



HAL
open science

Développement d'une nouvelle méthode de dimensionnement des bassins de dépollution basée sur leur performance

Gérald Neyrinck

► **To cite this version:**

Gérald Neyrinck. Développement d'une nouvelle méthode de dimensionnement des bassins de dépollution basée sur leur performance. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2016. dumas-01581741

HAL Id: dumas-01581741

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01581741v1>

Submitted on 6 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.

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

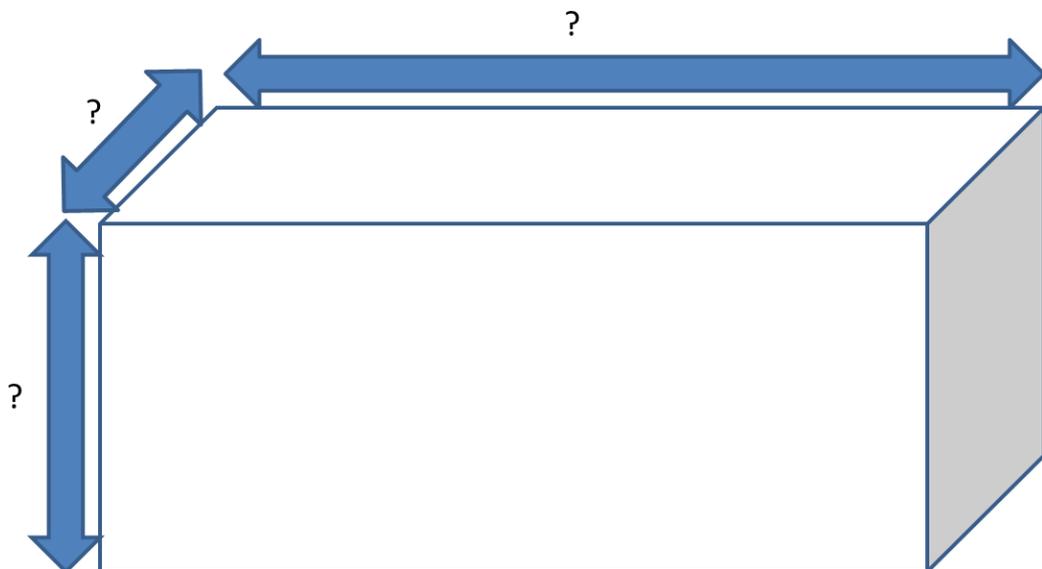
NEYRINCK Gérald

FORMATION D'INGENIEUR

2013/2016

Promotion Stuttgart

Développement d'une nouvelle méthodologie de dimensionnement des bassins de dépollution basée sur leur performance



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

Stage réalisé du 04 janvier au 24 juin 2016

Maître de stage : VAZQUEZ José

Remerciements

Je souhaite remercier l'Eurométropole de Strasbourg pour les données pluviométriques fournies et en particulier Pascal SCHILL, Luca ASCENZO et Marie MANCEAU pour l'extraction des données.

Je tiens à remercier Gilles ISENMANN pour son aide et ses conseils au cours de mon stage, ainsi que pour son travail de thèse sans lequel le développement de cette nouvelle méthode n'aurait pas été possible.

Je remercie Christian ROUX et Dominique LAPLACE pour avoir accepté de me consacrer du temps ainsi que pour leurs échanges pertinents et enrichissants sur la méthode développée et ses perspectives.

Merci à Didier BELLEFLEUR et Matthieu DUFRESNE pour le temps qu'ils m'ont consacré et leurs précieux conseils.

Je tiens à remercier également l'ensemble de l'équipe Mécaflux du laboratoire ICube pour leur accueil et leur bonne humeur. Et en particulier, Nicolas SCHAER pour son aide pour la prise en main du logiciel de modélisation 3D et Maxence GRAEBLING, mon camarade de promotion et collègue de bureau pour sa relecture et les agréables moments passés au cours de ces six mois.

Pour finir, je souhaite tout particulièrement remercier José VAZQUEZ pour m'avoir permis de réaliser ce travail de fin d'études, ainsi que pour son accompagnement, sa confiance et son aide tout au long du stage.

Résumé

Développement d'une nouvelle méthode de dimensionnement des bassins de dépollution basée sur leur performance

Le contexte réglementaire actuel en France, en particulier l'arrêté du 21 juillet 2015 relatif aux systèmes d'assainissement collectif, définit différents critères de conformité des systèmes d'assainissement en termes de nombre de déversements, de volume annuel rejeté ou encore de masse annuelle rejetée.

L'analyse des méthodes existantes a montré un réel manque de méthode de dimensionnement vis-à-vis du critère sur la masse rejetée. La méthodologie développée vise à faire le lien avec ce critère réglementaire pour le paramètre MES (matières en suspension).

La nouvelle méthodologie définie répond à un objectif opérationnel et se décompose en deux grandes parties, une transformation pluie-débit basée sur les modèles classiquement utilisés en hydraulique urbaine suivie d'une transformation débit-efficacité/rejet reposant sur une discrétisation de la courbe de débit et sur un modèle de transport solide au sein du bassin.

Elle permet à la fois le dimensionnement d'un nouvel ouvrage mais aussi l'optimisation d'un ouvrage existant et la quantification de la différence d'efficacité entre un bassin de transit et un bassin piège.

L'application de celle-ci sur un bassin versant fictif a montré des apports intéressants, à savoir une différence de rejet de particules de l'ordre de 40 % en masse entre un bassin piège et un bassin de transit, la possibilité d'une optimisation pour des bassins existants avec une réduction des rejets de l'ordre de 20 % ainsi que l'opportunité d'un gain financier à l'investissement pour les nouveaux ouvrages.

Les perspectives ouvertes par cette méthode sont nombreuses tant du point de vue ingénierie que du point de vue recherche et développement.

Mots clés : Assainissement, Dimensionnement, Bassin de dépollution, Rejets de temps de pluie

Abstract

Development of new performance-based sizing method for depollution basins.

The ongoing laws and regulations in France, particularly the 21st July 2015 decree concerning the collective sanitation systems, define different criteria of acceptance of the former in terms of the number of spills, the annual rejected volume or the annual rejected mass.

The analysis of the existing methods has shown the need of a sizing method that reflects the rejected mass criteria of acceptance. The methodology has been carried out pointing towards the connection with the mentioned criteria, taking into consideration SM (Suspended Material) value.

The new proposed methodology has been created with an operational applicability and is then decomposed in two major parts; a rain-flow transformation based on the traditional methods used in urban hydraulics, followed by a flow-effectiveness/annual rejected mass transformation based on a discretization of the flow-curve and on a transporting sediments model inside the basin.

It not only is capable of sizing a new device, but optimizing the existing one and comparing the effectiveness between a transit and a trap basin as well.

The implementation of this methodology on a fictional watershed have shown interesting results, such as a difference in the annual rejected mass of the order of 40% between trap and transit basin, the possibility of an optimization of existing devices through a 20% reduction on the annual rejected mass, and even the opportunity of constructing a new basin at a lower cost.

The various prospects drawn from this work can well be implemented in diverse ways, from engineering to research and development.

Key words: Sanitation, Sizing, Depollution basin, Wet weather effluents

Sommaire

Remerciements.....	3
Résumé	4
Abstract.....	5
Sommaire	6
Liste des figures.....	9
Liste des tableaux	10
Liste des équations	10
Liste des abréviations	12
Introduction.....	13
1. Etat de l'art.....	14
1.1. Les différents types de bassins : objectifs et fonctionnement.....	14
1.2. Cadre réglementaire	18
1.2.1. Vidange des bassins.....	18
1.2.2. Conformité	18
1.3. Les méthodes de dimensionnement existantes.....	19
1.3.1. La méthode des pluies.....	19
1.3.2. La méthode des volumes.....	19
1.3.3. Méthode IT77.....	20
1.3.4. Méthode de la pluie critique	20
1.3.5. Méthode de l'agence de l'eau Rhin Meuse (AERM)	21
1.3.6. Bilan	22
2. Présentation de la méthode de dimensionnement développée	23
2.1. Cadre.....	23
2.1.1. Objectifs.....	23
2.1.2. Intérêt	23
2.1.3. Limites	23
2.1.4. Outils utilisés.....	23
2.1.5. Données nécessaires à la mise en œuvre	24
2.1.6. Déroulement de la méthode.....	24
2.2. La transformation pluie-débit.....	25
2.2.1. Découpage en événements indépendants	25
2.2.2. Retrait des pertes initiales.....	25
2.2.3. Retrait des pertes continues	26

2.2.4.	Modèle du réservoir linéaire	27
2.2.5.	Modèle de Muskingum	28
2.2.6.	Schéma de synthèse.....	31
2.3.	La transformation débit-efficacité/rejet.....	32
2.3.1.	Hypothèses	32
2.3.2.	Granulométrie des particules	32
2.3.3.	Description du fonctionnement hydraulique du système.....	33
2.3.3.1.	Discrétisation du débit.....	33
2.3.3.2.	Répartition des débits	33
2.3.3.3.	Prise en compte du volume du bassin.....	34
2.3.3.4.	Fabrication des matrices des volumes déversés	35
2.3.3.5.	Fabrication des matrices des masses déversées	35
2.3.4.	Prise en compte de la performance.....	35
2.3.4.1.	Étude de la sensibilité des différents phénomènes.....	37
2.3.4.1.1.	Sensibilité de la phase de remplissage sur le résultat	37
2.3.4.1.2.	Sensibilité des particules toujours en suspension à l'issue du pas de temps considéré	38
2.3.4.1.3.	Érosion du fond.....	39
2.3.4.2.	Modèle retenu pour le transport solide	39
2.3.4.3.	Efficacité/Rejet annuel	41
2.3.4.4.	Bilan et avis des experts consultés	42
3.	Comparaison des différentes méthodes de dimensionnement	44
3.1.	Comparaison générale des méthodes des pluies et des volumes	44
3.1.1.	Choix de l'année représentative	44
3.1.2.	Méthode des pluies	46
3.1.3.	Méthode des volumes	47
3.1.4.	Synthèse et conclusion	49
3.2.	Comparaison sur un bassin versant fictif.....	50
3.2.1.	Définition du bassin versant choisi pour la comparaison	50
3.2.2.	Méthode de la pluie critique	50
3.2.3.	Evaluation des volumes pour un bassin de transit à connexion latérale, comparaison aux critères réglementaires	51
3.2.4.	Bilan.....	53
4.	Exemple concret et gain potentiel.....	55
4.1.	Bassin modélisé	55
4.2.	Construction des courbes de répartition à l'aide du modèle 3D	56

4.3. Résultats obtenus	60
4.3.1. Gain du bassin de transit vis-à-vis du bassin piège.....	60
4.3.2. Gain envisageable avec une modification de la géométrie du seuil.....	60
4.3.3. Réduction du volume de bassin, gain en génie civil possible	61
Conclusion	63
Perspectives	65
Bibliographie	66
Annexes.....	69
Annexe 1 : Présentation de la méthode des pluies	69
Annexe 2 : Présentation de la méthode des volumes	72
Annexe 3 : Présentation de la méthode de l'IT77	74
Annexe 4 : Présentation de la méthode de la pluie critique.....	76
Annexe 5 : Présentation de la méthode de l'Agence de l'Eau Rhin Meuse	78
Annexe 6 : Méthodes envisagées pour la prise en compte des différents phénomènes	80
Annexe 7 : Dimensionnement de la station de traitement	82
Annexe 8 : Hypothèses retenues pour la transformation pluie débit du bassin versant fictif.....	84
Annexe 9 : Modélisation 3D de la performance du bassin	86
Annexe 10 : Lignes de courant au sein du bassin.....	87

Liste des figures

Figure 1 : Schéma d'un bassin de transit à connexion directe	15
Figure 2 : Schéma d'un bassin de transit à connexion latérale	15
Figure 3 : Schéma d'un bassin piège à connexion directe	16
Figure 4 : Schéma d'un bassin piège à connexion latérale	16
Figure 5 : Déroulement de la méthode	24
Figure 6 : Extrait de la transformation de la pluie brute en pluie nette pour l'événement du 22/05/14 sur le pluviomètre de Reichstett avec $P_i=1,25$ mm et $C_{\text{après pertes initiales}}=0,56$	26
Figure 7 : Illustration de la transformation pluie nette en débit de ruissellement pour un extrait de l'épisode du 22/05/14 sur le pluviomètre de Reichstett (67) pour $K \approx 15$ min... ..	28
Figure 8 : Illustration de la prise en compte de l'écoulement dans le réseau pour un extrait de l'épisode du 22/05/14 sur le pluviomètre de Reichstett (67) pour $K \approx 9$ min.... ..	30
Figure 9 : Les grandes étapes de la transformation pluie-débit.....	31
Figure 10 : Courbe granulométrique des MES en réseau unitaire par temps de pluie ...	32
Figure 11 : Schéma illustrant l'étape de discrétisation au pas de temps Δt	33
Figure 12 : Courbe de fonctionnement hydraulique d'un déversoir	34
Figure 13 : Exemple de courbes obtenues pour un bassin de 1100 m^3 et un débit de 500 l/s	36
Figure 14 : Variabilité des zones de dépôts au fond du bassin après 4500 secondes pour trois différents débits	39
Figure 15 : Les grandes étapes de la transformation débit-efficacité/rejet	42
Figure 16 : Courbe hauteur-durée-fréquence pour une période de retour de 1 mois	47
Figure 17 : Détermination du volume à stocker en fonction du débit de fuite par la méthode des volumes	48
Figure 18 : Détermination du volume à stocker en fonction du débit de fuite	49
Figure 19 : Volume à stocker en fonction du débit de fuite suivant les différentes méthodes pour le bassin versant considéré	51
Figure 20 : Schéma du bassin envisagé pour la comparaison avec les différents critères réglementaires	52
Figure 21 : Schéma du bassin modélisé d'environ 1100 m^3	55
Figure 22 : Courbes de répartition obtenues pour un débit entrant de 700 l/s	56
Figure 23 : Courbes des dépôts au cours du temps pour différents débits	57
Figure 24 : Courbes des particules en suspension au cours du temps pour différents débits	58
Figure 25 : Courbes des rejets par le trop-plein au cours du temps pour différents débits	58
Figure 26 : Vue en coupe présentant les circulations préférentielles au sein du bassin pour un débit entrant de 100 l/s	59
Figure 27 : Vue de dessus représentant la forme des circulations préférentielles au sein du bassin pour des débits entrants allant de 200 l/s à 700 l/s	59
Figure 28 : Résultats obtenus pour différents débits seuils.....	61
Figure 29 : Logigramme à mettre en œuvre pour retenir le bassin le mieux adapté du point de vue génie civil en fonction des objectifs visés	62
Figure 30 : Exemple de courbes intensité-durée-fréquence.....	70

Figure 31 : Schéma illustrant la détermination de la hauteur à stocker.....	71
Figure 32 : Illustration du tracé de la hauteur d'eau cumulée précipitée et de la hauteur d'eau cumulée évacuée	72
Figure 33 : Tracé des hauteurs maximales à stocker en fonction du débit de fuite pour différentes périodes de retour	73
Figure 34 : Carte présentant les différentes zones géographiques définies dans l'IT77	74
Figure 35 : Abaque de dimensionnement de l'IT77	75
Figure 36 : Tableau utilisé pour la détermination du facteur a_T	77
Figure 37 : Abaque de détermination du volume réduit V_r	77
Figure 38 : Localisation du point référence.....	78
Figure 39 : Les grandes étapes de la modélisation 3D.....	86
Figure 40 : Lignes de courant obtenues pour 100 l/s.....	87
Figure 41 : Lignes de courant obtenues pour 700 l/s.....	87

Liste des tableaux

Tableau 1 : Comparatif des différentes configurations de bassins.....	17
Tableau 2 : Analyse de la méthode des pluies	19
Tableau 3 : Analyse de la méthode des volumes	19
Tableau 4 : Analyse de la méthode de l'IT77.....	20
Tableau 5 : Analyse de la méthode de la pluie critique.....	21
Tableau 6 : Analyse de la méthode AERM.....	21
Tableau 7 : Tableau comparatif des différentes méthodes	22
Tableau 8 : Synthèse de l'étude de sensibilité sur la phase de remplissage.....	37
Tableau 9 : Synthèse de l'étude de sensibilité sur la masse en suspension à l'issue du pas de temps de discrétisation pour un débit de déversement par le trop-plein constant de 286 l/s	38
Tableau 10 : Synthèse de l'analyse statistique réalisée sur les différentes années de pluies sur les données pluviométriques de Reichstett	45
Tableau 11 : Synthèse des écarts à la moyenne pour les différentes années sur les données pluviométriques de Reichstett.....	46
Tableau 12 : Synthèse des résultats vis à vis des critères règlementaires pour les MES	52
Tableau 13 : Résultats obtenus pour un bassin piège et un bassin de transit	60

Liste des équations

Équation 1 : Traduction mathématique des critères règlementaires	18
Équation 2 : Formule de calcul des rejets par temps de pluie en fonction des différents points de déversements	18
Équation 3 : Calcul des pertes initiales par la formule de Chocat	25
Équation 4 : Formule d'estimation de K.....	27
Équation 5 : Équation de stockage.....	27
Équation 6 : Équation de continuité du réservoir linéaire.....	27
Équation 7 : Modèle du réservoir linéaire	27

Équation 8 : Résolution par discrétisation de l'équation différentielle du réservoir linéaire	27
Équation 9 : Équation de conservation du modèle de Muskingum.....	29
Équation 10 : Équation de stockage du modèle de Muskingum.....	29
Équation 11 : Modèle de Muskingum	29
Équation 12 : Résolution par discrétisation au pas de temps Δt de l'équation différentielle du modèle de Muskingum	29
Équation 13 : Formule d'évaluation du paramètre K du modèle de Muskingum.....	30
Équation 14 : Traduction mathématique de l'hypothèse de transfert instantané dans le bassin.....	32
Équation 15 : Équation de conservation des débits	33
Équation 16 : Calcul du débit déversé en raison du remplissage du bassin.....	34
Équation 17 : Calcul de la masse déversée à partir du volume déversé sans prise en compte du piégeage.....	35
Équation 18 : Équation bilan du modèle retenu	40
Équation 19 : Équation bilan en termes de rejet du modèle retenu.....	40
Équation 20 : Efficacité du système en temps de pluie.....	41
Équation 21 : Calcul du rejet annuel.....	41
Équation 22 : Calcul de l'indice global d'écart à la moyenne sur l'année A	45
Équation 23 : Formule de Kirpich	50
Équation 24 : Détermination de la hauteur précipitée en fonction de l'intensité	70
Équation 25 : Calcul de la hauteur évacuée	70
Équation 26 : Calcul du volume à stocker connaissant la hauteur à stocker.....	71
Équation 27 : Détermination de la période de retour associée à l' ⁱ ^{ème} épisode de remplissage du bassin.....	72
Équation 28 : Formules de calcul du volume suivant la méthode IT77.....	75
Équation 29 : Formule de calcul du débit critique	76
Équation 30 : Calcul du débit de pluie admissible en station	76
Équation 31 : Évaluation de la part de l'intensité critique dirigée vers la station.....	76
Équation 32 : Formule de calcul du volume par la méthode de la pluie critique	76
Équation 33 : Formule de Kirpich	77
Équation 34 : Calcul des débits de rejet correspondant aux limites de déclassement....	79
Équation 35 : Calcul de la durée totale de déclassement	79
Équation 36 : Calcul du débit moyen journalier.....	82
Équation 37 : Calcul du coefficient de pointe	82
Équation 38 : Calcul du débit d'eaux claires parasites.....	82
Équation 39 : Calcul du débit de pointe de temps sec	82
Équation 40 : Calcul du débit moyen de temps sec	83
Équation 41 : Calcul du débit de la station.....	83
Équation 42 : Calcul du débit admissible en supplément du temps sec.....	83

Liste des abréviations

3D : trois Dimensions

AERM : Agence de l'Eau Rhin Meuse

C : Concentration

DBO₅ : Demande Biologique en Oxygène à 5 jours

DCO : Demande Chimique en Oxygène

DO : Déversoir d'Orage

E : Efficacité annuelle

h : heure

HDF : Hauteur-Durée Fréquence

IDF : Intensité-Durée-Fréquence

IT77 : Instruction Technique de 1977

K : lag time

kg/j : kilogramme par jour

l/s/ha : litre par seconde par hectare

m³ : mètre cube

MES : Matières En Suspension

mg/l : milligramme par litre

min : minute

mm/h : millimètre par heure

Q : débit

V : Volume

X_j : les j destinations possibles

Δh_{\max} : hauteur maximale à stocker en millimètre

Δt : pas de temps

Introduction

En France, les eaux pluviales génèrent plus de pollution que l'ensemble des rejets des stations d'épuration (ACO, 2016). Le traitement des rejets de temps de pluie constitue donc un enjeu majeur en vue de l'objectif de maintien et de reconquête du bon état des masses d'eau fixé par la Directive Cadre Européenne sur l'eau du 23 octobre 2000 (*Union Européenne*, 2000). L'une des solutions utilisées aujourd'hui pour réduire les rejets de temps de pluie vers le milieu naturel et la mise en place de bassins de dépollution associés à un ou plusieurs déversoirs d'orage. Il s'agit d'ouvrages permettant d'abattre une partie des pollutions particulières contenues dans les rejets de temps de pluie par décantation et/ou par stockage temporaire en vue d'une restitution vers la station de traitement des eaux usées. L'arrêté du 21 juillet 2015, relatif aux systèmes d'assainissement collectif et aux installations d'assainissement non collectif, à l'exception des installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO₅, (*Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (MEDDE)*, juillet 2015) définit les critères de conformité du système de collecte par temps de pluie.

Les méthodes actuelles de dimensionnement de bassins sont-elles adaptées pour dimensionner les bassins de dépollution vis-à-vis des critères réglementaires ? Prennent-elles en compte la pollution ? Permettent-elles d'optimiser le fonctionnement du couple déversoir-bassin ?

Ce stage de fin d'études a pour vocation de développer une méthodologie de dimensionnement adaptée aux bassins de dépollution prenant en compte leur performance. L'objectif final est qu'elle puisse s'appliquer à la fois aux nouveaux dispositifs développés et permettre une optimisation des bassins existants. Les objectifs opérationnels du stage sont le développement de la méthode, la quantification de la différence en termes de rejet entre un bassin piège et un bassin de transit, ainsi que la quantification du gain potentiel sur les bassins existants.

La première étape consistera à effectuer un état de l'art sur les bassins, la réglementation en vigueur et les méthodes de dimensionnement utilisées afin d'identifier leurs principales limites.

Une fois cet état de l'art réalisé, la nouvelle méthode de dimensionnement développée sera présentée et justifiée.

L'étape suivante comparera les méthodes existantes aux différentes contraintes réglementaires et justifiera l'intérêt de la nouvelle méthode vis-à-vis de la réglementation.

Pour finir, la dernière partie s'intéressera à l'application concrète de la nouvelle méthodologie développée sur un bassin versant fictif.

