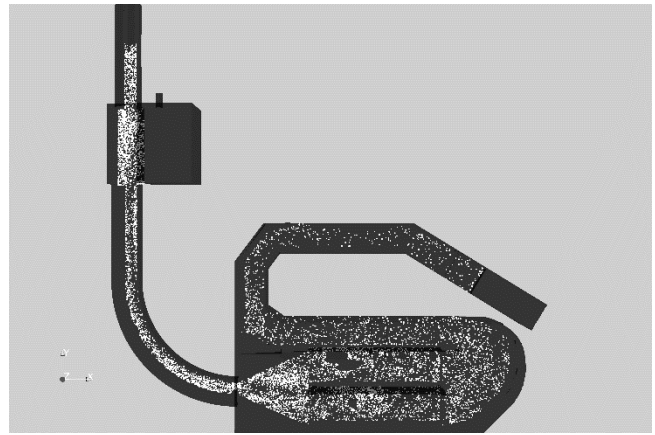
Annexe 4.3 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 157µm



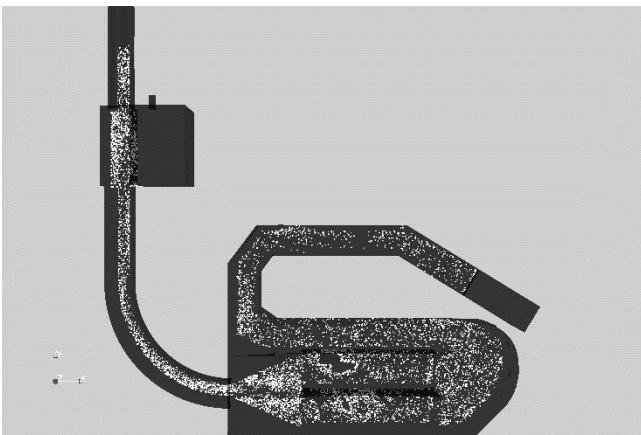
Annexe 4.4 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 104µm



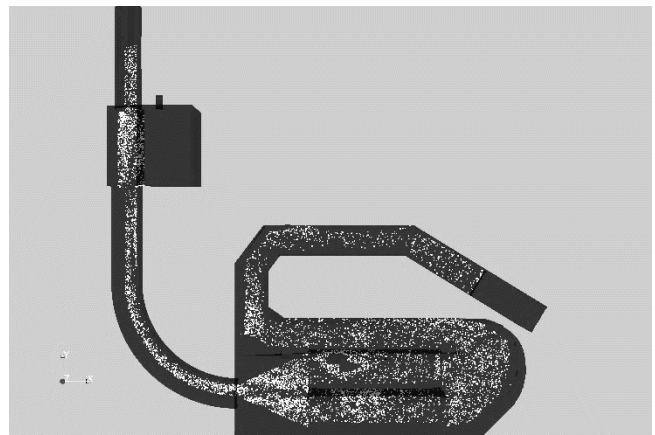
*Annexe 4.5 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 72µm*



*Annexe 4.6 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 50µm*

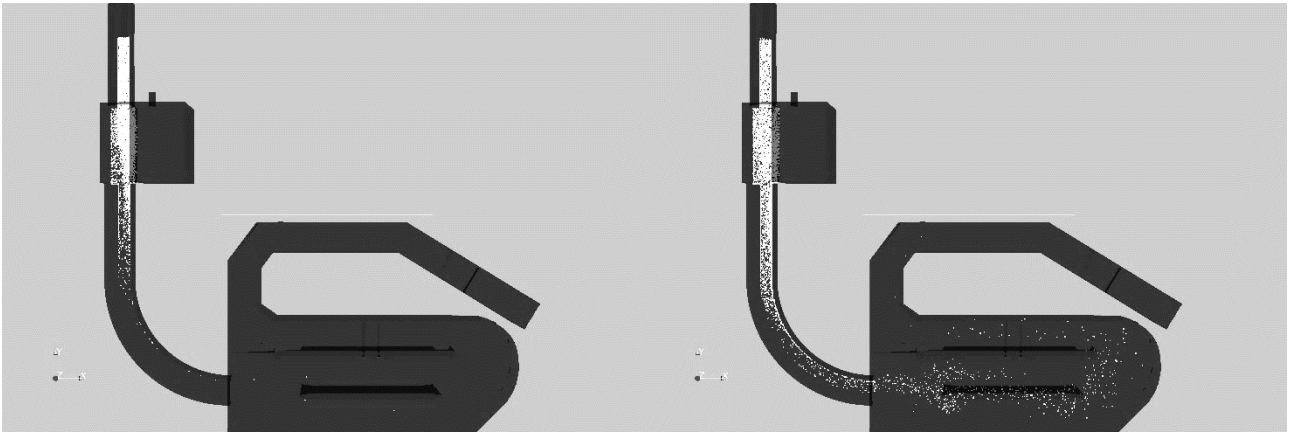


*Annexe 4.7 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 23µm*



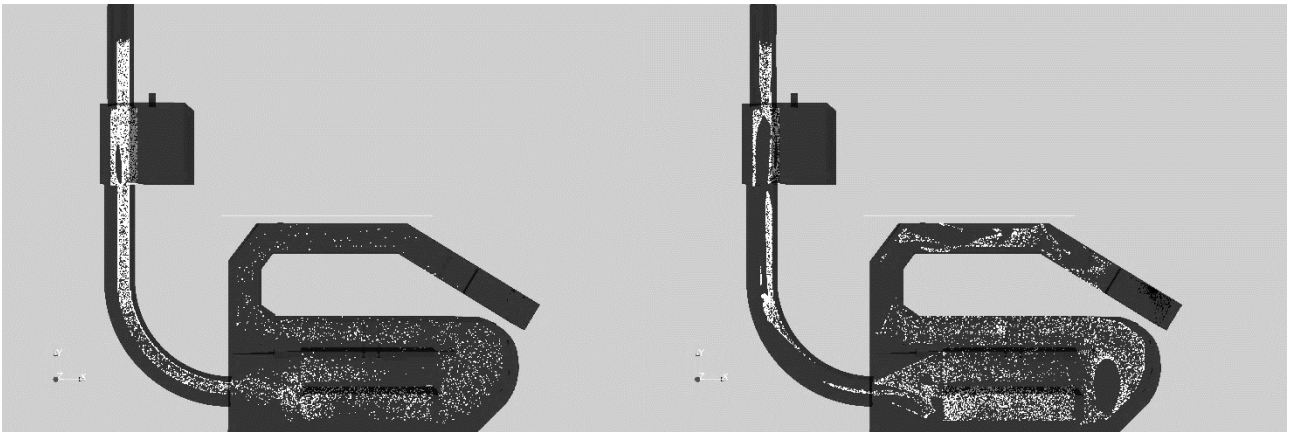
*Annexe 4.8 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 7µm*

Annexe 5 : Cartographie des zones de dépôts pour un débit de 0.5m<sup>3</sup>/s



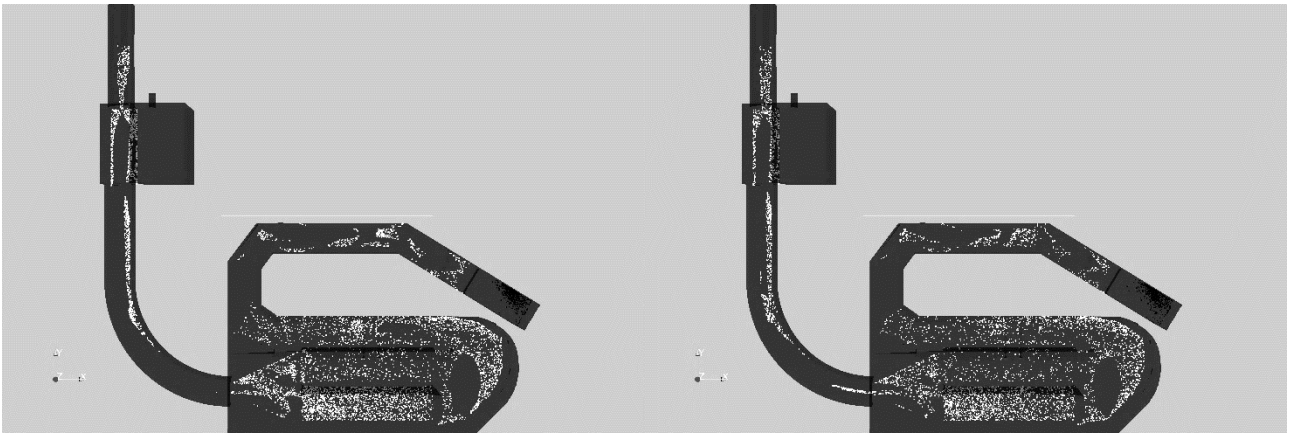
Annexe 5.1 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 285µm