1. Etat de l'art

Cette première partie vise à présenter et expliquer le fonctionnement des différents types de bassins, expliciter la réglementation concernant les rejets de temps de pluie dans le milieu naturel ainsi qu'à présenter les méthodes actuellement disponibles pour dimensionner les bassins de dépollution dans le but de les analyser et d'identifier les manques. Celles-ci seront par ailleurs comparées dans la troisième partie.

1.1. Les différents types de bassins : objectifs et fonctionnement

Il existe une grande variété dans la typologie des bassins. Ceux-ci peuvent être secs ou bien en eau, enterrés ou à ciel ouvert,...

Le bassin enterré permet de réduire la consommation d'espace, cependant, celui-ci nécessite un investissement initial plus important et son entretien est plus complexe et plus coûteux qu'un bassin à ciel ouvert. (*Abessolo, 2011*).

Les bassins peuvent être classés en deux grandes familles :

- Les bassins de retenue ont pour objectif principal la protection face au risque d'inondation.

Ils stockent l'eau en période de pointe et la restitue ensuite au milieu naturel, ils servent donc à écrêter les crues.

- Les bassins de dépollution ont pour objectif principal la protection du milieu naturel face au risque de pollution.

Leur objectif est de retenir un maximum de pollution afin de diminuer voire d'éviter les rejets dans le milieu naturel. L'eau stockée par ces bassins est renvoyée vers la station d'épuration à la fin de l'épisode pluvieux pour y être traitée.

Certains bassins peuvent avoir un fonctionnement mixte, néanmoins, cela induit une exploitation du bassin plus complexe (prévision de crues, télégestion et équipements électromécaniques) (*Vazquez, 2014*).

La méthode de dimensionnement envisagée vise à être utilisée pour les bassins de dépollution, qui poursuivent un objectif de préservation du milieu récepteur. Cette méthode n'a pas vocation à permettre le dimensionnement de bassins de protection contre les inondations.

Il existe quatre types de configurations de bassins de dépollution. Le trajet de l'eau usée est représenté sur les différents schémas ci-dessous pour trois états de fonctionnement différents, à savoir, le temps sec, les faibles précipitations et les événements forts.

➤ Le bassin de transit à connexion directe

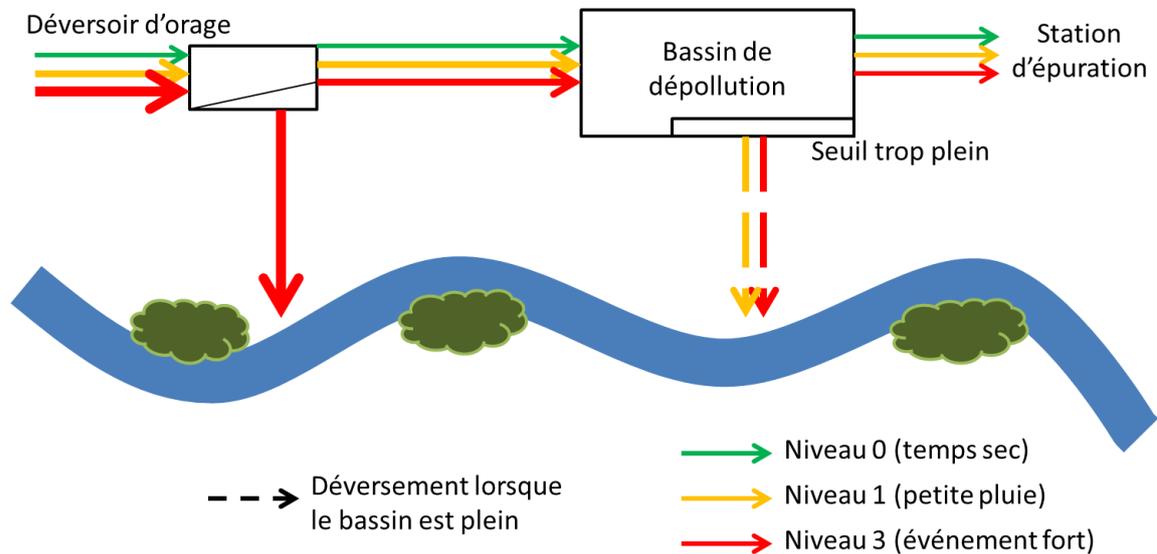


Figure 1 : Schéma d'un bassin de transit à connexion directe

Source personnelle d'après Vazquez, 2014

➤ Le bassin de transit à connexion latérale

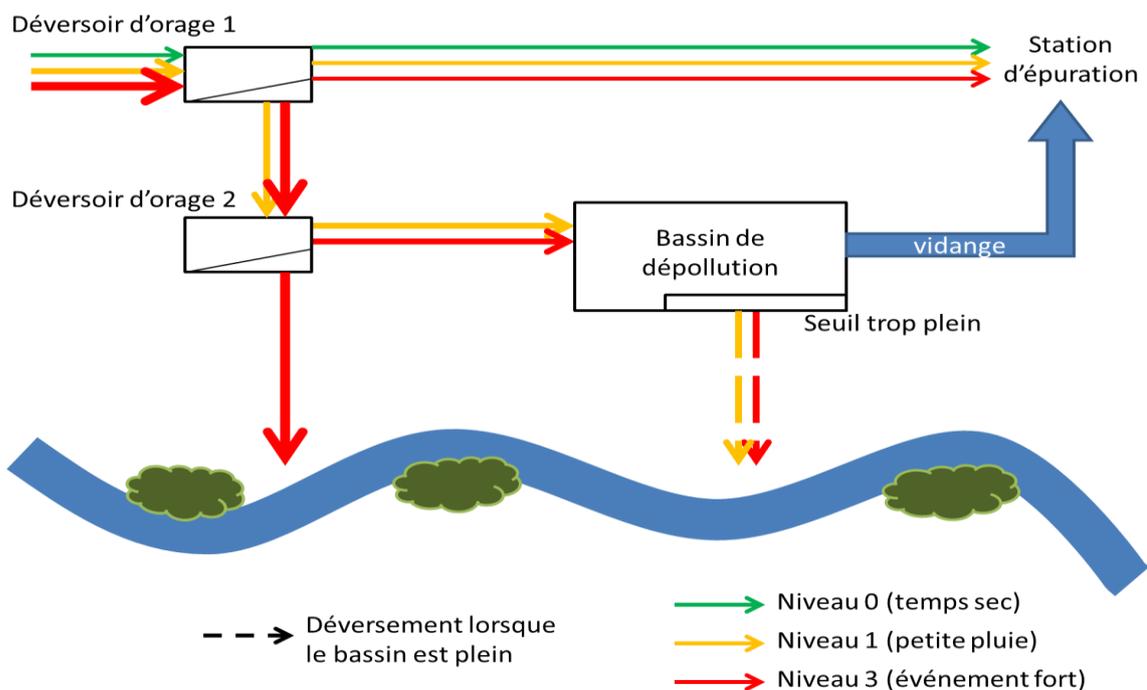


Figure 2 : Schéma d'un bassin de transit à connexion latérale

Source personnelle d'après Vazquez, 2014

➤ Le bassin piège à connexion directe

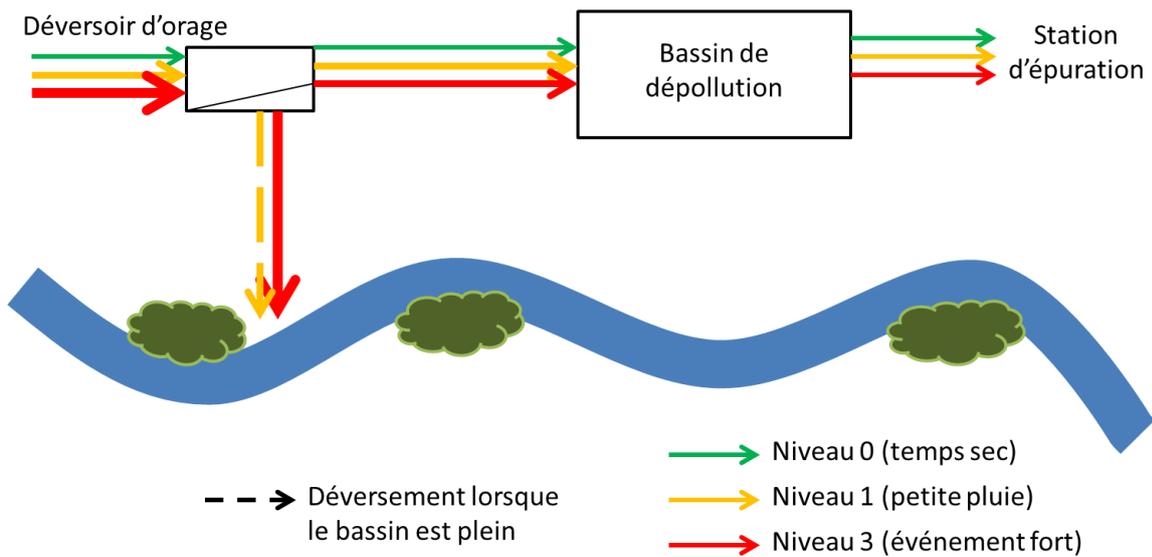


Figure 3 : Schéma d'un bassin piège à connexion directe

Source personnelle d'après Vazquez, 2014

➤ Le bassin piège à connexion latérale

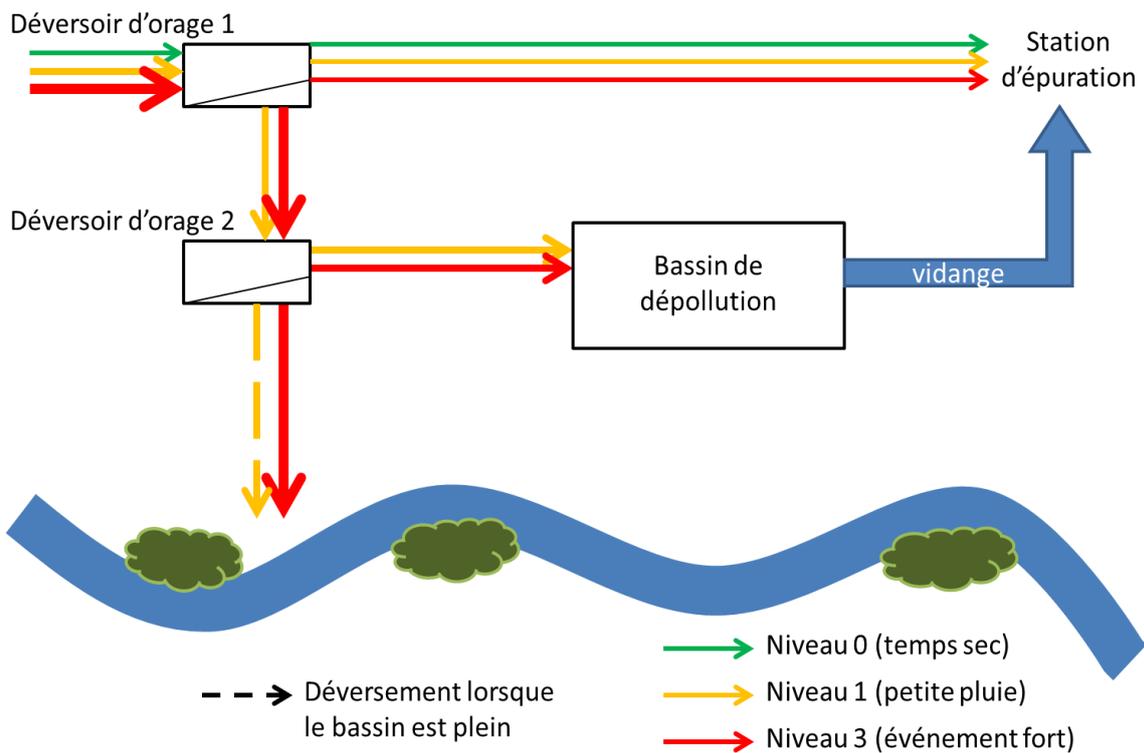


Figure 4 : Schéma d'un bassin piège à connexion latérale

Source personnelle d'après Vazquez, 2014

Le tableau suivant synthétise les différents avantages et inconvénients des quatre types de configurations de bassins de dépollution (Ta, 1988).

Tableau 1 : Comparatif des différentes configurations de bassins

	Avantages	Inconvénients
Bassin piège à connexion directe	<ul style="list-style-type: none"> • Coût d'investissement plus faible (1 seul déversoir d'orage, moins de canalisations) • Vidange gravitaire possible • Liberté de conception (géométrie peu importante) 	<ul style="list-style-type: none"> • Difficultés et coûts d'entretien importants (alimentation du bassin y compris en temps sec) • Débit sortant variable ou équipements de régulation nécessaire
Bassin piège à connexion latérale	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de perte de pente due au bassin sur le réseau • Pas de traversée en temps sec • Liberté de conception (géométrie peu importante) 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût d'investissement plus élevé (plus de canalisations, un déversoir supplémentaire) • Pompe de vidange nécessaire
Bassin de transit à connexion directe	<ul style="list-style-type: none"> • Coût d'investissement plus faible (1 seul déversoir d'orage, moins de canalisations) • Vidange gravitaire possible • Meilleure performance sur la rétention de MES (flux plus important traversant le bassin) 	<ul style="list-style-type: none"> • Concevoir le bassin pour limiter la turbulence et avoir un champ de vitesse le plus homogène possible • Nécessite un trop-plein (coût) • Difficultés et coûts d'entretien importants (alimentation du bassin y compris en temps sec) • Débit sortant variable ou équipements de régulation nécessaire
Bassin de transit à connexion latérale	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de perte de pente due au bassin sur le réseau • Pas de traversée en temps sec • Meilleure performance sur la rétention de MES (flux plus important traversant le bassin) 	<ul style="list-style-type: none"> • Concevoir le bassin pour limiter la turbulence et avoir un champ de vitesse le plus homogène possible • Nécessite un trop-plein (coût) • Coût d'investissement plus élevé (plus de canalisations, un déversoir supplémentaire) • Pompe de vidange nécessaire

1.2. Cadre réglementaire

1.2.1. Vidange des bassins

Les bassins de dépollution doivent être étanches et restituer les eaux stockées vers la station d'épuration dans un délai maximum de 24 heures. (*Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (MEDDE)*, juillet 2015)

1.2.2. Conformité

Pour statuer sur la conformité du système de collecte par temps de pluie, l'un des trois critères suivants est fixé par la police de l'eau sur proposition du maître d'ouvrage.

En moyenne quinquennale, le système est conforme si (*MEDDE*, septembre 2015) :

1. Moins de 20 jours de déversement par an ont été constatés

Un jour de déversement peut être constitué :

- D'un déversement continu durant moins de 24 heures consécutives (y compris si celui-ci s'étend sur 2 jours calendaires, par exemple de 22 heures le 01 janvier à 4 heures le 02 janvier).
 - De multiples déversements successifs durant moins de 24 heures consécutives. Dans le cas où les volumes et les durées de déversements sont faibles, le service de la police de l'eau pourra considérer que ceux-ci ne sont pas comptabilisés comme un jour de déversement.
2. Les rejets par temps de pluie représentent moins de 5 % des volumes d'eaux usées produits par l'agglomération d'assainissement durant l'année
 3. Les rejets par temps de pluie représentent moins de 5 % des flux de pollution produits par l'agglomération d'assainissement pendant l'année

Les déversements observés dans les situations inhabituelles telles que la maintenance sur la station, les pannes ou dysfonctionnements non liés à un défaut de conception ou encore les inondations ne sont pas pris en compte dans le calcul.

Ces deux derniers critères se traduisent par la formule suivante :

Équation 1 : Traduction mathématique des critères réglementaires

$$\frac{\sum \text{volumes ou flux de pollution déversés par tps de pluie}}{\sum \text{volumes ou flux de pollution produits par tps sec et par tps de pluie}} \leq 5 \%$$

Soit en notant A1 le point de déversements des déversoirs d'orage, A2 le point de déversements du déversoir de tête de station et A3 le point de déversements en sortie de station.

Équation 2 : Formule de calcul des rejets par temps de pluie en fonction des différents points de déversements

$$\frac{\sum \text{volumes ou flux déversés A1}}{\sum \text{volumes ou flux déversés A1 + A2 + A3}} \leq 5 \%$$

NB : Si le respect des objectifs environnementaux ou sanitaires le nécessite, les services de la police de l'eau peuvent fixer des objectifs de non-déversement par temps de pluie allant au-delà des trois critères.

1.3. Les méthodes de dimensionnement existantes

L'objectif de cette sous partie est de proposer une analyse multicritère des différentes méthodes afin d'identifier les manques des méthodes existantes.

1.3.1. La méthode des pluies

La méthode des pluies repose sur une analyse statistique de chroniques de pluie qui vise à déterminer une hauteur de pluie à stocker pour une période de retour donnée (*MISE 84*, 2007 et *Vazquez*, 2014). La méthode est détaillée en annexe 1.

Cette méthode n'est pas applicable sur de grands bassins versants. En effet, l'absence de prise en compte des effets du ruissellement sur des bassins où le temps de réponse hydrologique est élevé peut conduire à surestimer le volume du bassin. De plus, cette méthode ne tient pas compte de la temporalité des apports et des vidanges, ce qui peut entraîner une sous-estimation importante du volume à stocker. En outre, la part de subjectivité dans la construction des courbes intensité-durée-fréquence peut conduire deux opérateurs à trouver des résultats différents. Elle ne prend pas en compte la qualité du rejet.

Tableau 2 : Analyse de la méthode des pluies

	Données utilisées	Représentativité des données	Domaine d'applicabilité	Prise en compte de la pollution	Lien avec les critères de l'arrêt
Méthode des pluies	Chroniques annuelles	+	--	-	-

1.3.2. La méthode des volumes

La méthode des volumes repose sur la même idée que la méthode des pluies, la différence réside dans le fait que la méthode des volumes prend en compte la temporalité des apports (*Vazquez*, 2014). Cette méthode est présentée en annexe 2.

Cette méthode est applicable seulement sur de petits bassins versants, où l'effet du ruissellement est négligeable. Elle ne prend pas en compte la qualité du rejet.

Tableau 3 : Analyse de la méthode des volumes

	Données utilisées	Représentativité des données	Domaine d'applicabilité	Prise en compte de la pollution	Lien avec les critères de l'arrêt
Méthode des volumes	Chroniques annuelles	++	-	-	-

1.3.3. Méthode IT77

Cette méthode figurant dans l'instruction technique de 1977 (*Deutsch, Tassin, 2000*) repose sur des abaques de dimensionnement construits en appliquant la méthode des volumes sur trois zones pluviométriques supposées homogènes. Celle-ci est exposée en annexe 3.

Bien qu'étant un outil simple d'utilisation permettant l'harmonisation des dimensionnements par zones géographiques, cette méthode pose la question de la représentativité spatiale. Celle-ci est par ailleurs déconseillée. En effet, le découpage en seulement 3 zones géographiques ne peut pas permettre une représentation fidèle de la pluviométrie. Elle ne prend pas en compte la qualité du rejet. De plus, cette méthode n'est utilisable que pour des périodes de retour de 2 ans à 20 ans, or les périodes de retour couramment utilisées pour dimensionner un bassin de dépollution sont dans la plupart des cas inférieures à 2 ans.

Tableau 4 : Analyse de la méthode de l'IT77

	Données utilisées	Représentativité des données	Domaine d'applicabilité	Prise en compte de la pollution	Lien avec les critères de l'arrêté
Méthode de l'IT77	Abaques	-	--	-	-

1.3.4. Méthode de la pluie critique

A l'aide d'une intensité de pluie, cette méthode détermine les pluies impactantes ou non sur le milieu récepteur (*Ta, 1988* et *Vazquez, 2014*). Celle-ci est détaillée en annexe 4.

Ce dimensionnement correspond au stockage d'une pluie « fictive » fixe. Or si l'on veut dimensionner le bassin pour une pluie avec une intensité critique située hors de l'intervalle 10 l/s/ha – 30 l/s/ha cette méthode n'est pas applicable. De plus, cette méthode a été développée à Stuttgart, la question de la représentativité spatiale des abaques utilisés se pose, en particulier pour les régions situées en dehors de la zone nord-est de la France.

Tableau 5 : Analyse de la méthode de la pluie critique

	Données utilisées	Représentativité des données	Domaine d'applicabilité	Prise en compte de la pollution	Lien avec les critères de l'arrêté
Méthode de la pluie critique	Abaques	--	--	+/-	-

1.3.5. Méthode de l'agence de l'eau Rhin Meuse (AERM)

Le dimensionnement est basé sur l'état du milieu naturel étudié, sur la capacité de celui-ci à "supporter" ou "accueillir" un apport supplémentaire de pollution sans dégrader son niveau (sa classe) de qualité pendant la période d'étiage ou période critique (CERTU, 2003 et Vazquez, 2014). Celle-ci est explicitée en annexe 5.

Cette méthode est la seule à prendre en compte l'état du milieu récepteur. Néanmoins, outre sa complexité de mise en œuvre (établissement de classes de pluies, nécessité de connaître l'état initial du milieu naturel) celle-ci pose de nombreuses limites. En effet, le rôle d'abattement du bassin n'est pas pris en compte. Pour un milieu naturel très sensible, l'utilisation d'une telle méthode peut conduire à une impasse technico-économique. La durée totale d'effet est difficilement estimable. La construction des classes de pluies induit une part de subjectivité.

Tableau 6 : Analyse de la méthode AERM

	Données utilisées	Représentativité des données	Domaine d'applicabilité	Prise en compte de la pollution	Lien avec les critères de l'arrêté
Méthode AERM	Classes de pluie	+	+	+/-	-

1.3.6. Bilan

Tableau 7 : Tableau comparatif des différentes méthodes

	Données utilisées	Représentativité des données	Domaine d'applicabilité	Prise en compte de la pollution	Lien avec les critères de l'arrêté
Méthode des pluies	Chroniques annuelles	+	--	-	-
Méthode des volumes	Chroniques annuelles	++	-	-	-
Méthode de l'IT77	Abaques	-	--	-	-
Méthode de la pluie critique	Abaques	--	--	+/-	-
Méthode AERM	Classes de pluie	+	+	+/-	-

L'ensemble de ces méthodes permet de dimensionner des bassins. Cependant, celles-ci présentent de nombreuses limites et n'ont pas de lien direct avec le critère réglementaire concernant la masse polluante utilisé pour statuer sur la conformité d'une agglomération d'assainissement. De plus, ces méthodes ne font pas de distinctions entre les différents types de bassins et aucune d'entre elle ne prend en compte la performance en termes de piégeage (décantation et masse en suspension restituée vers la station) du bassin de dépollution dimensionné. Par ailleurs, aucune ne permet l'optimisation du couple bassin/déversoir. C'est pourquoi, ce stage vise à développer puis à appliquer une méthodologie opérationnelle de dimensionnement des bassins suivant le type de bassin qui prenne en compte la performance de celui-ci et qui soit en lien direct avec la réglementation en vigueur sur le critère des 5 % en masse. Cette nouvelle méthodologie est explicitée dans le détail dans la partie suivante.