Annexe 5.2 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 200µm



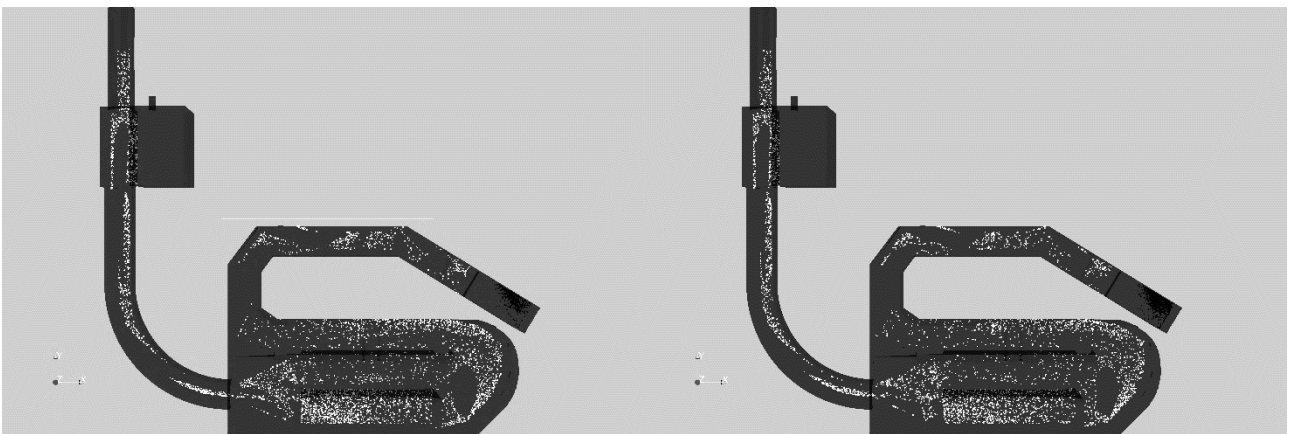
Annexe 5.3 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 157µm

Annexe 5.4 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 104µm



*Annexe 5.5 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 72 $\mu$ m*

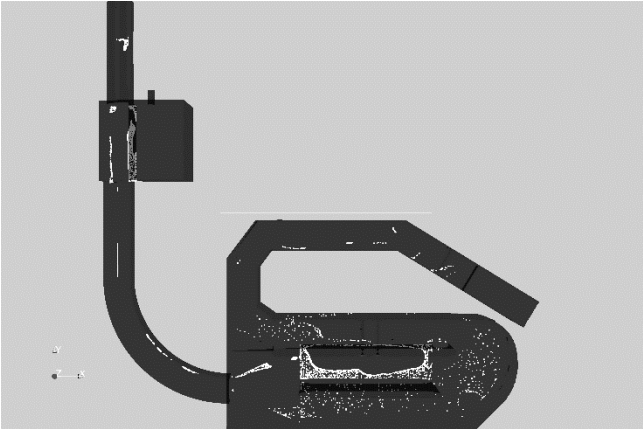
*Annexe 5.6 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 50 $\mu$ m*



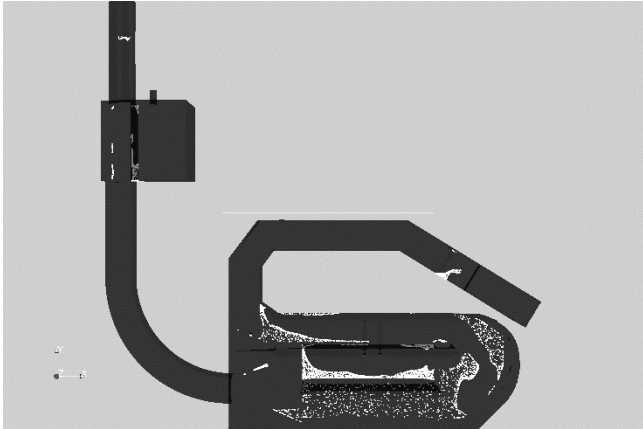
*Annexe 5.7 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 23 $\mu$ m*

*Annexe 5.8 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 7 $\mu$ m*

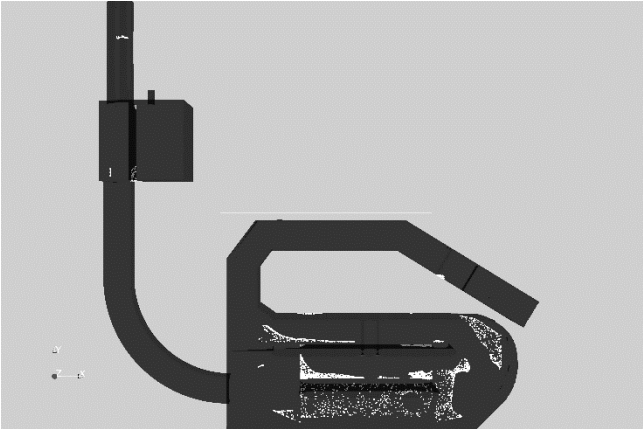
Annexe 6 : Cartographie des zones de dépôts pour un débit de 1.5m<sup>3</sup>/s