2. Présentation de la méthode de dimensionnement développée

Cette partie a pour objectif d'exposer la nouvelle méthodologie développée en justifiant clairement les différents choix retenus pour faire face aux difficultés rencontrées.

2.1. Cadre

Il s'agit de proposer une méthode de dimensionnement des bassins de dépollution tenant compte de leur performance en termes de piégeage.

2.1.1. Objectifs

La nouvelle méthodologie aura pour objectif d'utiliser des données représentatives, d'être applicable pour toute taille de bassin versant et à des chroniques annuelles, de prendre en compte la performance de l'ouvrage au travers de la pollution rejetée et de faire un lien avec la réglementation de l'arrêté du 21 juillet 2015 sur le paramètre MES. La finalité est d'offrir aux maitres d'ouvrages un outil d'aide à la décision pour déterminer le volume et la géométrie de leur bassin en fonction de critères réglementaires, environnementaux mais aussi économiques. Cette méthode vise également à permettre une optimisation de la performance annuelle des bassins existants au travers du couple bassin/déversoir, ce qu'aucune des méthodes existantes ne permet de faire. Malgré la complexité des phénomènes mis en jeu la méthode devra être opérationnelle.

2.1.2. Intérêt

L'intérêt majeur de cette méthode est qu'elle constitue une solution innovante prenant en compte l'abattement de MES au cours de la traversée d'un bassin de transit. La prise en compte de l'efficacité du bassin a pour vocation de mieux dimensionner celui-ci et de privilégier un bassin bien conçu hydrauliquement face à un bassin conçu sans études hydrauliques de façon aléatoire. En effet, un meilleur dimensionnement aura des conséquences à la fois sur la quantité de pollution rejetée et sur le coût d'investissement des ouvrages. De plus, piéger les MES permettra d'éliminer d'autres polluants, en effet, la majorité des indicateurs de pollution est portée par des particules (*Dufresne, 2008*).

2.1.3. Limites

La méthode ne présente pas d'intérêt pour les polluants présents sous forme soluble. Cette méthode ne s'intéressera pas à l'impact instantané de l'eau rejetée sur le milieu naturel. En effet, celui-ci est difficilement quantifiable au vue de l'état des connaissances actuelles.

2.1.4. Outils utilisés

Cette méthode sera mise en œuvre à l'aide du logiciel de calcul matriciel Scilab. Un code de calcul a été développé au cours du stage sous Scilab.

Un modèle 3D d'évaluation de la performance d'un ouvrage développé et validé au cours de la thèse de Gilles ISENMANN sera utilisé pour établir le lien entre débit et efficacité. Dans celui-ci, la décantation est basée sur un seuillage de l'énergie cinétique turbulente sur le fond de l'ouvrage (Isenmann, 2016).

2.1.5. Données nécessaires à la mise en œuvre

Les données minimales nécessaires à la mise en œuvre de cette méthode sont de trois types :

- Des données pluviométriques
 - Afin de pouvoir transformer la pluie en débit, il est nécessaire de disposer de la pluviométrie d'une année représentative complète sur le bassin versant étudié (en termes de hauteur précipitée, intensité de pluie maximale sur différents pas de temps, nombre d'évènements pluvieux annuels, ...). Pour effectuer cette analyse statistique, il est préférable de disposer d'au minimum 10 années de données pluviométriques.
- Des caractéristiques physiques du bassin versant étudié
 - La pente du bassin versant
 - Le coefficient de ruissellement
 - La surface du bassin versant
 - La longueur du collecteur principal
 - La rugosité du collecteur principal
 - Le nombre d'habitants connectés au réseau
- La caractérisation des effluents observables
 - Concentration en MES en temps sec
 - Concentration en MES en temps de pluie
 - Courbe granulométrique caractéristique des rejets de temps de pluie

2.1.6. Déroulement de la méthode

La nouvelle méthodologie de dimensionnement développée se décompose en deux grandes étapes :

- Une transformation pluie-débit
- Une transformation débit-efficacité/rejet

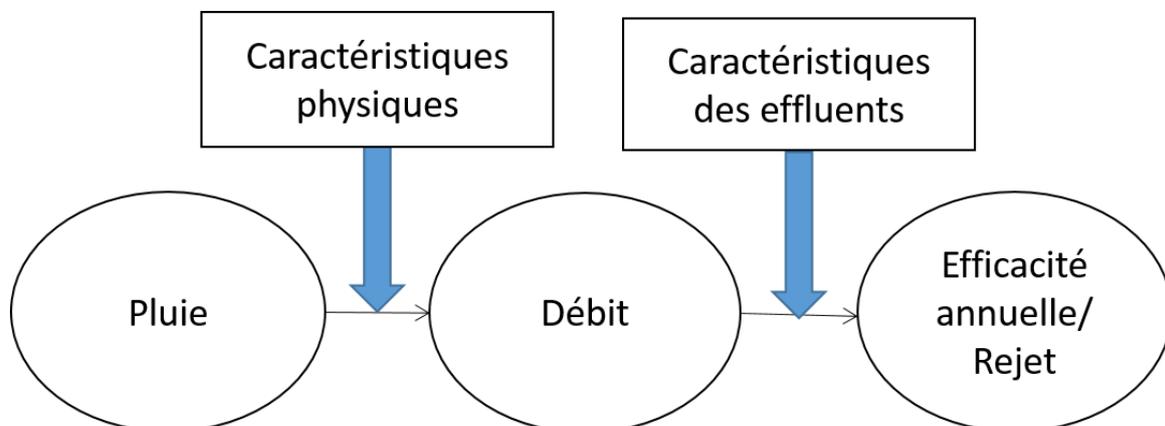


Figure 5 : Déroulement de la méthode

2.2. La transformation pluie-débit

2.2.1. Découpage en événements indépendants

La chronique annuelle des pluies est découpée en événements indépendants. Ce découpage a pour objectif principal la prise en compte des pertes initiales.

Lors du découpage, chaque événement pluvieux sera séparé du suivant et du précédent en choisissant une durée sans précipitations entre deux événements. La durée maximale de vidange pour un bassin étant de 24 heures (septicité) (*CERTU*, 2003 et *MEDDE*, juillet 2015), les applications qui seront réalisées par la suite prendront en considération une durée de 24 heures de temps sec entre deux événements indépendants.

2.2.2. Retrait des pertes initiales

Au début de chacun des événements pluvieux considérés, des pertes initiales sont soustraites (figure 6) afin de prendre en compte les pertes dues principalement au stockage dans les dépressions, mais également à l'évaporation et à l'interception par les végétaux.

Bien que celles-ci jouent un rôle mineur lors d'une forte pluie, elles peuvent avoir un rôle majeur pour des événements pluvieux faibles à moyens c'est pourquoi il est nécessaire de les étudier lorsque l'on s'intéresse à l'évaluation des rejets (*CERTU*, 2003).

Elles dépendent de nombreux paramètres, la nature du revêtement, l'humidité du sol, la pente du bassin versant considéré ou encore l'état de la végétation. En conséquence, elles varient suivant l'évènement pluvieux considéré. Néanmoins, pour cette méthode les pertes initiales seront considérées constantes pour tous les événements indépendants.

Leur estimation sera réalisée à l'aide de la formule proposée par Chocat en 1978 (*CERTU*, 2003).

Équation 3 : Calcul des pertes initiales par la formule de Chocat

Si $I < 3\%$

$$P_i = a + b * (3 - I)$$

Si $I > 3\%$

$$P_i = a$$

Avec pour les terrains perméables :

$a = 2 \text{ mm}$

$b = 4 \text{ mm}$

Pour les terrains imperméables :

a = 0,5 mm

b = 1 mm

I : pente moyenne du bassin versant exprimée en %.

2.2.3. Retrait des pertes continues

Une fois les pertes initiales déduites, d'autres pertes se produisent, ce sont les pertes continues.

Il existe plusieurs modèles de représentation de ces pertes continues, principalement dues à l'infiltration.

- Pertes continues proportionnelles à l'intensité de la pluie (coefficient de ruissellement C après pertes initiales)
- Pertes continues évoluant en fonction du temps de façon analogue à une fonction d'infiltration
- Pertes continues constantes au cours du temps

La méthode sera appliquée sur des bassins versants principalement urbains, des pertes continues proportionnelles à l'intensité de pluie seront prises en compte (figure 6). En effet, celles-ci présentent le meilleur compromis entre la facilité d'application et la représentativité pour modéliser la transformation pluie-débit dans le contexte urbain (Vazquez, 2014).

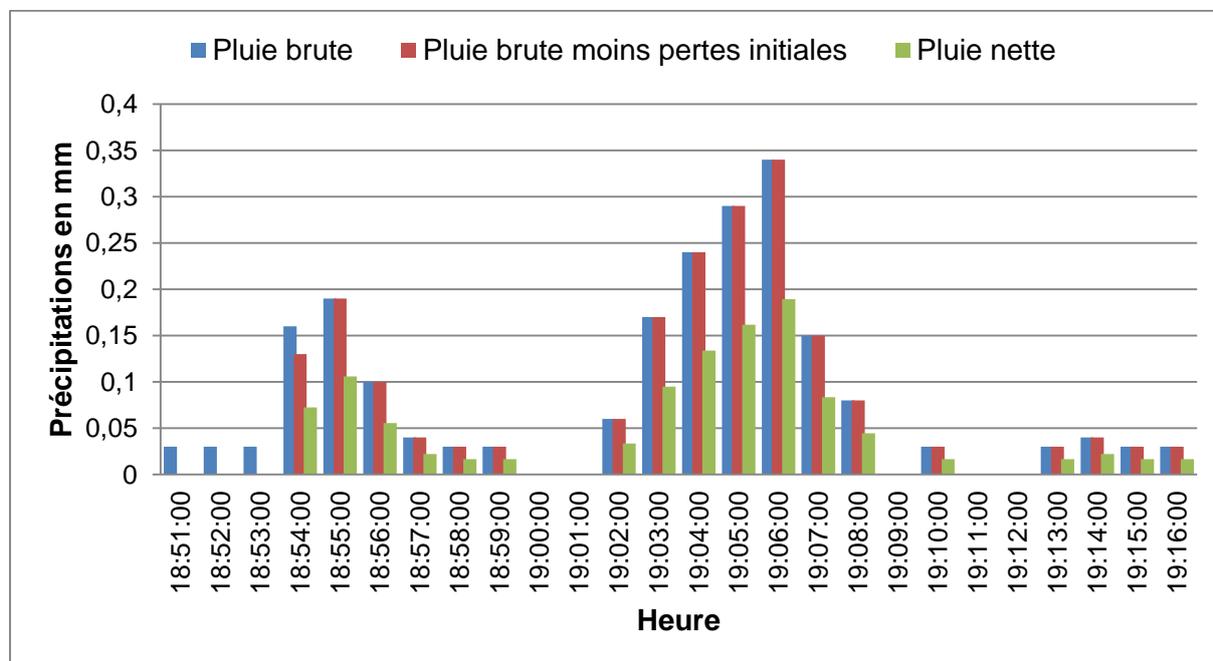


Figure 6 : Extrait de la transformation de la pluie brute en pluie nette pour l'événement du 22/05/14 sur le pluviomètre de Reichstett avec $P_i=1,25$ mm et C après pertes initiales =0,56

Remarque : Cet extrait a été choisi pour illustrer les deux phénomènes pris en compte dans le modèle de production, cependant une grande partie des pertes initiales est satisfaite avant les valeurs présentées sur ce graphique.

2.2.4. Modèle du réservoir linéaire

Ce modèle est le plus fréquemment utilisé et le mieux approprié au contexte urbain (Vazquez, 2014), il est simple et ne comporte qu'un seul paramètre de calage K qui peut être estimé à l'aide de formules issues d'études expérimentales.

La formule d'estimation de K qui sera utilisée est la suivante (Hydratec, 2007) :

Équation 4 : Formule d'estimation de K

$$K = 5,3 * S^{0,3} * C^{-0,45} * I^{-0,38}$$

Avec :

K : lag time en minutes

S : superficie du bassin versant en hectares (ha)

C : coefficient de ruissellement

I : pente du bassin versant en %

Le paramètre K caractérise le décalage temporel entre les barycentres du hyétogramme (pluie au cours du temps) et de l'hydrogramme (débit au cours du temps).

Avec ce modèle, le bassin versant est considéré comme un réservoir, cela peut se traduire par deux équations (Vazquez, 2014 et Bertrand-Krajewski, 2006a) :

- une équation de stockage

Équation 5 : Équation de stockage

$$V(t) = K * Q_s(t)$$

- une équation de continuité

Équation 6 : Équation de continuité du réservoir linéaire

$$\frac{dV(t)}{dt} + Q_s(t) = Q_e(t)$$

En combinant ces deux équations, on obtient une équation différentielle du 1^{er} ordre :

Équation 7 : Modèle du réservoir linéaire

$$\frac{KdQ_s(t)}{dt} + Q_s(t) = Q_e(t)$$

La résolution à l'aide d'une discrétisation (Kovacs, 1988) donne :

Équation 8 : Résolution par discrétisation de l'équation différentielle du réservoir linéaire

$$Q_s(t + \Delta t) = A_1 * Q_e(t) + A_2 * Q_e(t + \Delta t) + A_3 * Q_s(t)$$

Avec:

$$A_1 = A_2 = \frac{\Delta t}{2K + \Delta t}$$

$$A_3 = \frac{2K - \Delta t}{2K + \Delta t}$$

V : volume dans le réservoir en m³

Q_s : débit à l'exutoire en m³/s

K : lag time en heures

Δt : pas de temps de calcul

$$Q_e = 10 * P(mm) * \frac{S}{\Delta t * 60}$$

P : précipitation nette en mm

Q_e : débit entrant sur le BV en m³/s

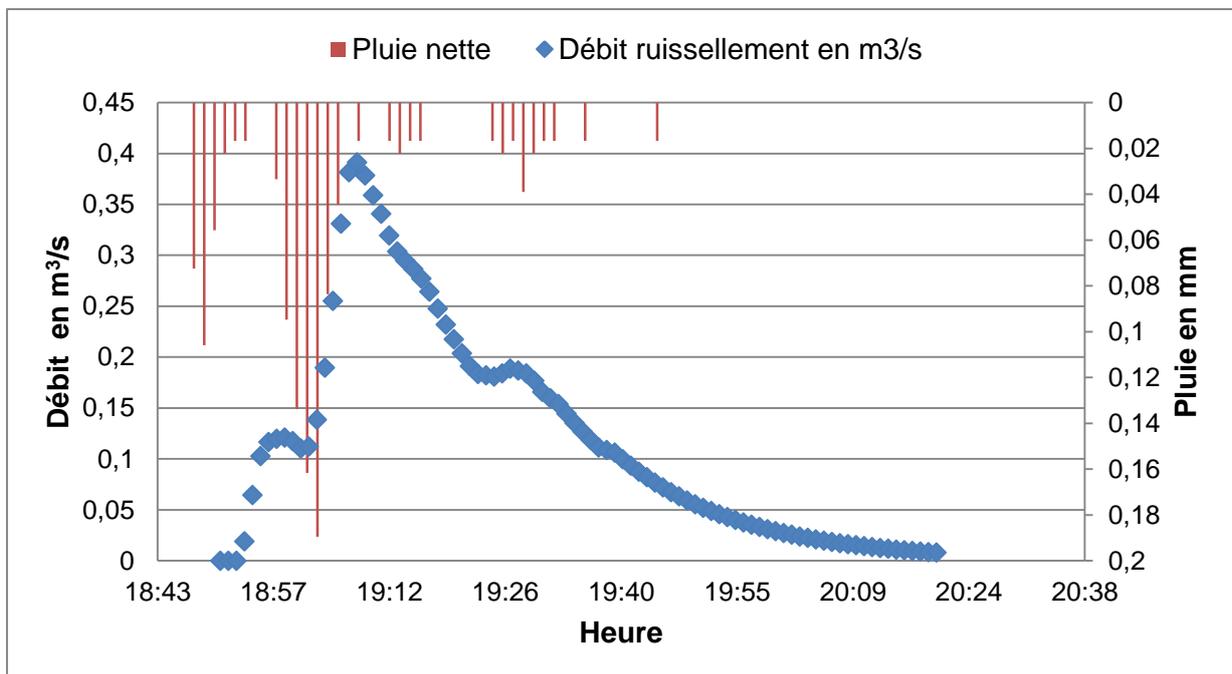


Figure 7 : Illustration de la transformation pluie nette en débit de ruissellement pour un extrait de l'épisode du 22/05/14 sur le pluviomètre de Reichstett (67) pour K ≈ 15 min

Le décalage temporel, entre les barycentres du hyétogramme et de l'hydrogramme de ruissellement, correspondant au paramètre K est bien perceptible sur la figure précédente.

2.2.5. Modèle de Muskingum

Ce modèle permet d'évaluer la propagation des débits dans les collecteurs. Il permettra de prendre en compte l'effet du transport dans les conduites sur le débit d'arrivée au niveau du déversoir d'orage qui alimente le bassin de dépollution que l'on souhaite dimensionner.

Le modèle conceptuel de Muskingum est régi par deux équations (Vazquez, 2014 et Bertrand-Krajewski, 2006b) :

- Une équation de conservation

Équation 9 : Équation de conservation du modèle de Muskingum

$$\frac{dV_s(t)}{dt} = Q_e(t) - Q_s(t)$$

Celle-ci traduit la conservation du débit entre l'entrée dans le réseau et le débit à l'exutoire que l'on cherche à évaluer.

- Une équation de stockage

Équation 10 : Équation de stockage du modèle de Muskingum

$$V_s(t) = K * (\alpha Q_e(t) + (1 - \alpha)Q_s(t))$$

Le paramètre α caractérise l'importance relative des influences amont et aval.

Si, $\alpha=0$ cela signifie que le stockage est uniquement influencé par l'aval et l'équation se résume à l'équation de vidange d'un réservoir linéaire. Au contraire si $\alpha = 1$ cela signifie physiquement que la vidange est régie uniquement par l'amont.

Le paramètre K caractérise le décalage temporel entre le centre de gravité de l'hydrogramme à l'entrée du réseau et celui à la sortie du réseau.

La combinaison de ces deux équations conduit à une équation différentielle du premier ordre :

Équation 11 : Modèle de Muskingum

$$\frac{K(\alpha dQ_e(t) + (1 - \alpha)dQ_s(t))}{dt} = Q_e(t) - Q_s(t)$$

La résolution à l'aide d'une discrétisation (Kovacs, 1988) de cette équation conduit à :

Équation 12 : Résolution par discrétisation au pas de temps Δt de l'équation différentielle du modèle de Muskingum

$$Q_s(t + \Delta t) = B_1 * Q_e(t) + B_2 * Q_e(t + \Delta t) + B_3 * Q_s(t)$$

Avec :

$$B_1 = \frac{2K\alpha + \Delta t}{2K(1 - \alpha) + \Delta t}$$

$$B_2 = \frac{-2K\alpha + \Delta t}{2K(1 - \alpha) + \Delta t}$$

$$B_3 = \frac{2K(1 - \alpha) - \Delta t}{2K(1 - \alpha) + \Delta t}$$

Concernant la valeur du paramètre α , la valeur moyenne raisonnable généralement choisie est de $\alpha = 0,2$ (Bertrand-Krajewski, 2006b).

Pour ce qui est du paramètre K celui-ci peut être estimé à l'aide de la relation suivante (Vazquez, Zug, Bellefleur et al., 1999) :

Équation 13 : Formule d'évaluation du paramètre K du modèle de Muskingum

$$K = \frac{dx}{0,8 * U}$$

Avec :

dx : La longueur du collecteur principal en m

U : la vitesse dans le collecteur principal pour 80% du débit maximum

Remarque : Le temps de discrétisation Δt doit être choisi tel que $B2 > 0$ pour éviter d'obtenir des débits négatifs.

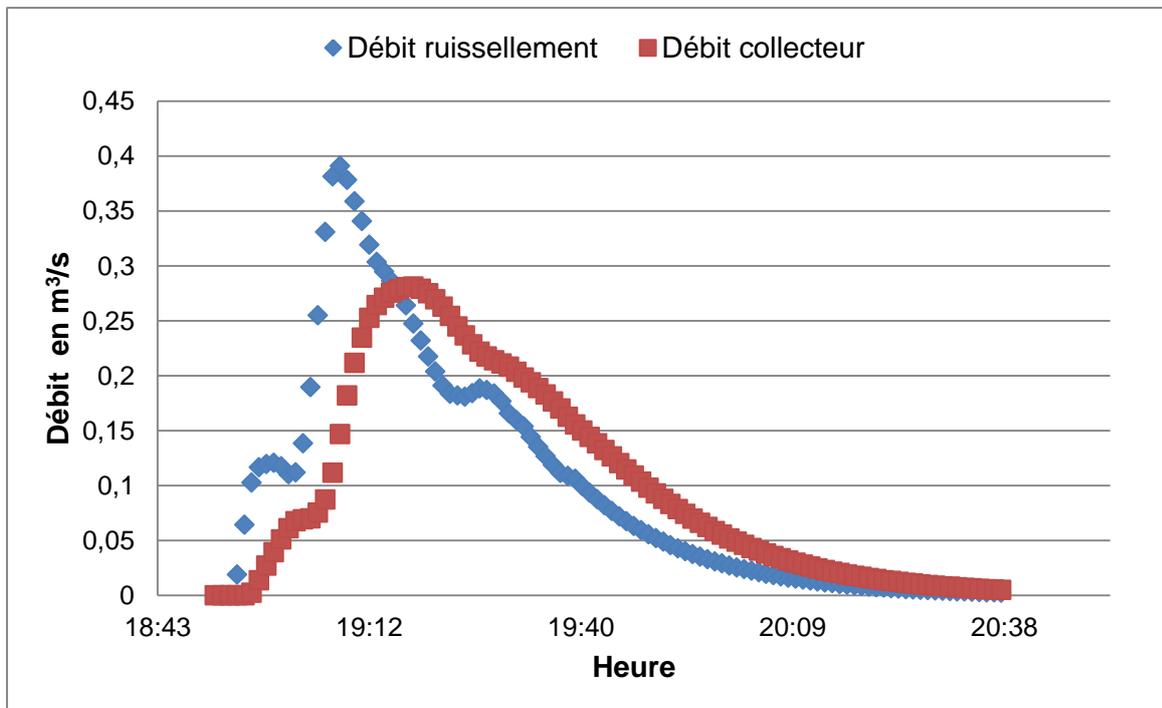


Figure 8 : Illustration de la prise en compte de l'écoulement dans le réseau pour un extrait de l'épisode du 22/05/14 sur le pluviomètre de Reichstett (67) pour $K \approx 9$ min

Le transport au sein des conduites du réseau d'assainissement induit un lissage du débit et un décalage du débit dans le temps comme l'illustre la figure précédente. Ceux-ci sont d'autant plus importants que le paramètre K est élevé.

2.2.6. Schéma de synthèse

Les différentes étapes de la transformation pluie-débit retenue sont synthétisées ci-dessous.

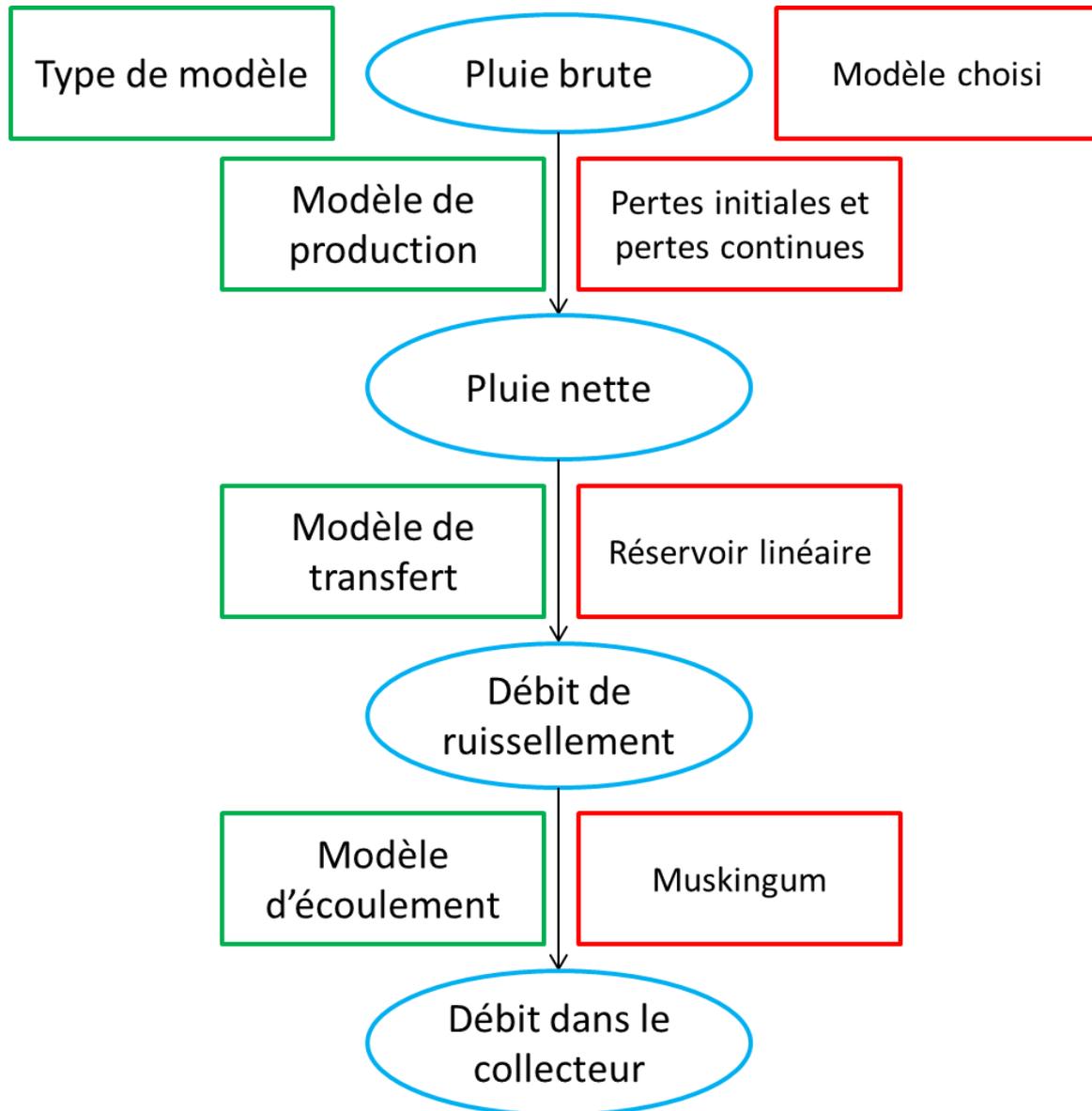


Figure 9 : Les grandes étapes de la transformation pluie-débit

La pluie ayant été transformée en débit, l'étape suivante consiste à établir le lien entre le débit entrant dans l'ouvrage et le rejet annuel.

2.3. La transformation débit-efficacité/rejet

Dans cette étape, le but est de faire le lien entre débit et efficacité/rejet.

2.3.1. Hypothèses

- Lorsque le bassin est plein, la durée de transfert du flux est supposée négligeable, ce qui signifie :

Équation 14 : Traduction mathématique de l'hypothèse de transfert instantané dans le bassin

$$Q_{\text{entrée bassin}} = Q_{\text{sortie bassin}} - Q_{\text{vidangé}}$$

- La taille et la concentration en particules sont supposées constantes quel que soit le débit d'entrée dans le bassin (cette hypothèse est possible uniquement grâce à la prise en compte d'une année représentative entière, celle-ci ne serait pas possible pour une simple pluie de projet). Cette hypothèse suppose l'absence de premier flot de rinçage. Or, les eaux pluviales suivant les eaux de rinçage sont également chargées en polluants. En effet, les différentes études ne mettent pas en évidence l'existence d'un premier flot de rinçage massif et significatif (*Miquel, 2003*).
- Les concentrations en MES rencontrées dans le bassin sont suffisamment faibles pour ne pas influencer l'écoulement.

2.3.2. Granulométrie des particules

En l'absence de mesures fiables, la répartition granulométrique des particules présentes dans le réseau par temps de pluie utilisée dans le cadre de cette méthode sera issue de la bibliographie.

La courbe granulométrique retenue (*Bertrand-Krajewski, 2006c*) est présentée ci-dessous :

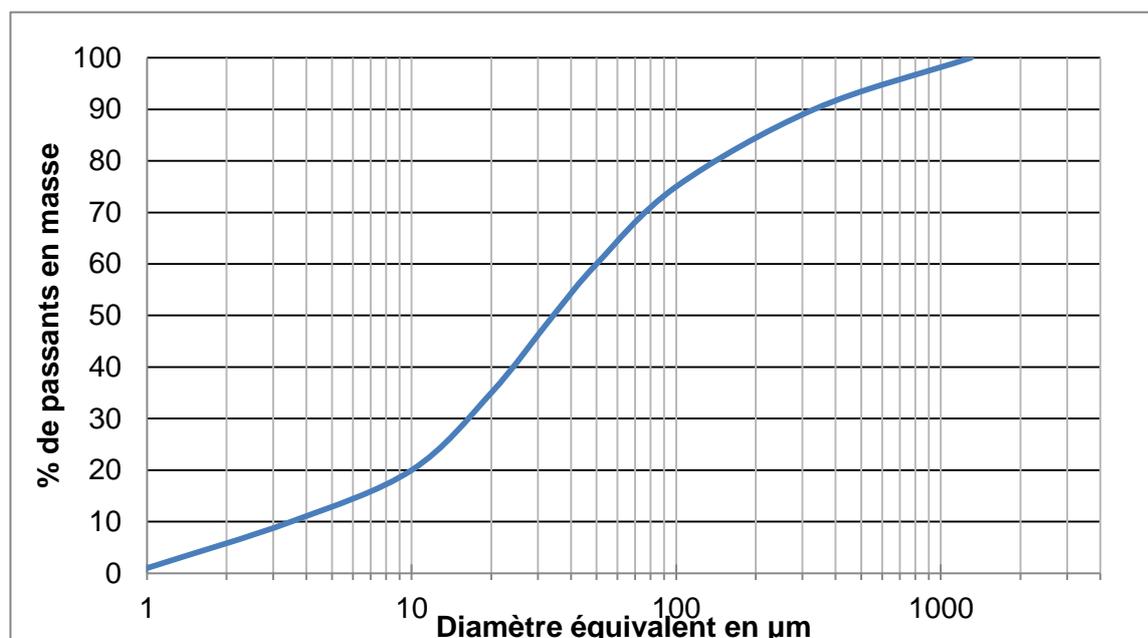


Figure 10 : Courbe granulométrique des MES en réseau unitaire par temps de pluie

2.3.3. Description du fonctionnement hydraulique du système

2.3.3.1. Discrétisation du débit

La courbe du débit en amont du déversoir d'orage en fonction du temps obtenue grâce à l'étape précédente est discrétisée au pas de temps Δt afin d'obtenir un débit supposé constant sur Δt (les simulations 3D étant réalisées à débit constant). Le pas de temps Δt est choisi en cohérence avec la dynamique des particules dans le bassin, celui-ci doit être suffisamment long pour que les phénomènes de transport solide puissent avoir le temps de se produire mais relativement court pour que l'hypothèse d'un débit constant n'éloigne pas trop le modèle du débit entrant réel. Un pas de temps de 15 minutes sera utilisé pour l'exemple concret traité.

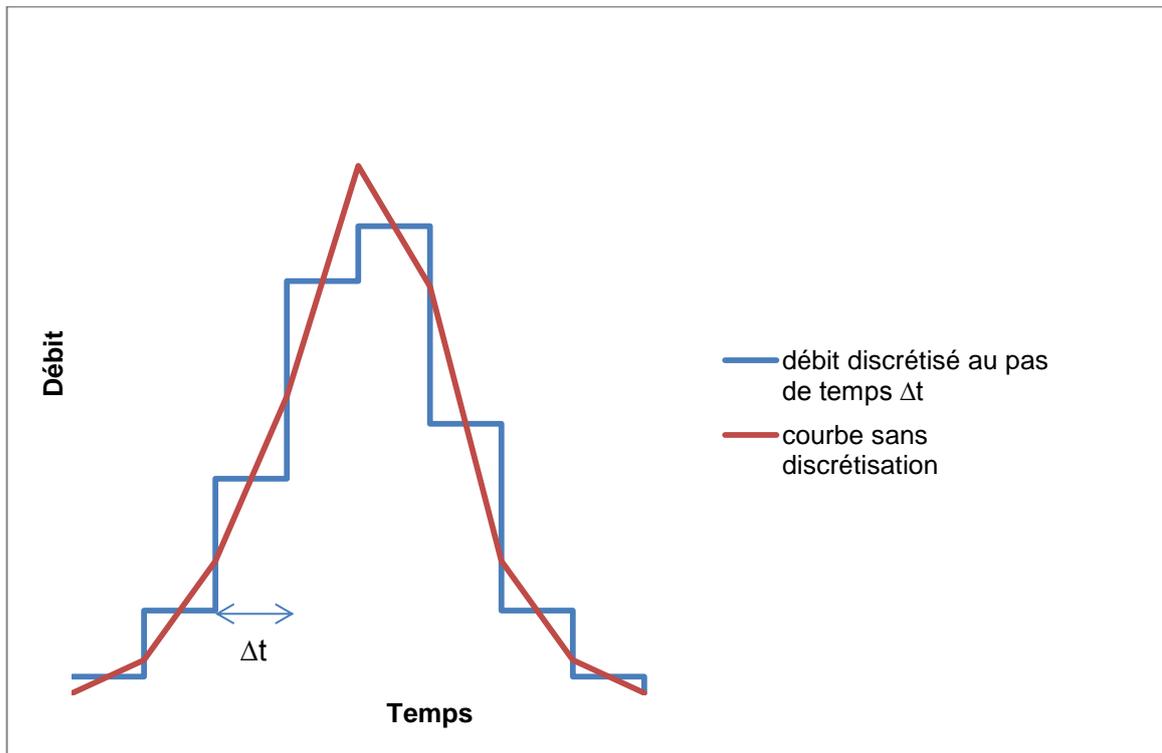


Figure 11 : Schéma illustrant l'étape de discrétisation au pas de temps Δt

2.3.3.2. Répartition des débits

Grâce à la discrétisation précédente, le débit dans le collecteur en amont du ou des déversoirs d'orage est connu pour chaque pas de temps. La division des débits au niveau du ou des déversoirs va donc être possible à l'aide des courbes de fonctionnement du ou des déversoirs d'orage ainsi que de l'équation de conservation des débits.

Équation 15 : Équation de conservation des débits

$$Q_{\text{amont déversoir}} = Q_{\text{déversé}} + Q_{\text{conservé}}$$

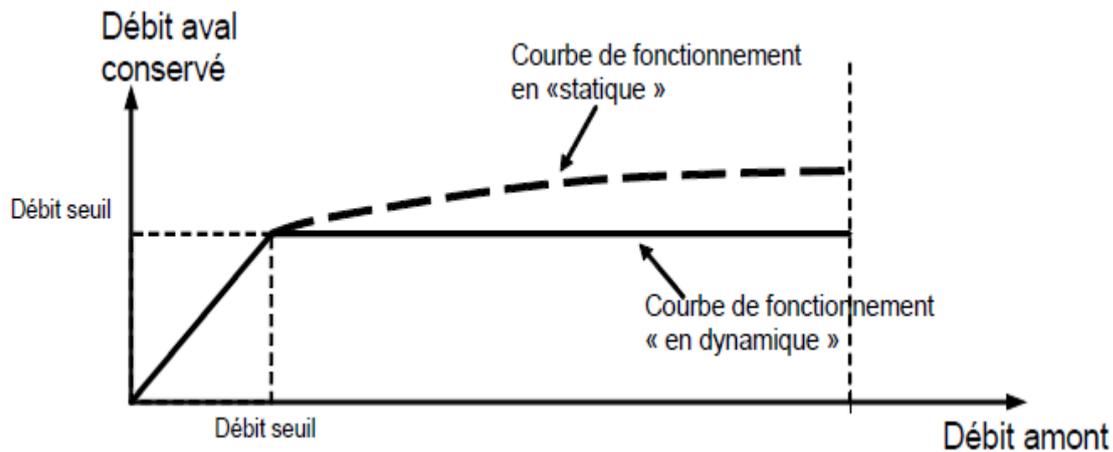


Figure 12 : Courbe de fonctionnement hydraulique d'un déversoir

Source : Vazquez, 2014

La méthode prendra en considération la courbe de fonctionnement en statique en faisant l'hypothèse que pour 10 fois le débit seuil, une augmentation de 20 % du débit aval conservé par rapport au débit seuil est constatée. Cette hypothèse correspond à l'ordre de grandeur généralement observé (Vazquez, 2014).

2.3.3.3. Prise en compte du volume du bassin

La représentation du fonctionnement hydraulique du système nécessite de prendre en considération la capacité de stockage du bassin.

Tant que le volume du bassin n'est pas atteint, le débit déversé en raison du remplissage du bassin ($Q_{\text{déversé bassin}}$) est nul ; dans le cas contraire :

Équation 16 : Calcul du débit déversé en raison du remplissage du bassin

$$Q_{\text{déversé bassin}} = Q_{\text{entrée bassin}} - Q_{\text{vidangé}}$$

Remarque : Bien que la notation choisie soit $Q_{\text{déversé bassin}}$, cette grandeur représente le débit déversé **en raison du remplissage du bassin**. En effet, dans le cas d'un bassin piège, ce déversement aura lieu au niveau du déversoir d'orage et non du trop-plein du bassin de dépollution (puisque un bassin piège ne comporte pas de trop-plein).

La difficulté de cette prise en compte du volume du bassin se situe au pas de temps seuil, c'est-à-dire le pas de temps qui termine de remplir le bassin. Trois solutions sont alors envisageables :

Tout d'abord, raisonner dans le sens de la sécurité en considérant que sur le pas de temps seuil : $Q_{\text{déversé bassin}} = Q_{\text{entrée bassin}} - Q_{\text{vidangé}}$

Néanmoins cela revient à sous-estimer volontairement le volume du bassin.

Ensuite, diminuer le débit déversé en raison du remplissage sur le pas de temps seuil pour faire correspondre les volumes. Cependant, cette solution induit une perte de sens de la méthode car l'efficacité de piégeage est dépendante du débit.

Enfin, conserver l'information sur les débits et fabriquer une matrice des volumes déversés à chaque pas de temps en raison du remplissage du bassin. Cette dernière solution sera retenue.

2.3.3.4. Fabrication des matrices des volumes déversés

Le choix précédent pour tenir compte du volume du bassin implique de raisonner en volume déversé sur l'intégralité du système. De plus, les matrices des volumes déversés seront utilisées pour construire par la suite les matrices des masses déversées, utiles pour faire le lien avec le critère de la réglementation.

A partir des matrices des débits, les matrices des volumes déversés (directement dans le milieu naturel, en raison du remplissage du bassin (au niveau du trop-plein pour les bassins de transit) et des volumes « conservés vers l'aval » sont construites en tenant compte du volume de stockage du bassin.

2.3.3.5. Fabrication des matrices des masses déversées

L'objectif de cette transformation est double : faire le lien avec le critère réglementaire des 5 % en masse et permettre une prise en compte du piégeage de pollution dans les bassins de transit lors de la traversée du bassin avant déversement.

Les masses déversées sont calculées à partir des volumes déversés par la formule :

Équation 17 : Calcul de la masse déversée à partir du volume déversé sans prise en compte du piégeage

$$m_{\text{déversée}} = C * V_{\text{déversé}}$$

Cette étape permet d'obtenir deux matrices qui seront utilisées par la suite:

- La matrice des masses déversées directement dans le milieu naturel par le déversoir d'orage situé en tête de bassin
- La matrice des masses déversées par le trop-plein du bassin si le piégeage ayant lieu dans le bassin n'est pas prise en compte

2.3.4. Prise en compte de la performance

Cette étape vise à prendre en compte l'efficacité du piégeage et la remise en suspension ayant lieu au cours de la traversée du bassin avant le rejet dans le milieu naturel. En conséquence, cette étape **s'applique seulement dans le cadre d'un bassin de transit**. En effet, pour un bassin piège l'efficacité sera de 100 % sur le volume stocké puis de 0 % une fois le bassin plein.

La quantification des phénomènes de transport solide, à savoir le dépôt et la remise en suspension, s'appuiera principalement sur le modèle 3D développé par Gilles ISENMANN (*Isenmann*, 2016) au cours de sa thèse.

Le modèle 3D permet d'obtenir les courbes de répartition à débit constant des particules entrantes sur un pas de temps donné entre les différentes zones (fond, suspension, sortie vers le trop-plein ou sortie vers la station) en fonction du temps et ainsi de connaître les dépôts au sein du bassin.

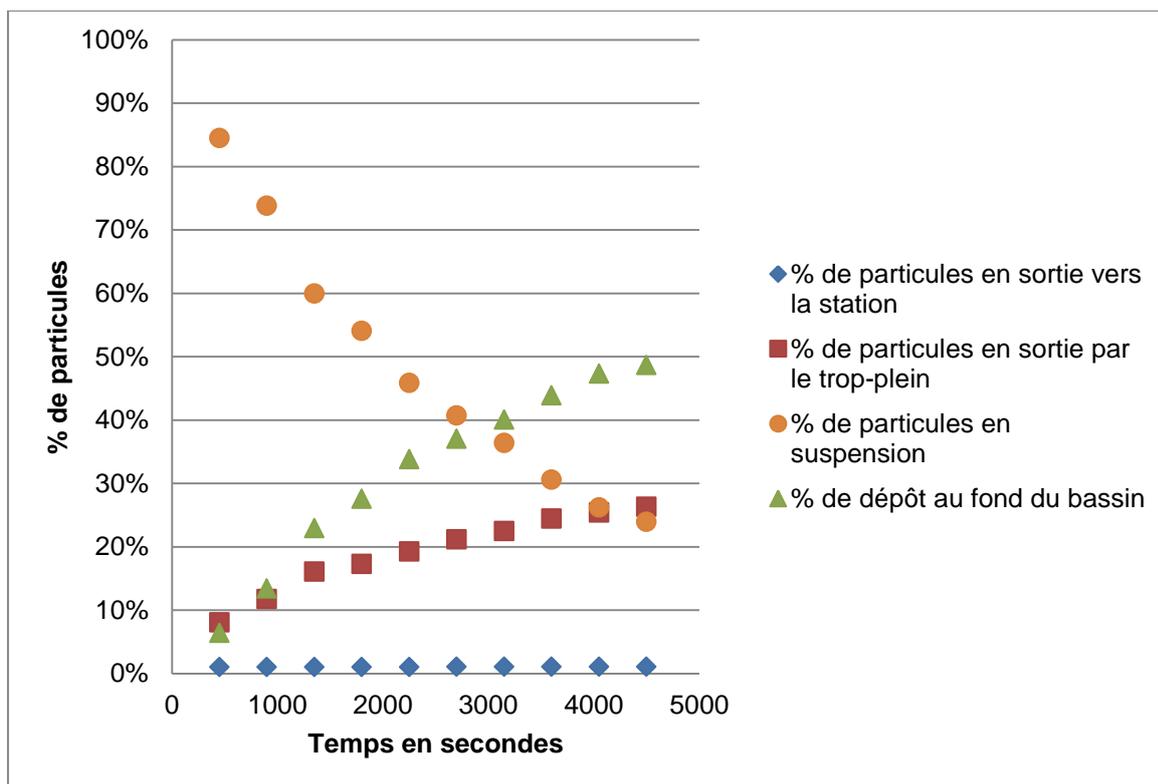


Figure 13 : Exemple de courbes obtenues pour un bassin de 1100 m³ et un débit de 500 l/s

Le dépôt des particules entrantes sur le pas de temps n'est pas le seul phénomène pouvant se produire au sein du bassin. Le couplage du modèle de transformation pluie-débit avec le modèle de transport solide 3D avec prise en compte de la remise en suspension serait la solution optimale pour prendre en compte tous les phénomènes avec la meilleure précision. Cependant, outre la complexité plus importante de réaliser la modélisation 3D en régime transitoire et la difficulté de prise en compte de la remise en suspension, le temps de calcul nécessaire à une telle solution sur une année entière est colossal et ferait croître de façon exponentielle le coût de mise en œuvre de la méthode. Pour pallier à cette difficulté, une solution alternative devra être utilisée.

Ainsi, trois autres phénomènes peuvent intervenir :

- Le devenir des particules en suspension : la concentration étant supposée constante, il est envisageable qu'à l'issue du pas de temps choisi la part de particules encore en suspension n'ayant ni atteint le fond ni l'une des sorties soit importante.
- La phase de remplissage : le modèle 3D ne permet pas de connaître le devenir et en particulier la quantité de dépôt parmi les particules entrantes durant les phases de remplissage du bassin
- L'érosion du fond : l'augmentation du débit entrant dans la phase ascendante de l'hydrogramme pourrait conduire à la remise en suspension et donc potentiellement à la sortie vers le milieu naturel de particules déposées sur les pas de temps précédents

Les différentes solutions envisageables pour la prise en compte de ces phénomènes sont présentées en annexe 6. Néanmoins, la question de l'importance de

ces trois phénomènes se pose. En effet, les exclure sans justification ferait prendre le risque d'un rejet annuel largement surestimé ou sous-estimé. Cependant, les prendre en compte alors qu'ils sont négligeables constituerait un apport mineur et entraînerait une hausse du coût de mise en œuvre de la méthode. C'est pourquoi la sensibilité de ces différents phénomènes a été étudiée.