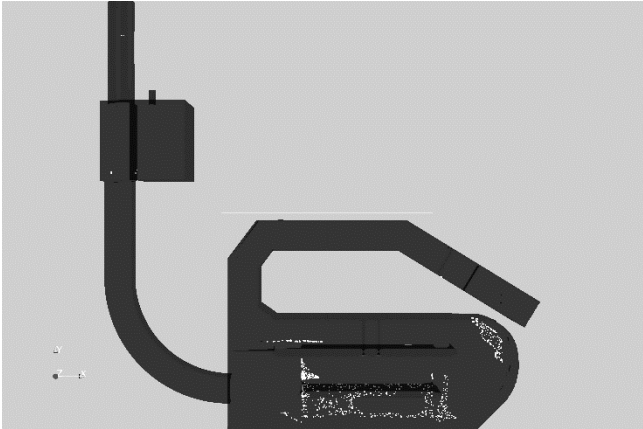
Annexe 6.1 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 285µm



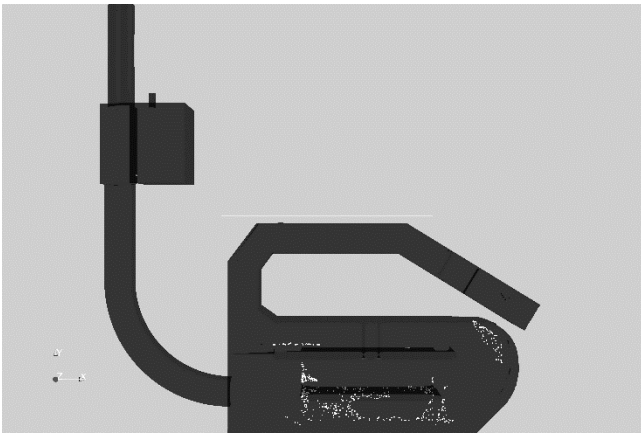
Annexe 6.2 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 200µm



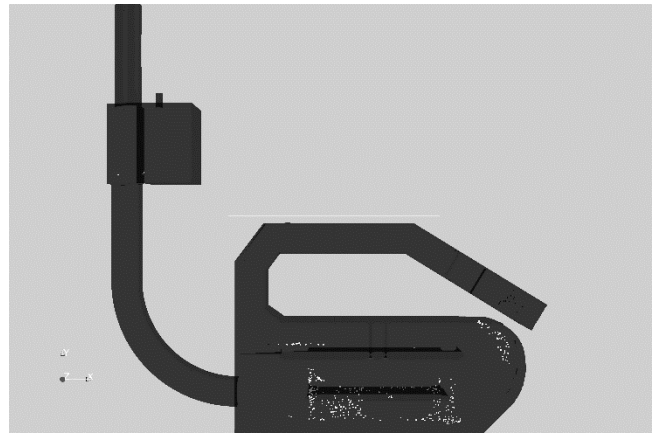
Annexe 6.3 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 157µm



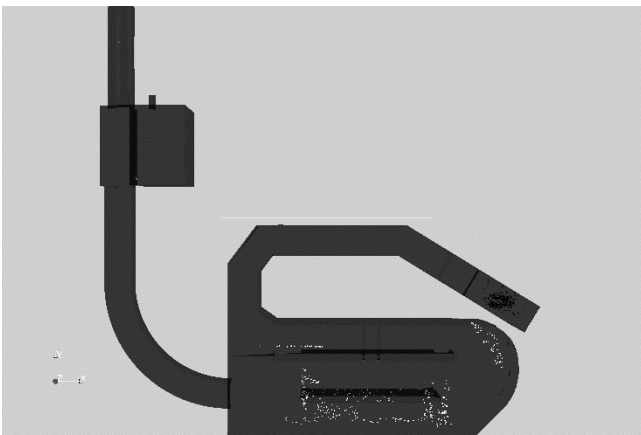
Annexe 6.4 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 104µm



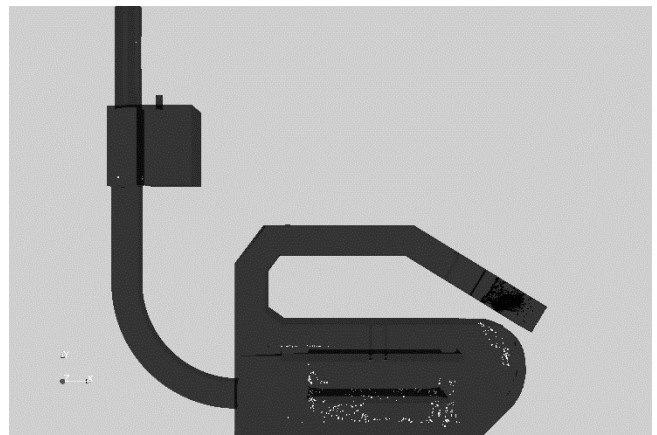
*Annexe 6.5 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 72µm*



*Annexe 6.6 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 50µm*

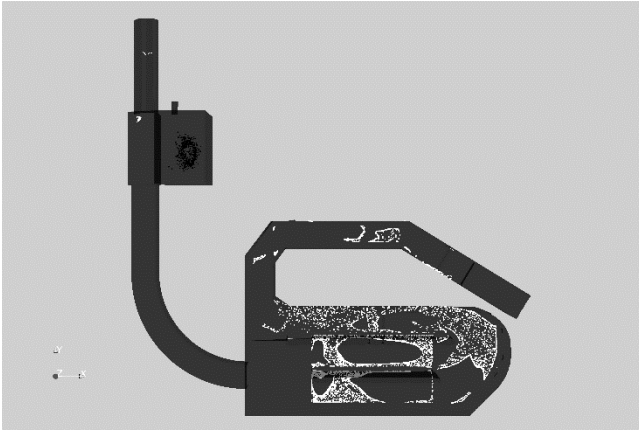


*Annexe 6.7 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 23µm*

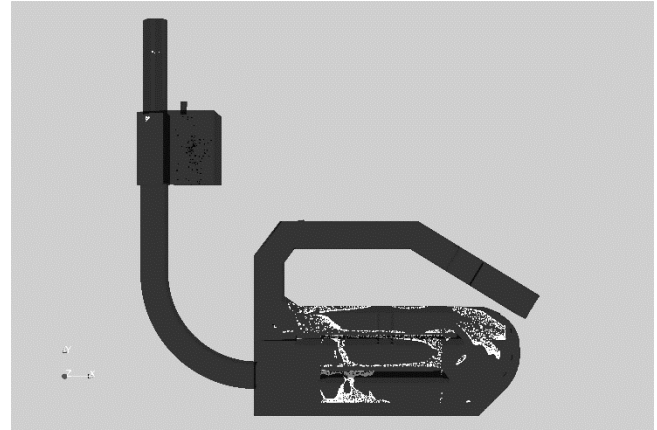


*Annexe 6.8 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 7µm*

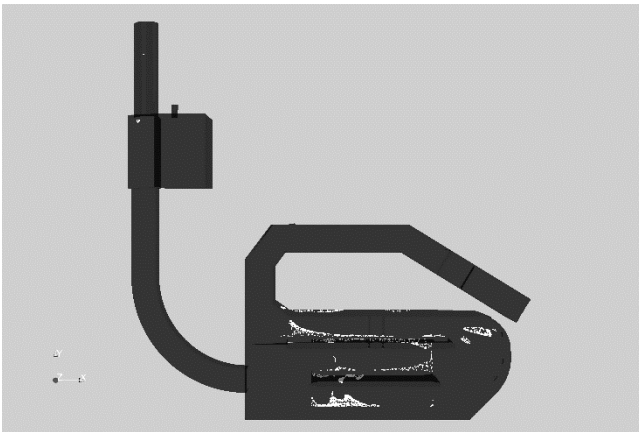
Annexe 7 : Cartographie des zones de dépôts pour un débit de 3.2m<sup>3</sup>/s



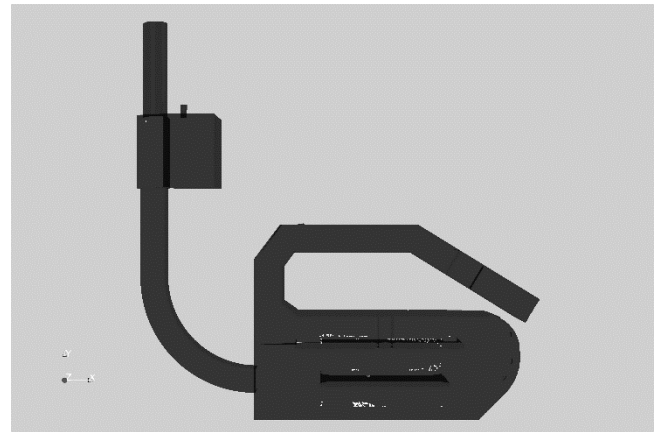
Annexe 7.1 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 285µm