2.3.4.1. Étude de la sensibilité des différents phénomènes

2.3.4.1.1. Sensibilité de la phase de remplissage sur le résultat

Il s'agit d'évaluer l'impact de la phase de remplissage sur le résultat final en termes de rejet annuel du système par temps de pluie.

Pour ce faire deux hypothèses extrêmes seront réalisées sur la phase de remplissage du bassin lorsque le trop-plein du bassin déverse :

- Hypothèse 1 : Lorsque le trop-plein du bassin déverse toute la pollution apportée par la phase de remplissage est rejetée dans le milieu naturel
- Hypothèse 2 : Lorsque le trop-plein du bassin déverse toute la pollution apportée par la phase de remplissage est piégée dans le bassin

Tant que le bassin ne déverse pas, toute la pollution apportée par la phase de remplissage est renvoyée vers la station peu importe l'hypothèse choisie.

Le tableau suivant résume les différences d'efficacité annuelle et de pourcentage de rejet annuel observées entre l'hypothèse n°1 et l'hypothèse n°2 sur le bassin versant défini dans la partie 3.2.1.

Tableau 8 : Synthèse de l'étude de sensibilité sur la phase de remplissage

Volume testé avec Q_{seuil} déversement à $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$	Volume annuel généré en temps de pluie en m^3	Masse de MES générée correspondante en tonnes ($C=400 \text{ g/m}^3$)	Nombre de remplissage avec déversement (estimé avec le nombre de jours de déversement observés)	Masse de MES correspondante à la phase de remplissage en tonnes	Ecart d'efficacité annuelle observée entre les deux hypothèses	Δ Rejet annuel
295	92 000	36,9	45	5,3	14%	4%
895	92 000	36,9	24	8,6	23%	7%
1925	92 000	36,9	18	13,9	38%	11%

Cette rapide étude de l'influence des phases de remplissage/vidange confirme qu'il est indispensable de prendre en compte ce phénomène, bien que l'influence de la phase de remplissage diminue lorsque le volume du bassin décroît. En effet, la limite réglementaire étant fixée à 5 % de rejet, il n'est pas envisageable de ne pas prendre en compte un phénomène pouvant avoir un impact de plus de 4 % sur le pourcentage de rejet annuel. En outre, le choix de l'hypothèse retenue aura un impact conséquent sur le résultat en termes d'efficacité annuelle et de rejet annuel.

2.3.4.1.2. Sensibilité des particules toujours en suspension à l'issue du pas de temps considéré

Il s'agit là encore d'évaluer l'impact de la prise en compte du devenir de la masse en suspension parmi la masse entrante à l'issue du pas de temps de calcul.

Pour ce faire, deux hypothèses extrêmes seront là encore réalisées, et la variation d'efficacité annuelle ainsi que la variation en pourcentage de rejet en masse seront calculées pour quantifier l'impact de l'hypothèse réalisée.

- Hypothèse 1 : Les particules en suspension à l'issue du pas de temps de discrétisation sont toutes rejetées dans le milieu naturel
- Hypothèse 2 : Les particules en suspension à l'issue du pas de temps de discrétisation sont toutes piégées dans le bassin

Une simulation sera réalisée pour différentes valeurs de pas de temps pour un bassin d'environ 1 100 m³ pour un débit entrant correspondant au débit seuil à savoir 300 l/s. Les déversements seront considérés en première approche comme ayant tous lieu à 300 l/s. Cela correspond au débit seuil qui caractérise environ 6 % du temps de déversement par le trop-plein mais près d'un quart des déversements en masse par le trop-plein. En effet, il ne s'agit pas ici d'obtenir une valeur précise du pourcentage annuel de rejet mais simplement de quantifier l'impact de l'hypothèse réalisée sur les particules en suspension à l'issue d'un pas de temps donné afin de savoir s'il est pertinent ou non de complexifier la méthode en prenant en compte ce phénomène. 55 000 particules représentatives de la distribution granulométrique retenue sont injectées au temps t=0.

Les résultats sont synthétisés dans le tableau suivant :

Tableau 9 : Synthèse de l'étude de sensibilité sur la masse en suspension à l'issue du pas de temps de discrétisation pour un débit de déversement par le trop-plein constant de 286 l/s

Volume en m ³	Pas de temps en secondes	% de particules en suspension à l'issue du pas de temps	Masse annuelle correspondante en tonnes de MES	% de variation associé sur l'efficacité annuelle	% de variation en termes de rejet annuel
1100	450	82%	4,6	12%	4%
1100	900	76%	4,2	11%	3%
1100	1350	70%	4,0	11%	3%
1100	1800	58%	3,3	9%	2%
1100	2250	54%	3,0	8%	2%
1100	2700	41%	2,3	6%	1%
1100	3150	32%	1,8	5%	1%
1100	3600	30%	1,7	5%	1%
1100	4050	23%	1,3	3%	1%
1100	4500	21%	1,2	3%	1%

Au vu des résultats obtenus pour un débit entrant de 300 l/s, représentatif de près d'un quart de la masse annuelle déversée par le trop-plein, il n'apparaît pas nécessaire de réaliser cette même étude pour d'autres débits. En effet, cette étude suffit à justifier la prise en compte des particules en suspension à l'issue du pas de temps de calcul.

2.3.4.1.3. Érosion du fond

Tout d'abord, pour qu'une zone du fond soit érodée cela suppose que des particules se soient préalablement déposées dans cette zone. Or, pour certains débits certaines zones sont vierges de dépôts (figure 14). Il est alors envisageable de découper le bassin en différentes zones distinctes et de raisonner avec plusieurs zones homogènes. Cependant, la variabilité des zones de dépôts en fonction du débit est importante et cela supposerait de redécouper des zones homogènes pour chaque débit et augmenterait de façon considérable le coût de mise en œuvre de la méthode développée. De plus, une fois les zones homogènes définies, il faudrait avoir un moyen de quantifier l'érosion de la zone en question, pour ce faire, seules des formules de transport solide en rivière sont aujourd'hui disponibles. Néanmoins, les formules applicables en rivière le sont pour des gammes de diamètre bien différentes des particules observables dans les réseaux d'assainissement. C'est donc à la fois pour des raisons techniques mais aussi pour limiter le coût de mise en œuvre que le découpage en différentes zones n'a pas été retenu.

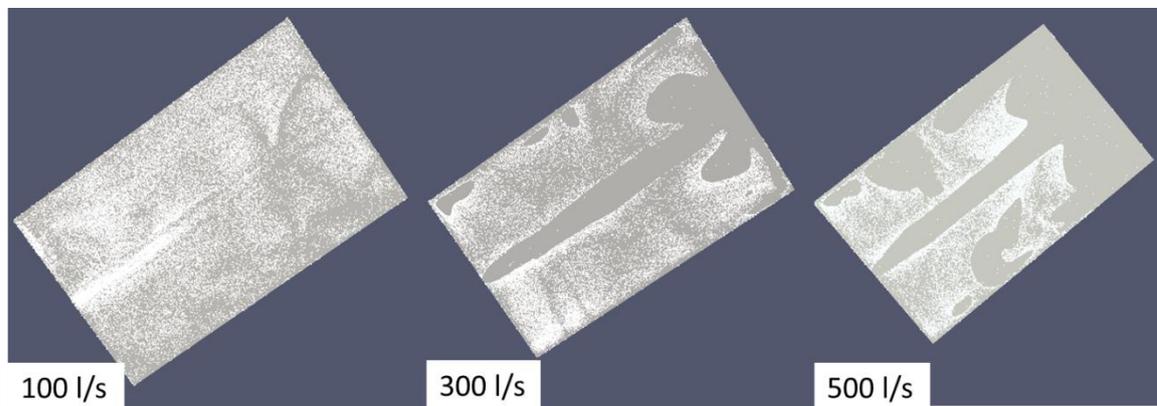


Figure 14 : Variabilité des zones de dépôts au fond du bassin après 4500 secondes pour trois différents débits

Maintenant que l'importance et la complexité des différents phénomènes a été exposée, le paragraphe suivant présente les choix retenus pour les prendre en considération.

2.3.4.2. Modèle retenu pour le transport solide

Le modèle retenu a été choisi dans le but de permettre à la fois une prise en compte des différents phénomènes pouvant intervenir (ceux-ci étant significatifs) tout en gardant à l'esprit la nécessité d'avoir une méthode opérationnelle et sans coût excessif.

Les particules entrantes sur un pas de temps seront réparties grâce aux courbes de répartition obtenues en fonction du temps avec injection à $t=0$. La valeur retenue sera la valeur correspondant à $\Delta t/2$ (correspondant au temps moyen de présence des particules entrantes dans le bassin depuis l'injection sur le pas de temps Δt).

Le devenir des particules en suspension sera estimé lui aussi grâce aux courbes de répartition obtenues en fonction du temps avec injection à $t=0$. La valeur retenue sera la valeur correspondant à Δt .

La possible remobilisation d'une particule préalablement déposée sera prise en compte à l'aide d'un encadrement. Ainsi la méthode sera appliquée une première fois en considérant qu'aucune particule n'est remobilisable, puis une seconde fois avec la répartition correspondant au débit maximum de l'épisode de déversement pendant toute la phase ascendante de celui-ci (phase d'accroissement du débit déversé par le trop-plein). Ce choix d'encadrement est justifié par le fait que la mise en place d'un découpage en zones est à la fois hasardeux (formule de transport solide en rivière non applicable pour les diamètres de particules d'un réseau d'assainissement) et nécessiterait un découpage et une étude de sensibilité à chaque débit pour s'assurer d'avoir un découpage représentatif induisant ainsi une hausse considérable du coût de mise en œuvre.

Enfin, l'hypothèse retenue pour la prise en compte des phases de remplissage précédant un déversement est de considérer que la masse arrivant annuellement pendant la phase de remplissage subie la même répartition que pendant la phase de déversement. Il y a donc le même pourcentage de rejet vers le trop-plein que le pourcentage de rejet annuel vers le trop-plein au cours de la phase de déversement. Celle-ci sera la première à remettre en cause en cas de non validation de la méthode sur des sites ou sur des pilotes expérimentaux.

Afin d'estimer la quantité de MES piégées au sein du bassin. Pour chacun des événements, un bilan de masse sera réalisé à chaque pas de temps et la masse présente dans le bassin (fond et suspension) à la fin de l'événement correspondra à la masse piégée au sein du bassin. Le bassin est supposé initialement vidé de toutes particules au début d'un nouveau remplissage de bassin.

L'équation-bilan se résume donc pour les X_j différentes destinations possibles de la façon suivante pour les particules arrivant pendant la phase de déversement par le trop-plein :

Pour j égal à 1 jusqu'au nombre de destinations possibles

Équation 18 : Équation bilan du modèle retenu

$$\begin{aligned} & \text{masse}_{\text{vers } X_j \text{ au pas de temps } i} \\ &= \% \text{ vers } X_j \text{ à } \frac{\Delta t}{2} * \text{masse entrante sur } i + \% \text{ vers } X_j \text{ à } \Delta t \\ & * \text{masse en suspension à la fin du pas de temps } i - 1 \end{aligned}$$

Avec X_1, \dots, X_j les j destinations possibles (zones de fond, suspension, sorties)

Pour obtenir le rejet global du système, il suffit d'ajouter le rejet direct vers le milieu naturel et le rejet associé à la phase de remplissage. Cela se traduit par :

Équation 19 : Équation bilan en termes de rejet du modèle retenu

$$\begin{aligned} & \text{masse rejetée vers le milieu naturel} \\ &= \text{masse rejetée annuellement au niveau du trop plein} \\ &+ \text{masse rejetée annuellement au niveau du déversoir en tête de bassin} \\ &+ \left(\frac{\text{masse rejetée annuellement au niveau du trop plein}}{\text{masse annuellement générée pendant les phases de déversement par le trop plein}} \right) \\ &* \text{masse annuelle correspondant à l'apport pendant les phases de remplissage précédant les déversements} \end{aligned}$$

2.3.4.3. Efficacité/Rejet annuel

Cette étape vise à faire un bilan des déversements et à faire le lien avec le critère réglementaire des 5% de rejets en masse sur le paramètre MES.

L'efficacité globale du système en temps de pluie s'écrit :

Équation 20 : Efficacité du système en temps de pluie

$$E = \frac{m_{\text{totale générée tps pluie}} - m_{\text{rejetée vers le milieu naturel (directement et par trop plein bassin)}}}{m_{\text{totale générée tps pluie}}}$$

Le rejet global annuel est calculé à l'aide de la formule suivante :

Équation 21 : Calcul du rejet annuel

$$\text{Rejet} = \frac{m_{\text{totale générée temps pluie}} * (1 - E)}{m_{\text{traité en temps sec}} + m_{\text{totale générée par le temps pluie}}}$$

La même méthode est appliquée pour d'autres volumes afin d'obtenir les différentes efficacités associées aux différents volumes. La limite maximale réglementaire pour le rejet est de 5 %.

Dans le cadre d'un bassin existant, la même méthode peut être appliquée en effectuant des modifications sur le fonctionnement du ou des déversoirs (modification de sa géométrie) afin d'optimiser la performance de dépollution du système. Le but étant de trouver le meilleur compromis entre maximiser le flux circulant dans le bassin et avoir une efficacité en termes de piégeage suffisamment élevée dans le bassin. En effet, un débit trop important d'arrivée dans le bassin pourrait provoquer le lessivage du bassin en remobilisant de nombreuses particules préalablement décantées, le système aurait alors une efficacité moindre et cette hausse de débit d'entrée aggraverait la pollution du milieu naturel.

2.3.4.4. Bilan et avis des experts consultés

La figure suivante synthétise les différentes étapes de la transformation débit-efficacité/rejet.

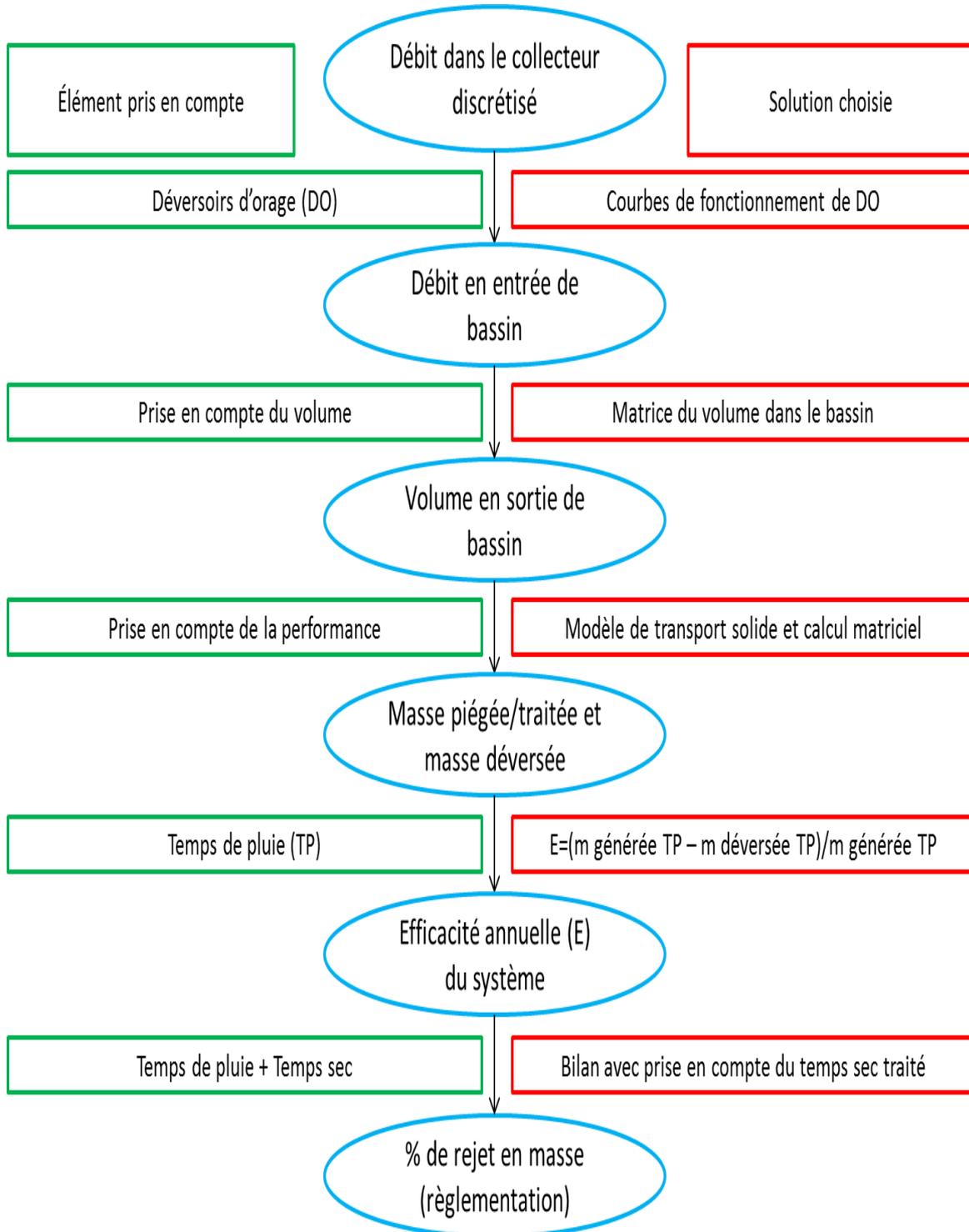


Figure 15 : Les grandes étapes de la transformation débit-efficacité/rejet

La méthode développée répond aux différents objectifs fixés. Celle-ci a été présentée à différents experts du domaine.

Lors d'un entretien téléphonique, M. Christian ROUX, chef de l'unité études à la direction de l'eau des Hauts de Seine (92), a jugé la démarche très intéressante et offrant de nombreuses perspectives, en particulier, en matière de bonnes pratiques de conception. Il souligne également l'intérêt de raisonner par classes de particules pour faire le lien avec d'autres polluants (DCO, micropolluants) et permettre une recombinaison de la courbe granulométrique pour n'importe quel site.

M. Dominique LAPLACE, directeur technique de la Société d'Exploitation du Réseau d'Assainissement de Marseille (13) souligne le caractère novateur et original de la démarche. Il note également, l'intérêt d'une telle méthode pour les collectivités et les sociétés d'exploitation. De plus, il souligne l'importance de l'impact du choix du mode de vidange (pompage dans le bassin ou vidange gravitaire) et l'utilité d'un modèle 3D pour prendre en compte celle-ci. Par ailleurs, il juge pertinent de choisir le paramètre MES dans l'optique de la phase de validation, car celui-ci peut être mesuré en continu à l'aide d'un turbidimètre.

Toutes les méthodes ayant été exposées, il apparaît nécessaire de comparer les différentes méthodes et de justifier l'intérêt de la nouvelle méthodologie développée. C'est ce que la partie suivante s'attachera à faire.

3. Comparaison des différentes méthodes de dimensionnement

Afin de comparer les méthodes de dimensionnement, les données pluviométriques de 2005 à 2015 fournies par l'Eurométropole de Strasbourg (67) sur le pluviomètre de Reichstett (67) vont être utilisées.

Dans un premier temps les méthodes des pluies et des volumes seront comparées de façon très générale pour une gamme de débits de fuite spécifique variant de 0,1 mm/h à 10 mm/h indépendamment des caractéristiques du bassin versant. L'objectif de cette comparaison générale étant de faire apparaître les différences de dimensionnement obtenues sur une large gamme de débit de fuite.

Dans un second temps, ces méthodes seront comparées sur un bassin versant fictif avec la méthode de la pluie critique et aux obligations réglementaires à vérifier figurant dans la note technique de l'arrêté du 21 juillet 2015 (*MEDDE*, septembre 2015).

Pour finir, la pertinence de la nouvelle méthode sera investiguée.

3.1. Comparaison générale des méthodes des pluies et des volumes

L'objectif étant la protection du milieu naturel, la période de retour choisie pour le dimensionnement sera prise égale à 1 mois (niveau 1) pour les méthodes des pluies et des volumes.

Les données pluviométriques utilisées présentent un pas de temps égal à une minute. Cela permet la prise en compte de fortes intensités sur de faibles durées. 11 années de mesures pluviométriques au pas de temps 1 minute représentent plus de 5,7 millions de mesures pluviométriques. Par conséquent, en raison du nombre important de mesures pluviométriques sur 11 années et afin de pouvoir comparer de façon cohérente et objective l'ensemble des méthodes, l'année représentative sera utilisée pour le dimensionnement du bassin pour l'intégralité des méthodes. Ce choix permettra de diminuer le temps de calcul nécessaire à l'application des différentes méthodes et d'écartier les problèmes liés au manque de mémoire pour effectuer les calculs. Néanmoins, l'utilisation d'une année représentative est suffisante pour estimer avec une incertitude acceptable un événement de période de retour 1 mois. En effet, il faudrait disposer d'observations sur une durée de 5 à 7 fois la valeur de la période de retour T exprimée en années (3 fois étant un minimum) (*Chocat, Bardin, 2004*).

3.1.1. Choix de l'année représentative

Pour une chronique de pluie inférieure à 3 ans il est important de vérifier la représentativité des données sur une chronique plus longue (*CERTU, 2003*). C'est pourquoi le choix de l'année représentative ne peut se faire « au hasard ». Les critères retenus pour ce choix sont les critères suivants :

- Le nombre d'événements pluvieux indépendants en considérant que ceux-ci sont séparés par 24 heures de temps sec
- La hauteur annuelle précipitée
- La hauteur maximale précipitée en 1 minute
- La hauteur maximale précipitée sur 15 minutes

L'ensemble de ces critères permet d'intégrer à la fois les caractéristiques d'intensité, de volume annuel ruisselé et la temporalité dans la succession des événements.

Les statistiques ont été obtenues grâce à l'outil de calcul matriciel Scilab et sont synthétisés dans le tableau suivant.

Tableau 10 : Synthèse de l'analyse statistique réalisée sur les différentes années de pluies sur les données pluviométriques de Reichstett

Année	nombre d'événements indépendants	hauteur annuelle précipitée en mm	h max sur 1 min en mm	h max sur 15 min en mm
2005	81	577,52	2,03	8,91
2006	80	802,6	1,99	17,57
2007	82	931,63	3,73	27,75
2008	81	788,05	3,39	25,43
2009	78	751,46	1,41	11,3
2010	76	866,17	1,86	14,89
2011	92	639,22	2,74	14,16
2012	93	760,66	1,7	11,63
2013	77	901,91	1,75	13,15
2014	82	736,97	2,23	13,64
2015	72	585,02	1,96	10,09
Moyenne	81,3	758,29	2,25	15,32

Les valeurs les plus proches de la moyenne sont surlignées en vert et les plus éloignées en rouge. Cette analyse par rapport à la moyenne illustre la nécessité de se fonder sur plusieurs critères afin de choisir une année représentative.

Afin de prendre en compte tous les aspects à la fois la temporalité, le volume précipité et l'intensité de pluie, l'écart relatif à la moyenne de chaque paramètre a été calculé puis ces écarts ont été additionnés dans le but de produire un indice global d'écart à la moyenne sur l'année A pour permettre un choix objectif.

Équation 22 : Calcul de l'indice global d'écart à la moyenne sur l'année A

$$Ecart(A) = \frac{abs(Nb \text{ événements } A - Nb \text{ événements moyen})}{Nb \text{ événements moyen}} + \frac{abs(h \text{ annuelle } A - h \text{ annuelle moyenne})}{h \text{ annuelle moyenne}} + \frac{abs(h \text{ max } 1 \text{ min } A - h \text{ max } 1 \text{ min moyenne})}{h \text{ max } 1 \text{ min moyenne}} + \frac{abs(h \text{ max } 15 \text{ min } A - h \text{ max } 15 \text{ min moyenne})}{h \text{ max } 15 \text{ min moyenne}}$$

Les résultats de cette analyse globale des écarts sont synthétisés dans le tableau suivant.

Tableau 11 : Synthèse des écarts à la moyenne pour les différentes années sur les données pluviométriques de Reichstett

Année	Ecart
2005	0,76
2006	0,34
2007	1,70
2008	1,21
2009	0,69
2010	0,41
2011	0,58
2012	0,63
2013	0,61
2014	0,16
2015	0,81

Au vu des résultats de l'analyse statistique conduite l'année 2014 a été choisie comme année représentative pour la suite des comparaisons.

3.1.2. Méthode des pluies

- Construction de la courbe HDF pour T= 1 mois

Afin d'alléger le traitement statistique seuls les événements dont la hauteur totale est supérieure à 2 mm ont été pris en compte. Cela revient à prendre en considération les 49 événements les plus forts de l'année représentative à savoir 2014.

La construction des courbes hauteur-durée-fréquence est dépendante de la gamme de durée utilisée pour sa construction, en effet des équations différentes peuvent être déterminées suivant que les points utilisés pour les déterminer correspondent à de longues ou de courtes durées (*Langousis, Veneziano, 2007*). C'est pourquoi, la courbe hauteur-durée-fréquence sera construite en deux parties, une première de 5 minutes à 2 heures et une seconde de 2 heures à 24 heures.

La courbe HDF sera construite suivant les pas de temps utilisés par météo France à savoir 6 min, 15 min, 30 min, 1 h, 2 h, 3 h, 6 h, 12 h et 24 h (*CEREMA, 2014*).

La courbe hauteur durée fréquence obtenue à partir de l'année 2014 est présentée ci-dessous.

Courbe HDF pour T=1 mois

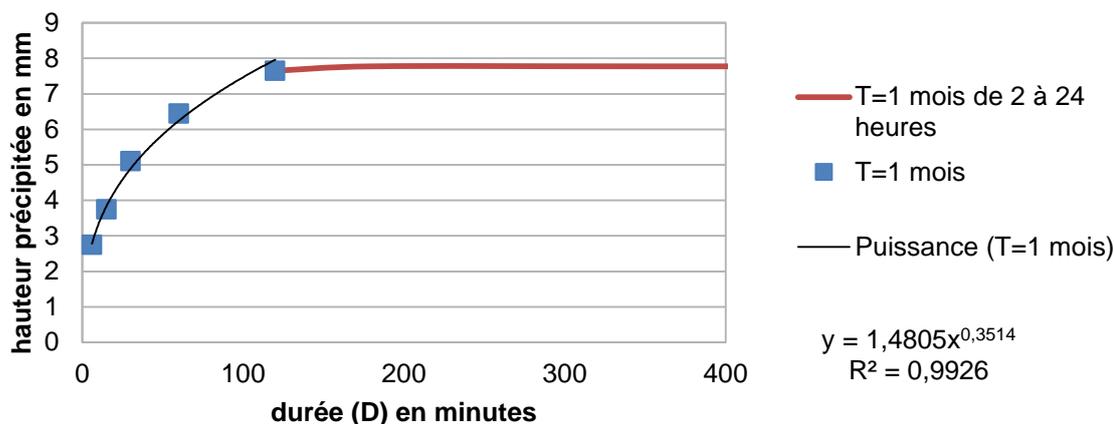


Figure 16 : Courbe hauteur-durée-fréquence pour une période de retour de 1 mois

Le coefficient de corrélation obtenu pour la modélisation sous la forme d'une puissance supérieur à 0,99 montre que la relation de Montana du type $I = a * D^b$ ou encore $h = a * D^{b+1}$ est satisfaisante pour représenter la pluie de période de retour 1 mois sur le pluviomètre de Reichstett (67) pour l'intervalle 5 minutes à 2 heures.

La détermination des Δh_{\max} pour différents débits de fuite suivant la méthodologie explicitée en annexe 1 a permis de déterminer la courbe des volumes à stocker par hectare actif en fonction du débit spécifique de l'ouvrage de stockage (figure 18).

Ce tracé adimensionnel présente l'avantage de pouvoir effectuer une comparaison sans faire des hypothèses sur le bassin versant. Ainsi, la comparaison sera indépendante des caractéristiques physiques du bassin versant tels que la pente, l'imperméabilisation, ... De plus, les courbes obtenues permettront de déterminer de façon simple et rapide le volume à stocker suivant les différentes méthodes de dimensionnement à savoir, méthode des volumes et méthode des pluies.

3.1.3. Méthode des volumes

La méthode des volumes est appliquée pour des débits de fuite variant de 0,1 à 10 mm/h avec un pas de 0,1 mm/h. Cela permet d'obtenir la hauteur à stocker en fonction du débit spécifique. Ainsi, la courbe des volumes à stocker en fonction du débit de fuite spécifique peut être tracée.

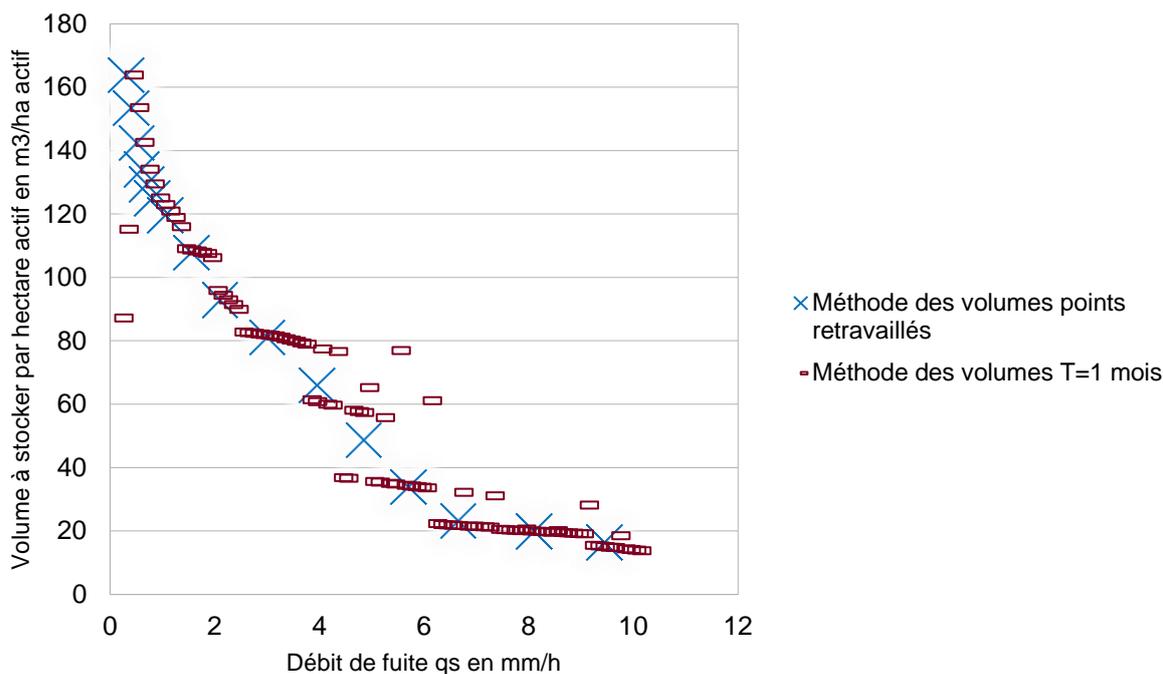


Figure 17 : Détermination du volume à stocker en fonction du débit de fuite par la méthode des volumes

Les 100 points obtenus pour des débits de fuite variant de 0,1 à 10 mm/h avec un pas de 0,1 présentent une certaine hétérogénéité. En effet, en particulier pour les valeurs variant entre 3 et 8 mm/h la dispersion est importante. Cette dispersion est due au fait que la méthode des volumes prend en compte la temporalité des événements et que la formule utilisée pour déterminer la période de retour associée toujours la 6^{ième} valeur à la période de retour 1 mois (annexe 2). Ainsi, si deux événements pluvieux « consécutifs » ou plus peuvent être considérés comme un seul et même événement par la méthode des volumes pour un faible débit de fuite (la vidange du bassin n'étant pas terminée au début de l'événement suivant). En revanche pour un débit de fuite plus élevé, il est possible que ces deux (ou plus) épisodes pluvieux soient considérés comme deux événements distincts. Cela explique la présence sur le graphe des quelques points situés plus hauts que la majorité des points.

Cependant, effectuer un dimensionnement plus grand avec un débit de fuite plus important n'a aucun sens. Il est donc indispensable de tracer la courbe des volumes à stocker en fonction des q_s pour appliquer cette méthode car utiliser la méthode pour un seul débit de fuite pourrait conduire à tomber sur un point extrême et à sur-dimensionner ou sous-dimensionner excessivement le bassin.

C'est pourquoi, dans le cadre de cette comparaison, les points expérimentaux ont été retravaillés. Les règles utilisées pour retravailler les points ont été choisies en lien avec deux objectifs principaux ne pas exclure les extrêmes et ne pas conserver les points n'ayant aucun sens.

Ainsi,

- Les deux premières valeurs obtenues sont nettement inférieures aux valeurs suivantes. L'analyse de la courbe de remplissage/vidange du bassin a montré que ce résultat est principalement dû à l'absence de vidange du bassin pendant plusieurs mois consécutifs. Le choix a donc été fait de supprimer ces 2 premiers points.
- Pour les points suivants, un point moyen a été associé à chaque groupement de points ayant des valeurs relativement proches en incluant les valeurs « extrêmes » situées dans l'intervalle de débit de fuite des groupements considérés.

3.1.4. Synthèse et conclusion

Deux méthodes existantes ont donc été appliquées, les résultats de ces méthodes sont présentés sur le graphe suivant afin de permettre une comparaison de celles-ci.

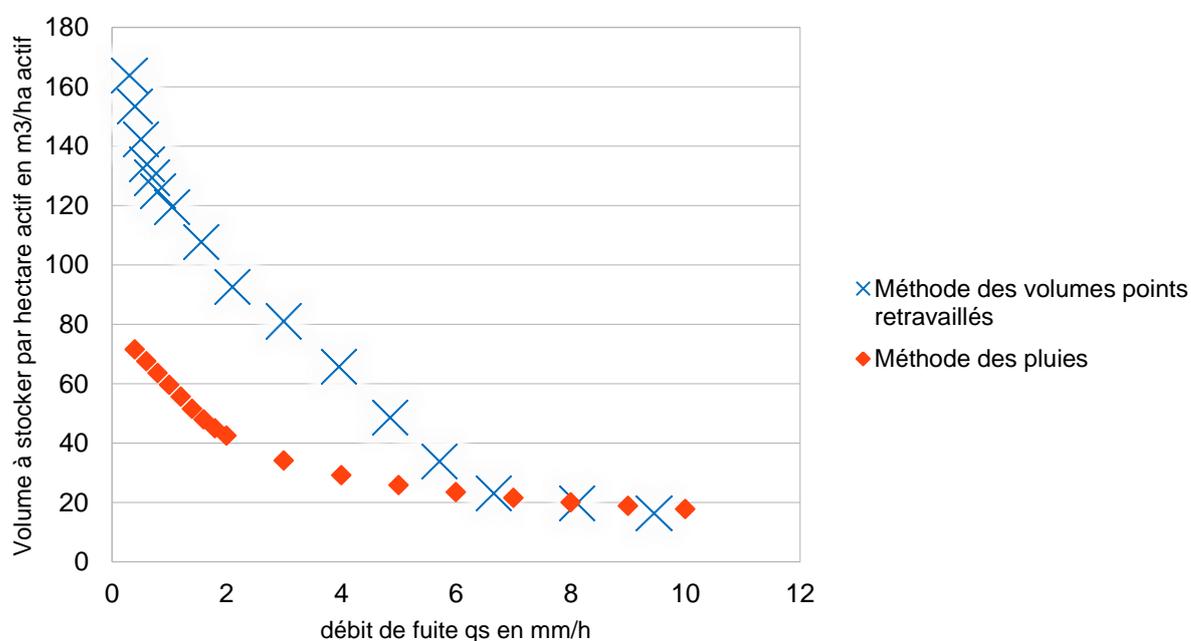


Figure 18 : Détermination du volume à stocker en fonction du débit de fuite

La méthode des volumes conduit à des volumes de stockage plus importants que la méthode des pluies pour de faibles débits de fuite (Roux, Chaumeau, Cusenier, 2013). Cela est conforme au résultat attendu et est principalement dû au fait que la méthode des pluies ne prend pas en considération l'état de remplissage du bassin au moment de l'arrivée d'une pluie. Puis à partir d'un débit de fuite de 6,5 mm/h ces deux méthodes présentent des résultats très proches. Cela s'explique essentiellement par le fait que le débit de fuite est suffisant pour vidanger le bassin entre deux pluies suffisamment conséquentes pour jouer un rôle dans le dimensionnement pour la période de retour considérée. Ainsi, le bassin étant vide au début de chaque pluie, la méthode des volumes est semblable à la méthode des pluies.

Pour poursuivre la comparaison, il est nécessaire de définir un bassin versant avec des caractéristiques physiques. En effet, les autres méthodes de dimensionnement sont dépendantes de différents paramètres physiques tels que la pente, le plus long chemin hydraulique, ...

3.2. Comparaison sur un bassin versant fictif

3.2.1. Définition du bassin versant choisi pour la comparaison

Le bassin versant considéré est fictif. Il est supposé posséder les caractéristiques suivantes :

Sa pluviométrie est identique à celle de Reichstett (67), il s'étend sur une superficie de 25 hectares, son coefficient de ruissellement est identique à son coefficient d'imperméabilisation et vaut 0,5. Sa pente moyenne est de 1 %. Le réseau d'assainissement est supposé recueillir les eaux usées de 4 000 habitants ainsi que les eaux pluviales, il s'agit donc d'un réseau unitaire. Le plus long chemin hydraulique du bassin versant est estimé à un kilomètre. La concentration moyenne en MES en temps de pluie dans le réseau unitaire est supposée égale à 400 mg/l (*Paré-Bourque*, 2008).

3.2.2. Méthode de la pluie critique

La méthode de la pluie critique sera appliquée de la façon la plus générale possible dans un premier temps afin de pouvoir comparer les différentes méthodes entre elles.

Calcul du temps de concentration à l'aide de la relation de Kirpich :

Équation 23 : Formule de Kirpich

$$T_c = \frac{0,000325 * L^{0,77}}{I^{0,385}} = 0,39 \text{ h} \approx 23 \text{ minutes}$$

Avec :

T_c : Temps de concentration en heures (h)

I : Pente du bassin versant en m/m

L : Plus long parcours en m

Le coefficient a_T associé à ce temps de concentration est approximativement de 1,7. Cela permet de calculer le volume à stocker par hectare actif (annexe 4).

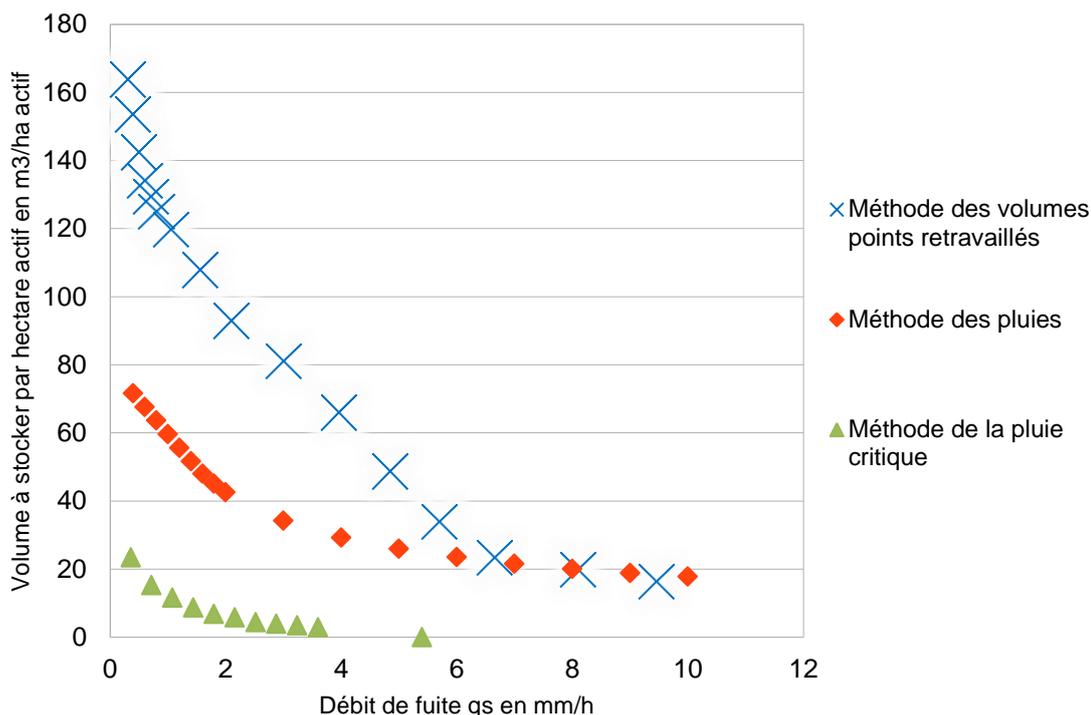


Figure 19 : Volume à stocker en fonction du débit de fuite suivant les différentes méthodes pour le bassin versant considéré

La méthode de la pluie critique donne des volumes nettement inférieurs aux autres méthodes. L'explication vient du fait que la méthode de la pluie critique appliquée avec une intensité critique de 15 l/s/ha correspond à un dimensionnement pour une période de retour inférieure à la période de retour choisie pour appliquer les deux autres méthodes à savoir un mois.

La méthode de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse ne sera pas appliquée pour cette comparaison. En effet, le résultat de cette méthode est fortement lié à la sensibilité du milieu récepteur considéré, ce qui n'est pas le cas des autres méthodes. Par conséquent, leur comparaison n'aurait pas de sens.

3.2.3. Evaluation des volumes pour un bassin de transit à connexion latérale, comparaison aux critères réglementaires

Afin de pouvoir évaluer les débits déversés, il est indispensable de connaître le débit arrivant dans la canalisation en amont du déversoir d'orage. La transformation pluie-débit a été réalisée en suivant les étapes présentées dans la partie précédente l'ensemble des calculs et hypothèses retenues lors de cette transformation est fournie en annexes 7 et 8.

Le bassin retenu pour ce bassin versant est un bassin de transit à connexion latérale. Ce type de bassin permettra une évaluation de la pertinence de la nouvelle méthodologie développée.

Le système étudié ne comportera pas de bassin dans un premier temps, puis il intégrera un bassin dimensionné suivant les différentes méthodes avec et sans prise en compte de l'abattement en MES dû à la traversée du bassin.

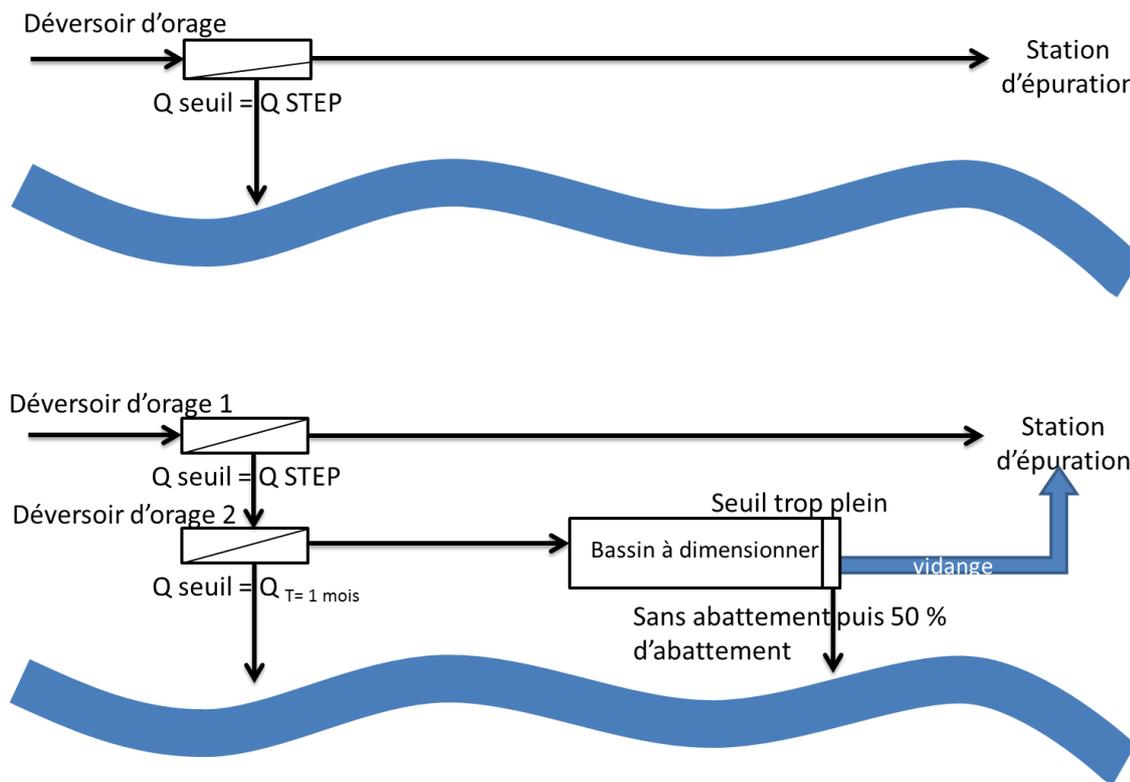


Figure 20 : Schéma du bassin envisagé pour la comparaison avec les différents critères réglementaires

Le débit seuil à partir duquel le déversoir commence à déverser correspondant au débit pour une période de retour de 1 mois est calculé à l'aide de la formule de Caquot (Vazquez, 2014) $Q_{T=1\text{mois}} \approx 300 \text{ l/s}$ (annexe 8) et des coefficients de Montana déterminés lors de la construction de la courbe IDH de période de retour égale à un mois.