Annexe 7.2 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 200µm

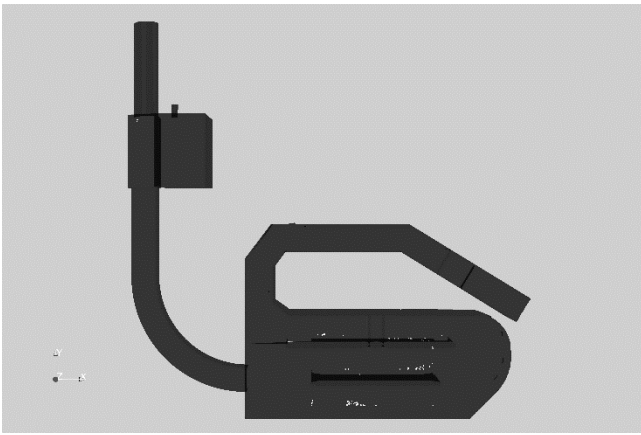


Annexe 7.3 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 157µm

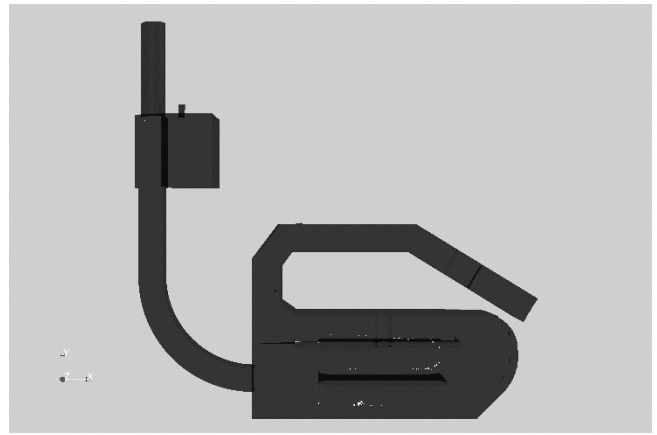


Annexe 7.4 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 104µm

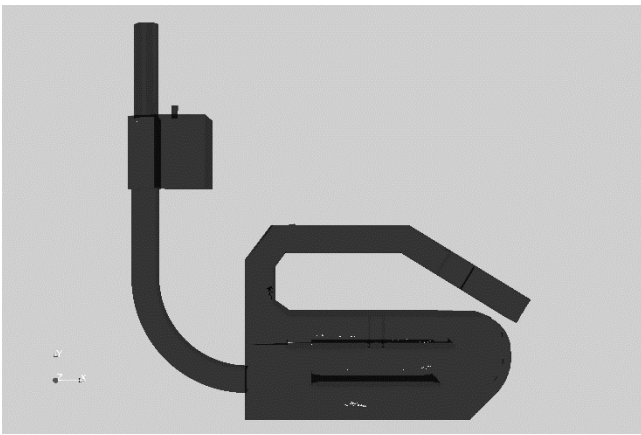




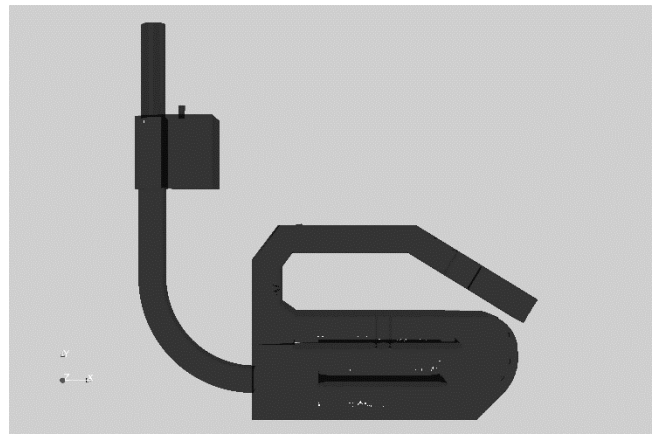
*Annexe 7.5 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 72µm*



*Annexe 7.6 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 50µm*

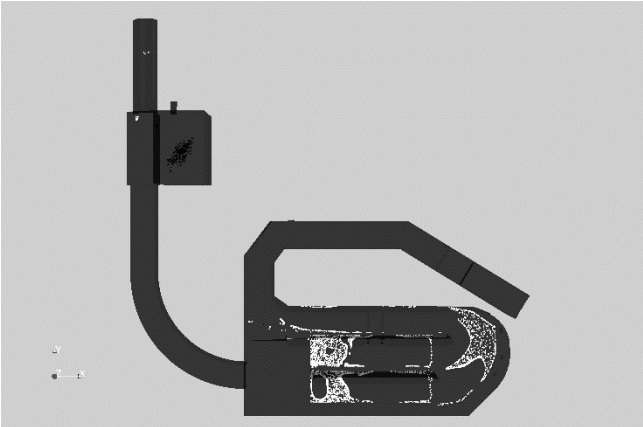


*Annexe 7.7 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 23µm*

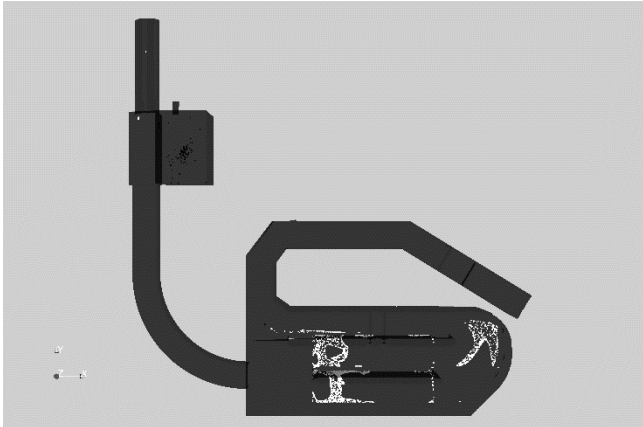


*Annexe 7.8 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 7µm*

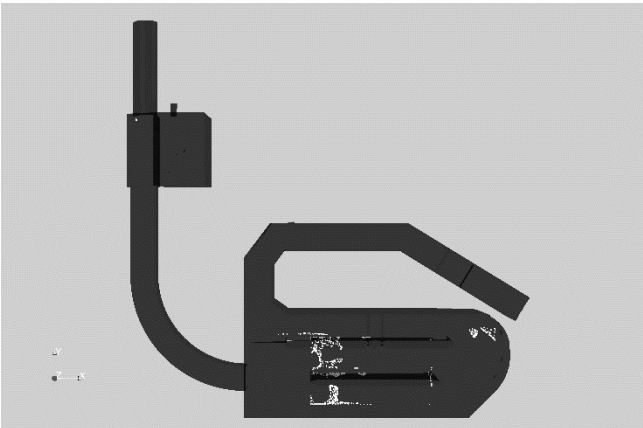
Annexe 8 : Cartographie des zones de dépôts pour un débit de 4.2m<sup>3</sup>/s



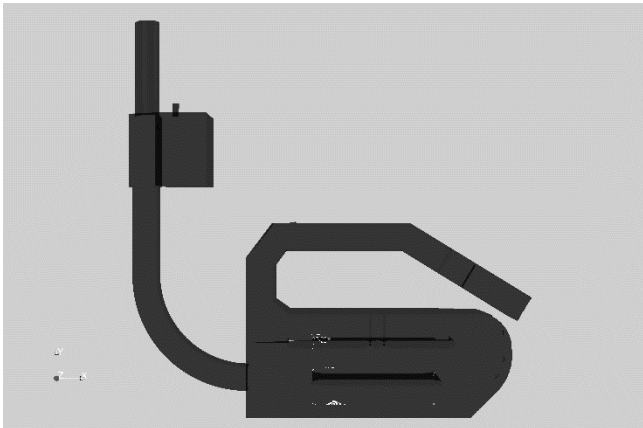
Annexe 8.1 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 285µm



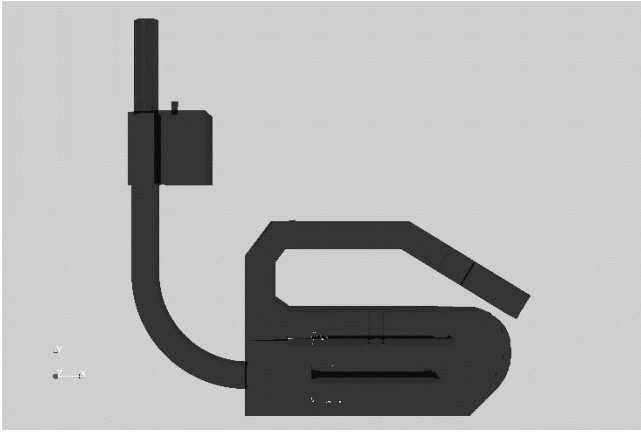
Annexe 8.2 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 200µm