Le tableau suivant synthétise les résultats obtenus vis-à-vis des différents critères selon la méthode utilisée pour dimensionner le bassin.

Tableau 12 : Synthèse des résultats vis à vis des critères réglementaires pour les MES

	Sans bassin	Méthode de la pluie critique	Méthode des pluies	Méthode des volumes
Volume du bassin en m^3	0	295	895	1925
Nombre jours de déversements 2014	88	45	24	18
% volume	20,9 %	13,5 %	7,5 %	4,4 %
% masse pour $C_{\text{MES}}=400 \text{ mg/l}$	20,9 %	13,5 %	7,5 %	4,4 %
% masse pour $C_{\text{MES}}=400 \text{ mg/l}$ en considérant 50 % d'abattement sur le flux sortant par le trop-plein du bassin	/	7,7 %	4,7 %	3,1 %

Remarque : La méthode des volumes appliquée pour une période de retour d'un mois devrait donner « statistiquement » 12 déversements, or cette méthode ne se fonde que sur un volume à stocker et donc les 18 déversements observés au lieu des 12 attendus s'explique par la présence de déversements au niveau du déversoir situé en tête de bassin alors que le volume de stockage de celui-ci n'est pas atteint, ces déversements représentent plutôt des événements de type court et intense. En supprimant le déversoir de tête, on obtiendrait 11 déversements ce qui est proche du résultat statistique attendu pour la période de retour un mois.

Le nombre de jours de déversement correspond aux déversements au niveau du DO et/ou du trop-plein de bassin. Par exemple, pour un bassin dimensionné suivant la méthode des volumes, 15 jours de déversements sont observés au niveau du DO et 10 au niveau du trop-plein du bassin, tandis qu'au total, 18 jours de déversements sont observés. Une partie du volume déversé l'est au niveau du trop-plein du bassin quel que soit le dimensionnement choisi. Par exemple pour un dimensionnement avec la méthode des pluies près de 76 % des déversements ont lieu par le trop-plein. Cela explique le fort impact d'un abattement de 50 % au cours de la traversée du bassin sur le critère des 5 % en masse déversées pour les MES.

3.2.4. Bilan

Les résultats montrent que la création d'un bassin de dépollution est indispensable pour satisfaire à l'un des critères de la réglementation. Pour la pluviométrie de Reichstett sur le bassin versant fictif standard étudié, un dimensionnement à l'aide de la méthode des volumes pour une période retour d'un mois permettrait de satisfaire aux obligations réglementaires pour l'ensemble des critères. Ce résultat est propre à ce bassin versant et à cette pluviométrie, en effet, ce résultat est dépendant des caractéristiques physiques choisies pour le bassin versant, du nombre d'équivalent habitant pour lequel est dimensionnée la station, ...

Néanmoins, la réglementation précise que la conformité s'effectue sur **l'un des critères** et non sur l'ensemble des critères. Ainsi, si l'on considère un bassin de transit permettant 50 % d'abattement sur les MES lors de sa traversée, ce piégeage de particules permettrait de satisfaire aux obligations réglementaires en termes de rejet en masse de MES avec un ouvrage plus petit et donc moins coûteux. Plus l'efficacité du bassin serait importante et plus sa taille diminuerait. En conséquence, la nouvelle méthodologie développée présente un réel intérêt du point de vue du dimensionnement sur le critère des 5 % de masse pour les MES. L'intérêt de la méthode ayant été clairement exposé celle-ci sera appliquée sur des cas concrets dans la partie suivante.

NB : La formulation figurant dans la note technique définit le critère réglementaire sur la masse de pollution comme des rejets par temps de pluie correspondant à « moins de 5% en masse des flux de pollution produits par l'agglomération d'assainissement pendant l'année ». La masse de MES n'est pas le seul paramètre utilisé pour caractériser la pollution, en effet, il existe d'autres paramètres comme par exemple la DCO. En conséquence, la méthodologie développée vise à satisfaire au critère sur les MES, cependant celle-ci **ne garantit pas** le respect du critère réglementaire sur un autre paramètre. Néanmoins, sur la base d'autres études précédemment réalisées, la

quantification de l'abattement d'autres paramètres liés aux particules en suspension peut être investiguée. En outre, la pollution des rejets urbains de temps de pluie est principalement observable sous forme particulaire, les MES constituent donc un bon indicateur de la pollution des eaux de temps de pluie (*Dufresne, 2008*). Cependant, si l'on veut s'intéresser à la pollution présente sous forme dissoute cette méthode ne présente pas d'intérêt.

L'intérêt de la nouvelle méthodologie développée ayant été clairement exposé, celle-ci sera appliquée dans la partie suivante sur le bassin versant fictif choisi.

4. Exemple concret et gain potentiel

L'objectif principal de cette partie est de mettre en œuvre de façon concrète la méthodologie précédemment définie et de montrer les différents apports potentiels de la nouvelle méthodologie. Pour ce faire, le code créé sous Scilab au cours du stage sera utilisé.

4.1. Bassin modélisé

L'objectif de ce pré dimensionnement est de choisir un jeu de dimensions (largeur, longueur, hauteur) propice à la décantation de particules à l'intérieur du bassin. Pour ce faire, la théorie de Hazen sera utilisée bien que celle-ci ne prend pas en compte les phénomènes de turbulence et suppose un champ de vitesse uniforme au sein du bassin, ce qui n'est en réalité pas le cas et justifie l'emploi d'une modélisation 3D pour évaluer la décantation. Le bassin retenu a un volume d'environ $1\ 100\text{ m}^3$. Celui-ci est représenté ci-dessous.

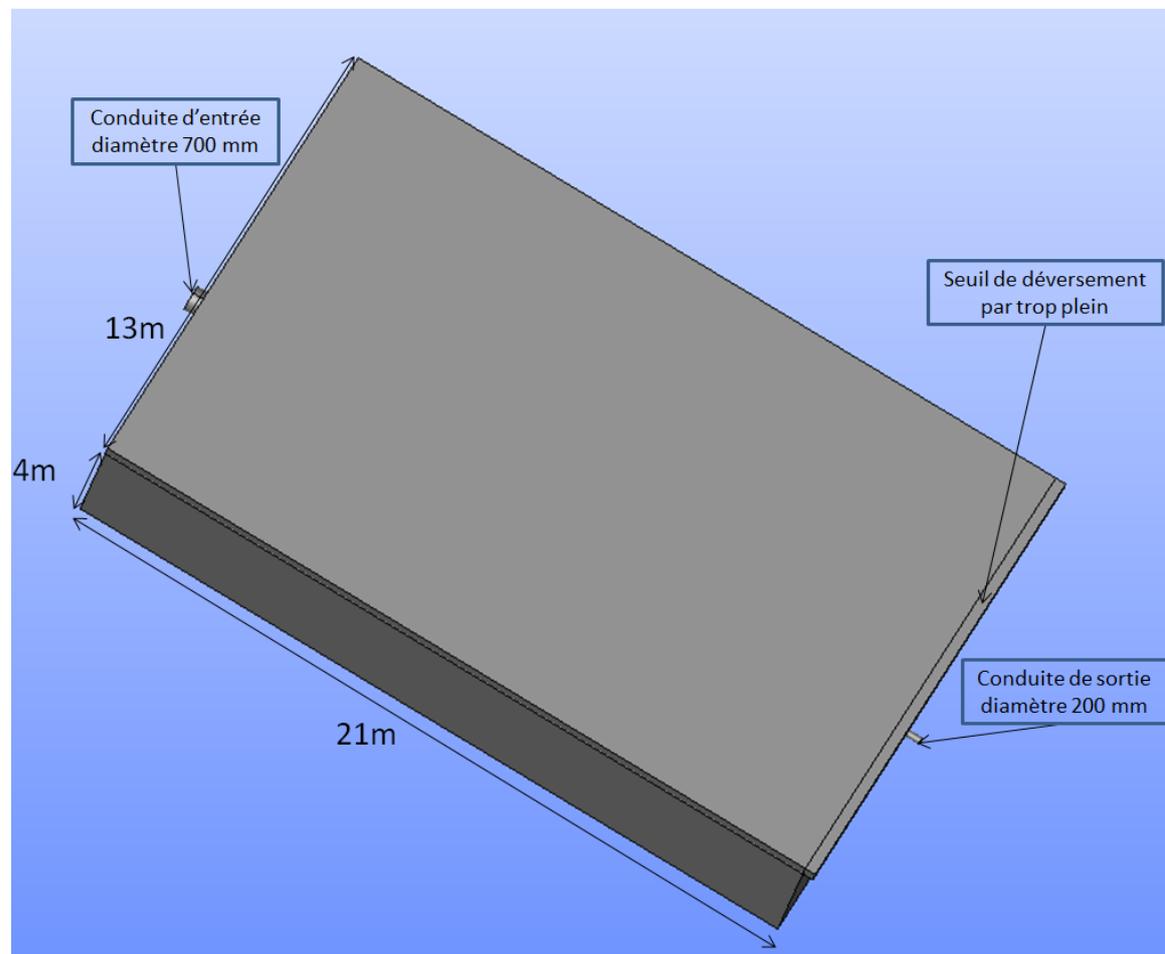


Figure 21 : Schéma du bassin modélisé d'environ 1100 m^3

4.2. Construction des courbes de répartition à l'aide du modèle 3D

Pour construire les courbes de répartition, le logiciel de modélisation 3D OpenFoam est utilisé (annexe 9).

La première étape consiste à modéliser l'écoulement dans le bassin. Pour ce faire, après avoir préalablement définie la géométrie de l'ouvrage, maillé le bassin et imposé les conditions aux limites, le solveur InterFoam est utilisé. Celui-ci est basé sur les équations de Navier Stokes en trois dimensions et sur un modèle de turbulence.

Une fois la conservation de la masse vérifiée sur les entrées et sorties du bassin et l'écoulement permanent atteint, la nouvelle condition d'interaction particule/paroi développée par G. ISENMANN (*Isenmann, 2016*) est utilisée pour estimer la répartition des particules. Les particules sont introduites au début de la simulation et le modèle permet de prédire leur trajectoire au cours du temps. La particule se dépose lorsque l'énergie cinétique turbulente sur la zone du fond atteinte par celle-ci est inférieure à une valeur seuil, dans le cas contraire, la particule rebondit suivant une loi de choc.

Afin d'avoir un résultat représentatif, il est nécessaire d'introduire un nombre suffisant de particules. Une étude de la sensibilité du modèle au nombre de particules injectées a donc été réalisée. L'injection de 55 000 particules a été retenue.

Quelques courbes obtenues sont présentées ci-dessous :

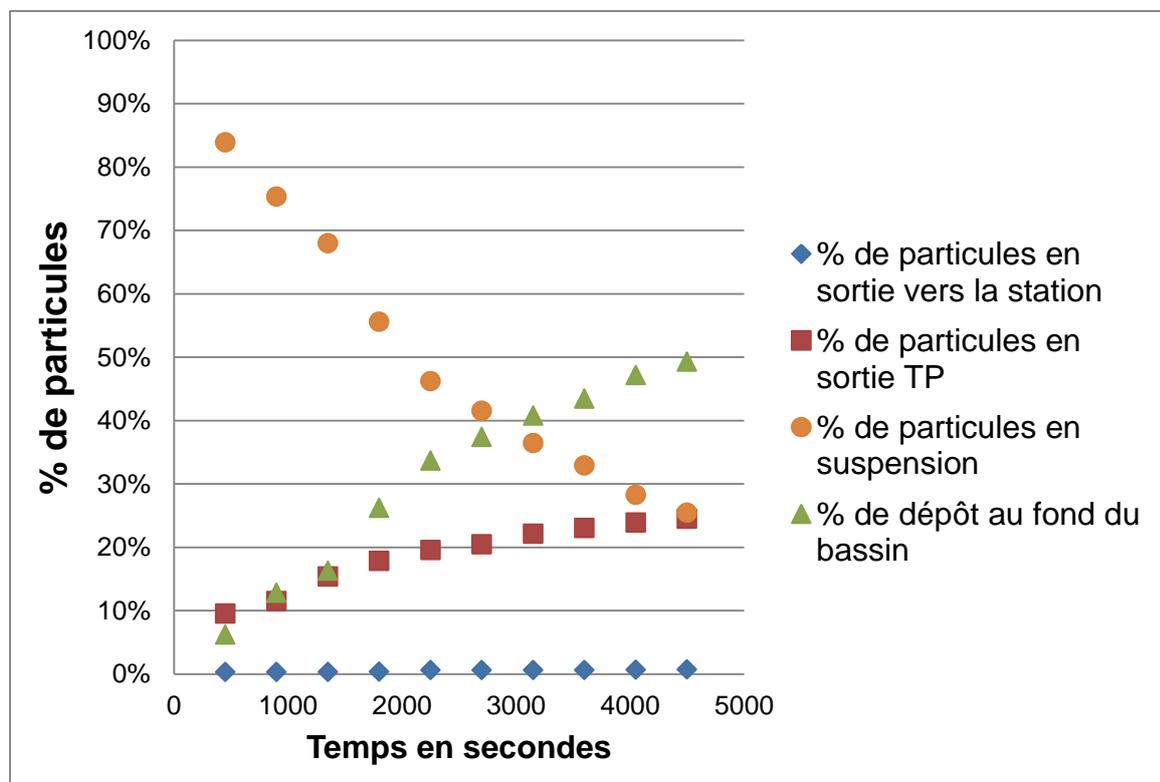


Figure 22 : Courbes de répartition obtenues pour un débit entrant de 700 l/s

La faible part de particules se dirigeant directement vers la station s'explique par le faible débit pouvant atteindre cette sortie (14 l/s). La décroissance des courbes de

particules en suspension au cours du temps traduit l'atteinte progressive d'une destination par les différentes particules introduites initialement. La croissance des courbes de sortie par le trop-plein traduit la sortie progressive des particules par le trop-plein du bassin. La croissance de la courbe de dépôt au cours du temps traduit les dépôts progressifs.

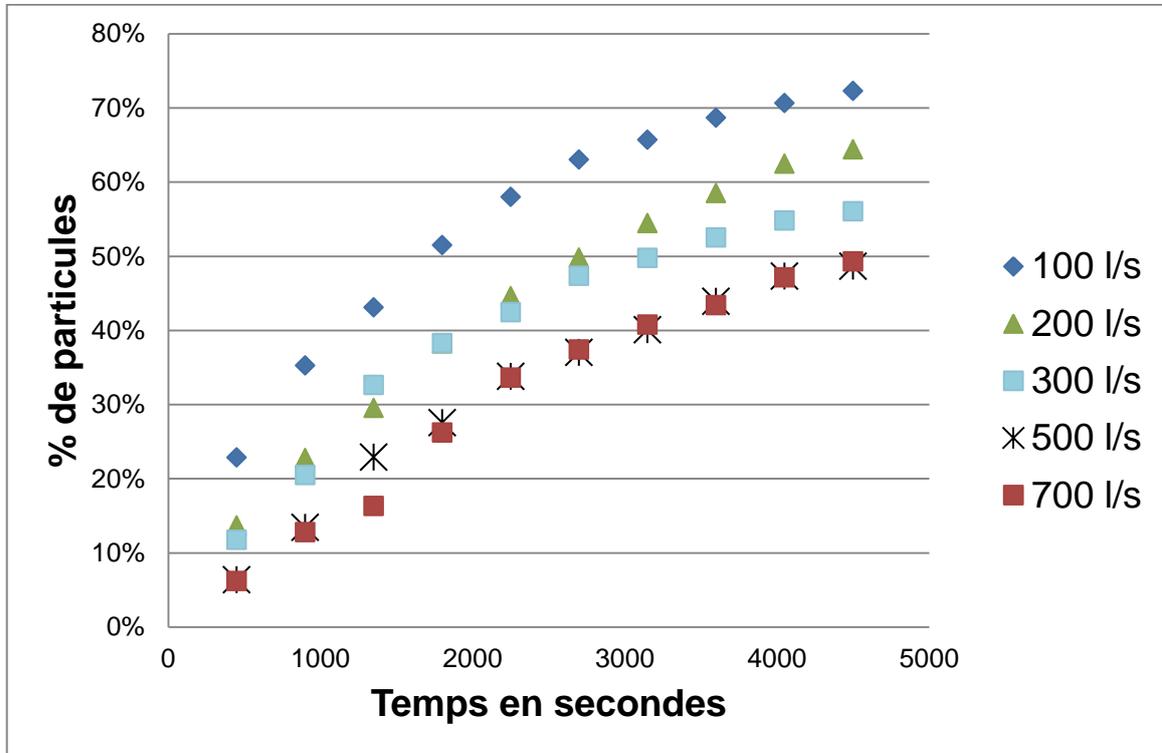


Figure 23 : Courbes des dépôts au cours du temps pour différents débits

Les courbes de dépôts sont décroissantes avec l'augmentation du débit, en effet, l'augmentation du débit augmente l'énergie cinétique turbulente au fond et réduit ainsi la surface des zones propices à la décantation comme l'illustre la figure 14 représentant les dépôts pour trois débits différents. Ce résultat est conforme au résultat attendu.

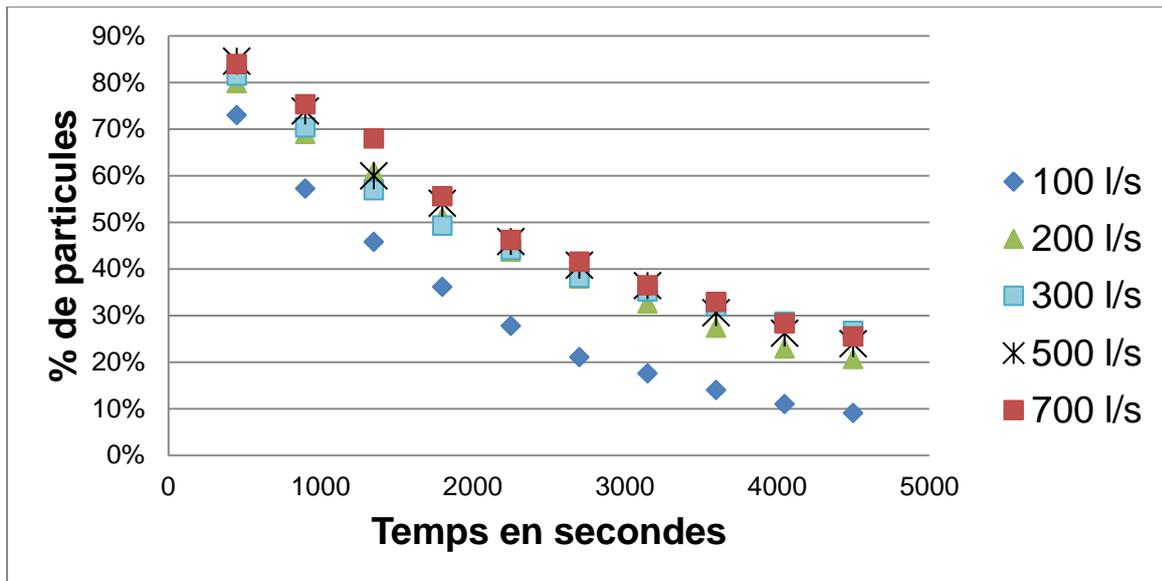


Figure 24 : Courbes des particules en suspension au cours du temps pour différents débits

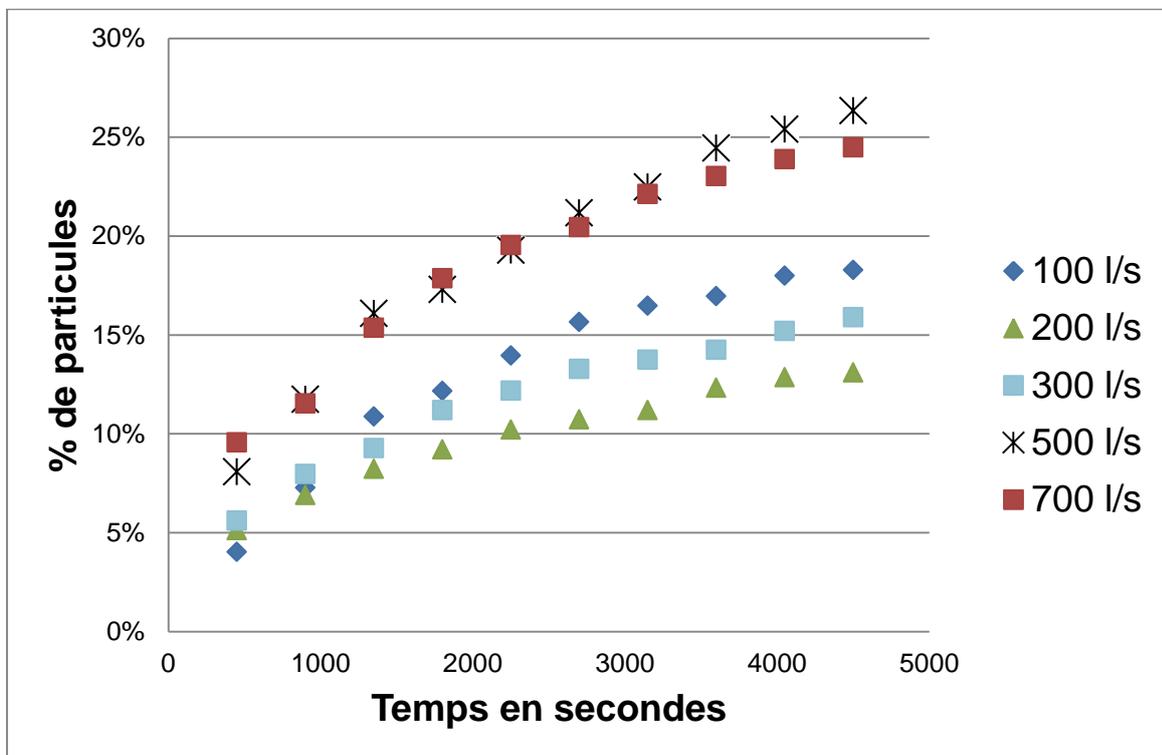


Figure 25 : Courbes des rejets par le trop-plein au cours du temps pour différents débits

Les courbes de répartition s'expliquent principalement par l'écoulement observable au sein du bassin. En effet, le schéma suivant représente la forme de l'écoulement préférentiel dans le bassin pour les différents débits. Les lignes de courant observées sont fournies en annexe 10.