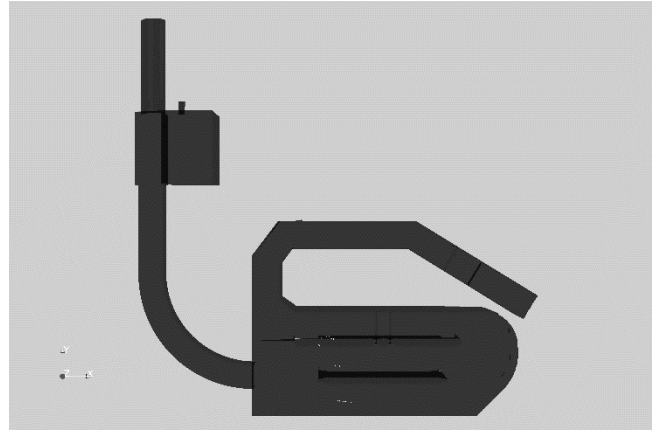
Annexe 8.3 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 157µm



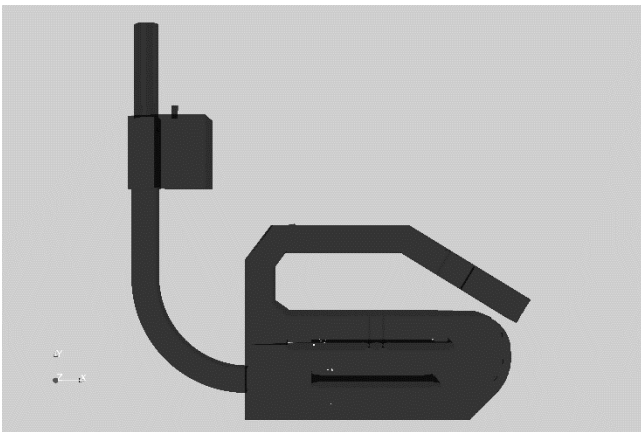
Annexe 8.4 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 104µm



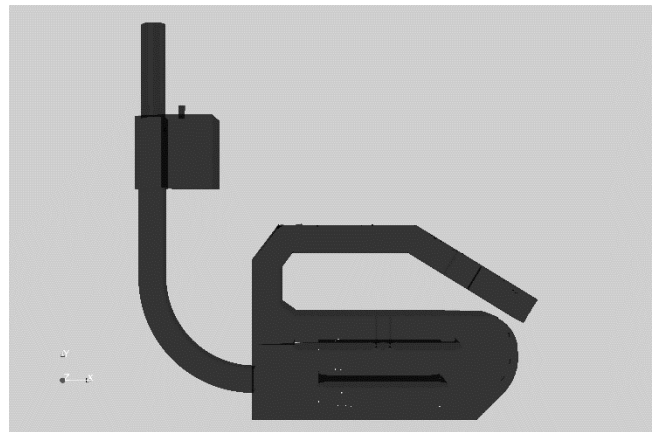
*Annexe 8.5 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 72µm*



*Annexe 8.6 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 50µm*



*Annexe 8.7 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 23µm*



*Annexe 8.8 - Zone de dépôt pour les particules de diamètre 7µm*



## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

**Diplôme(s)** : Ingénieur de l'ENGEES

**Spécialité** : Hydraulique Urbaine

**Auteur**

Eva Fumagalli

**Année**

2017

**Titre**

Diagnostic et optimisation de la station anti crue de Vitry sur Seine d'un point de vue hydraulique et transport solide

**Nombre de pages**      texte                      annexes

**Nombre de références bibliographiques** : 20 Références

**Structure d'accueil** : ICUBE, rue Boussingault, Strasbourg

**Maître de stage** : M. Gilles Isenmann

**Résumé**

Ce mémoire porte sur le diagnostic et l'optimisation d'une station anti-crue se trouvant à Vitry-sur-Seine à travers une modélisation 3D sous OpenFoam. La modélisation s'appuie sur des outils usuels : une géométrie avec un maillage, les équations de Navier-Stokes. Il y a également l'utilisation d'un milieu poreux pour modéliser un dégrilleur. L'influence aval est modélisée à l'aide d'une condition à la limite dépendante des paramètres de sortie. Un solveur de suivi lagrangien développé par Isenmann (2016) servira à modéliser le transport solide. Ces différents outils seront donc utilisés pour le cas de la station anti-crue de Vitry-sur-Seine, station de récupération des eaux pluviales.

**Mots-clés**

Transport solide, OpenFoam, Modélisation 3D, Milieu Poreux, InterFoam, Swak4Foam.