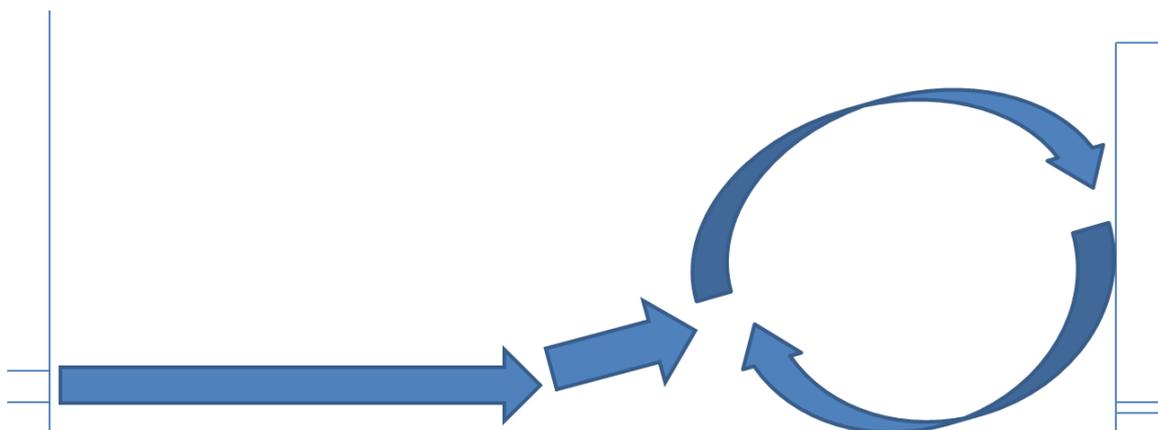


Figure 26 : Vue en coupe présentant les circulations préférentielles au sein du bassin pour un débit entrant de 100 l/s

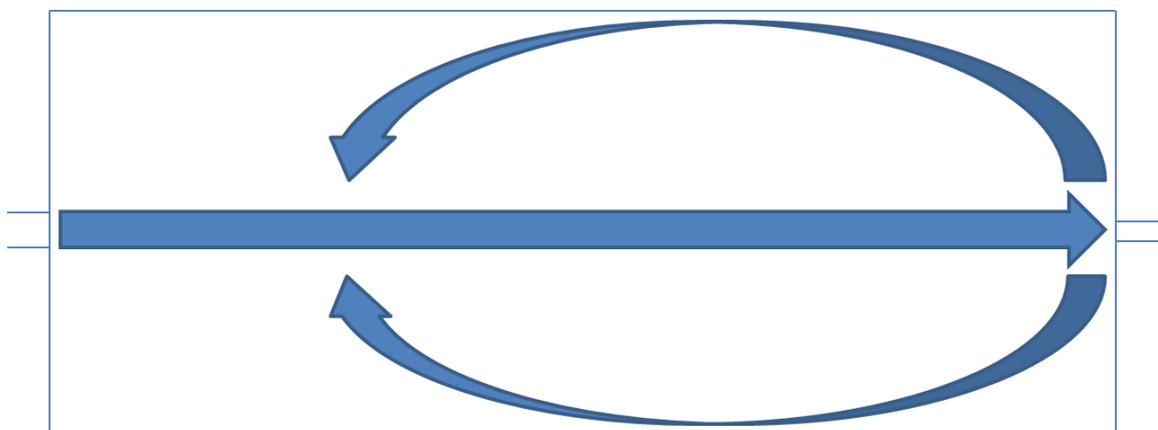


Figure 27 : Vue de dessus représentant la forme des circulations préférentielles au sein du bassin pour des débits entrants allant de 200 l/s à 700 l/s

L'écoulement à 100 l/s présente une boucle de recirculation dans l'axe du bassin tandis que les écoulements de 200 l/s à 700 l/s présentent deux boucles de recirculation des deux côtés du bassin. La boucle de recirculation à 100 l/s est plus petite, en conséquence la recirculation est moins importante pour 100 l/s que pour les autres débits. La recirculation permet le piégeage de particules en suspension mais est défavorable au phénomène de décantation. Cela explique que la décantation pour 100 l/s soit plus importante que pour les débits supérieurs. De plus, la moindre importance de la recirculation à 100 l/s justifie également la faible part de particules en suspension. Par ailleurs, la recirculation étant moins influente pour un débit de 100 l/s, cela permet d'expliquer la sortie plus rapide d'une part des particules par le trop-plein.

En conséquence, deux conclusions peuvent être tirées des courbes de répartition et des écoulements obtenus :

- Il ne suffit pas d'avoir de grandes surfaces propices à la décantation au fond du bassin. En effet, si l'écoulement ne permet pas de conduire les particules dans ces zones leur intérêt est moindre. Réduire le débit en entrée du bassin permet d'augmenter les zones propices à la décantation mais ne signifie pas nécessairement réduire les rejets vers le milieu naturel.

- La modélisation 3D des écoulements au sein du bassin dans sa phase de conception peut permettre d'améliorer de façon conséquente la performance de celui-ci et présente donc un réel intérêt. Les modélisations doivent être réalisées pour les différents débits envisageables en fonctionnement.

4.3. Résultats obtenus

4.3.1. Gain du bassin de transit vis-à-vis du bassin piège

La méthodologie ayant été appliquée pour une concentration moyenne en MES considérer égale en temps sec et en temps de pluie. La différence entre le résultat sur le critère de volume et sur le critère en masse sur les MES correspond à la différence de performance entre un bassin de type piège et un bassin de type transit.

Tableau 13 : Résultats obtenus pour un bassin piège et un bassin de transit

Débit seuil déversoir d'orage en tête de bassin en m ³ /s	% de rejet en masse bassin piège	Borne inférieure % de rejet en masse bassin de transit	Borne supérieure % de rejet en masse bassin de transit
0,3	6,4%	3,7%	4,3%

Le bassin piège permet de retenir 100 % des matières en suspension contenues dans une part du volume généré en temps de pluie. Le bassin de transit a quant à lui un pourcentage de piégeage moindre, dû à la sortie d'une part des matières en suspension par le trop-plein du bassin, néanmoins cette performance de piégeage concerne un volume plus important. Annuellement, pour le bassin modélisé, la différence de rejet en masse est de l'ordre de 40 % en faveur du bassin de type transit.

4.3.2. Gain envisageable avec une modification de la géométrie du seuil

La méthodologie définie a été appliquée pour différentes géométries du déversoir situé en tête du bassin modélisé, c'est-à-dire pour différents débits seuils. Les résultats sont synthétisés sur le graphique ci-dessous.

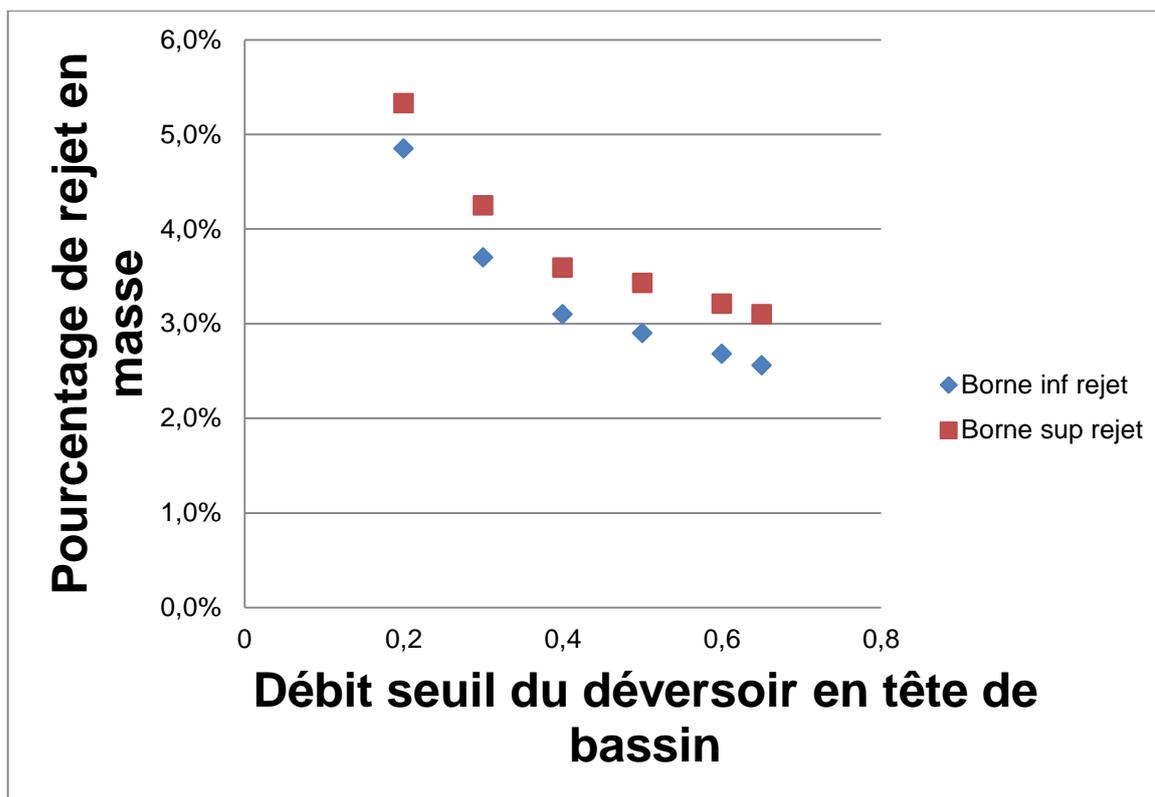


Figure 28 : Résultats obtenus pour différents débits seuils

Les résultats font apparaître deux éléments importants. Pour commencer, ce graphique montre qu'une simple augmentation du débit d'alimentation du bassin contribue à une diminution de l'ordre de 20 % des rejets en masse. La variation entre la borne inférieure et supérieure montre la faisabilité de la méthode en termes d'optimisation. Toutefois, cet encadrement pourrait encore être amélioré dans un deuxième temps. Néanmoins, il faut garder à l'esprit que la borne supérieure traduit la possible remobilisation de toutes les particules décantées dans des zones non propices pour des débits plus importants dans la phase ascendante. Ce risque augmente avec la hausse du débit seuil du déversoir de tête. En conséquence plus le débit seuil augmente, plus la valeur « réelle » se rapproche de la borne supérieure. Par ailleurs, la gamme de débits choisie initialement ne permet pas de conclure sur le débit seuil optimum pour le bassin. Des débits seuils supérieurs n'ont pu être modélisés par manque de temps.

4.3.3. Réduction du volume de bassin, gain en génie civil possible

Si le rejet associé au bassin choisi est largement inférieur aux exigences du maître d'ouvrage. Il est envisageable de mettre en œuvre le logigramme suivant (figure 29) pour choisir un bassin de plus faibles volumes et mieux adapté à la situation. En outre, cette procédure peut aussi être appliquée pour retenir une géométrie optimale pour le bassin (mise en place de déflecteurs par exemple).

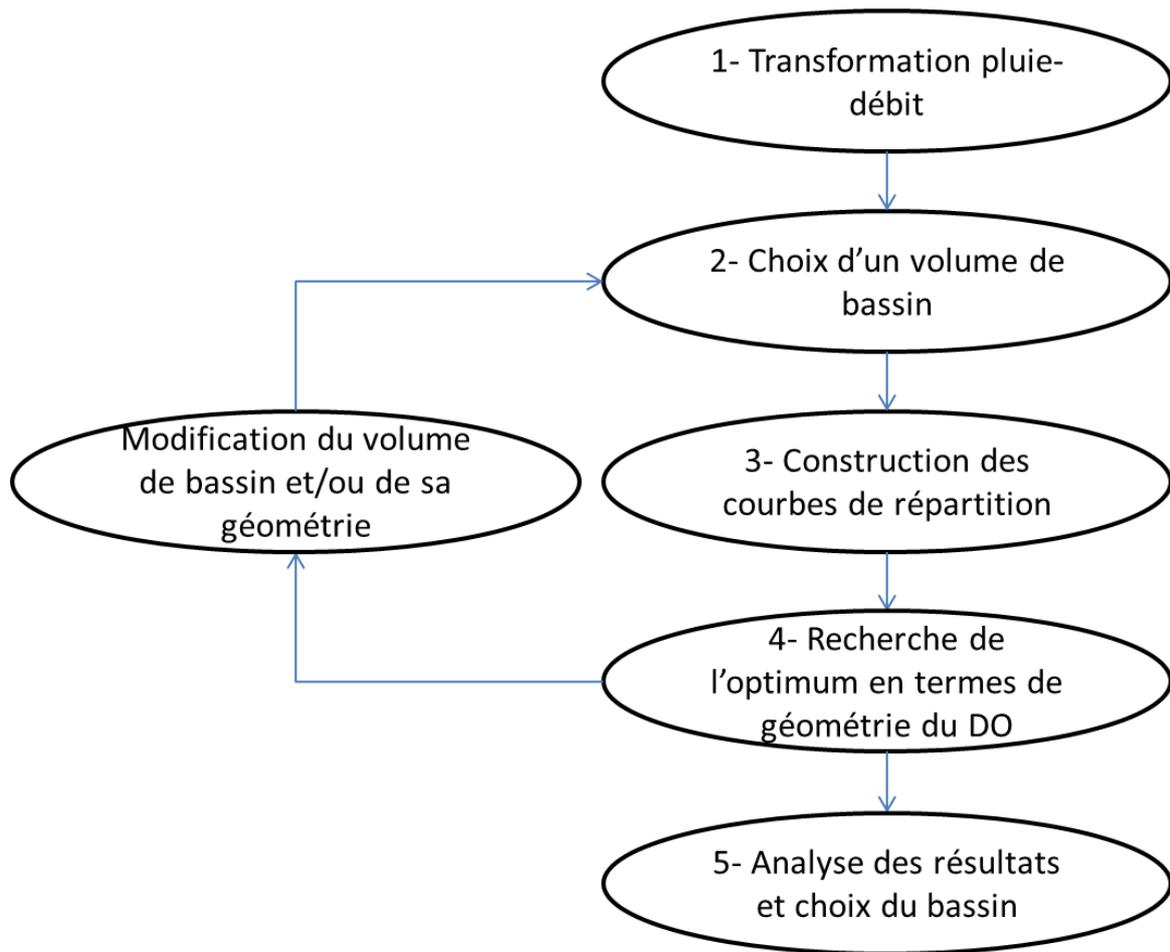


Figure 29 : Logigramme à mettre en œuvre pour retenir le bassin le mieux adapté du point de vue génie civil en fonction des objectifs visés

Pour obtenir un pourcentage équivalent au pourcentage obtenu par le critère en masse avec un bassin de transit sans modification du débit seuil, il faudrait construire un bassin piège d'environ 1 900 m³. Soit à pourcentage équivalent entre les critères en volume et en masse une réduction de 40-45 % permise par le critère en masse. Sur un bassin de 1 900 m³, l'économie réalisée serait ainsi d'environ 800 000 € (Guillaume, 2006).

Conclusion

L'ensemble des méthodes existantes vise à dimensionner le bassin de dépollution sur un volume de stockage. Aucune ne prend en compte la performance de celui-ci. Or, le critère de conformité basé sur la masse de rejet annuel figurant dans l'arrêté du 21 juillet 2015 constitue une réelle opportunité pour le développement d'une nouvelle méthode prenant en compte la performance des bassins de dépollution. De plus, une telle méthode présente à la fois des intérêts environnementaux, puisque qu'elle s'intéresse aux rejets réels dans le milieu naturel, mais aussi économiques, en effet, elle vise à réduire le volume de stockage au profit d'une meilleure performance offrant ainsi aux collectivités la perspective d'importantes économies à l'investissement en termes de génie civil (1 000 €/m³ de bassin).

Les principaux objectifs de la méthode développée étaient de faire le lien avec le nouveau critère réglementaire sur le paramètre MES, développer un outil permettant de comparer la performance de deux bassins d'un même volume à géométries différentes, permettre une optimisation du fonctionnement des bassins existants et bien évidemment développer une méthode permettant de dimensionner un nouveau bassin de dépollution. Celle-ci remplit la totalité des objectifs opérationnels fixés. Il faut néanmoins bien noter que la méthodologie développée s'intéresse au paramètre MES. Or, la formulation actuelle de la réglementation reste relativement floue.

Les phénomènes de transport solide pouvant intervenir à l'intérieur du bassin et leur forte sensibilité présente une grande complexité d'appréhension. Afin, de simplifier et d'apporter plus de sécurité, il a été choisi de retenir un modèle de transport solide permettant d'encadrer les rejets ayant lieu au niveau du trop-plein du bassin. Ce modèle de transport solide d'encadrement doit maintenant être validé sur un site expérimental.

Sous réserve de validation des hypothèses effectuées dans le cadre de ce modèle d'encadrement, les résultats apportés par celui-ci présentent un réel intérêt. En effet, il permet de montrer sur l'exemple étudié que l'utilisation d'un bassin de transit permet de réduire les rejets de l'ordre 40 % comparativement à un bassin piège. Une modification de la géométrie du déversoir situé en amont du bassin peut permettre une optimisation de l'efficacité avec une réduction supplémentaire des rejets de l'ordre 20 %. Par ailleurs, un dimensionnement sur le critère des 5 % de rejet en masse sur les MES est avantageux peu importe le type de bassin dès lors que la concentration moyenne des rejets en temps de pluie est inférieure à la concentration moyenne en temps sec. A cela, peut s'ajouter le gain de volume dû à la performance de l'ouvrage en termes de piégeage des particules (décantation et suspension), cela pouvant représenter des économies non négligeables pour les collectivités à l'investissement.

La principale difficulté de mise en œuvre de la méthode sur site réside dans le choix de la concentration moyenne des rejets en temps de pluie et en temps sec, ainsi que de la granulométrie caractéristique. En effet, les nombreuses études bibliographiques montrent une grande gamme de variation pour les concentrations en MES et la gamme granulométrique caractéristique observable (*Bertrand-Krajewski*,

2006c), il est donc essentiel de réaliser une étude préalable pour estimer ces paramètres avant de mettre en œuvre la nouvelle méthodologie développée.

La principale piste d'amélioration pour la méthodologie développée consiste à affiner l'encadrement en prenant en compte le phénomène de remobilisation d'une particule préalablement déposée, à la fois au travers de la dynamique de remobilisation et de la localisation de la particule. En effet, l'encadrement actuel permet d'améliorer le fonctionnement du couplage déversoir/bassin mais ne permet pas de garantir le fonctionnement optimum. Ce qui constitue sa principale limite.

Avant la mise en œuvre de cette méthode, deux éléments sont essentiels, à savoir la validation de celle-ci sur des sites ou pilotes expérimentaux, ainsi que le besoin de clarification de l'arrêté du 21 juillet 2015 (application des 5 % de pollution sur le paramètre MES, le plus contraignant ou autre ?).

Perspectives

Ce stage de fin d'études visant à développer une nouvelle méthodologie de dimensionnement des bassins de dépollution basée sur leur performance en termes de piégeage, la validation de la nouvelle méthodologie définie sur un pilote expérimental dans un premier temps puis sur un site réel constituerait la suite logique de ce travail de fin d'études. En cas de non validation de la méthode les deux hypothèses à remettre en cause prioritairement serait l'hypothèse sur la phase de remplissage et l'hypothèse de concentration moyenne constante.

Une fois la méthodologie validée, les perspectives sont à très court terme :

- La quantification de l'ordre de grandeur du gain envisageable en génie civil à l'investissement pour des bassins types de formes standard (circulaire ou rectangulaire).
- L'application de la méthode pour plusieurs gammes de diamètres représentatifs permettant ainsi de donner un encadrement associé à chaque gamme de diamètre. Cela permettrait de s'affranchir du choix d'une granulométrie donnée et d'obtenir des résultats pour tout type de granulométrie en effectuant une recombinaison de la granulométrie observée sur le site étudié.
- L'analyse de l'impact du mode de vidange et la quantification de la perte ou du gain d'efficacité de piégeage induit par le choix d'une vidange par pompage au lieu d'une vidange gravitaire.

A court terme,

- L'établissement d'un guide d'utilisation et de mise en œuvre de la nouvelle méthodologie développée à destination des futurs utilisateurs en complément de ce mémoire, insistant notamment sur les points essentiels et sensibles de mise en œuvre, à savoir, le choix des classes granulométriques, des concentrations moyennes en MES, l'utilisation du modèle 3D, ...

A moyen terme,

- L'utilisation de la méthode sur des sites concrets pour optimiser le fonctionnement des ouvrages ou pour dimensionner un nouvel ouvrage.
- Le développement d'un modèle de transport solide de type Meyer-Peter Müller mais pour particules en assainissement et basé sur des expérimentations de différents types d'écoulement dans un pilote expérimentale. Cela permettrait de quantifier la remobilisation et pourrait permettre d'obtenir un seul pourcentage de rejet associé à un volume de bassin et une géométrie de déversoir en tête de bassin donnée au lieu d'un intervalle d'encadrement.

A plus long terme,

- L'utilisation intensive de la méthodologie développée pour établir un guide contenant des préconisations de conception générale sur les bassins (mode de vidange à privilégier, forme à privilégier, rapports optimum entre les différentes dimensions, localisation du trop-plein, ...).

Bibliographie

ABESSOLO E. **Analyse fréquentielle appliquée au dimensionnement des ouvrages de stockage des eaux pluviales.** Thèse de Doctorat, Aménagement et urbanisme, Université Lille 1 : Sciences et technologie, 2011. 229 p.

ACO. **Le projet SIMPLUV. Des solutions innovantes pour la maîtrise du pluvial.** [en ligne] [consulté le 02/03/2016] <<http://www.aco.fr/a-propos-daco/la-maitrise-des-eaux-pluviales.html>>

BERTRAND-KRAJEWSKI J-L. **Cours d'hydrologie urbaine. Partie 4, le ruissellement.** URGC – Hydrologie Urbaine. INSA de Lyon, 2006. 21 p.

BERTRAND-KRAJEWSKI J-L. **Cours d'hydrologie urbaine. Partie 5, modélisation des écoulements en réseau d'assainissement.** URGC – Hydrologie Urbaine. INSA de Lyon, 2006. 46 p.

BERTRAND-KRAJEWSKI J-L. **Cours d'hydrologie urbaine. Partie 7, 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.** URGC – Hydrologie Urbaine. INSA de Lyon, 2006. 54 p.

CENTRE D'INFORMATION SUR L'EAU. **Les usages de l'eau : les usages domestiques** [en ligne] Le centre d'information sur l'eau, 2015 [consulté le 22/02/2016] <<http://www.cieau.com/les-ressources-en-eau/en-france/les-usages-domestiques>>

CEREMA, DIRECTION GENERALE DE L'AMENAGEMENT, DU LOGEMENT ET DE LA NATURE. **Procédures d'autorisation et de déclaration des projets d'aménagement au titre du code de l'environnement rubrique 2.1.5.0. : rejet d'eaux pluviales.** Fiche instructeur n°3 : Conditions pluviométriques locales. Version 1. Décembre 2014. [consulté le 15/02/2016] <http://www.assainissement.developpement-durable.gouv.fr/documents/Fiche_SPE_EP_conditions_pluviometriques_integral_decembre_2014.pdf>

CERTU, Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques. **La ville et son assainissement : Principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau.** CERTU, 2003. 514 p. ISBN 2-11-094083-2

CHOCAT B., BARDIN J-P. **Développement d'outils d'aide à la conception des systèmes d'assainissement pluviaux.** Rapport ANVAR 2004, BQT.

COLEMAN S. E., NIKORA V. I. **Exner equation: A continuum approximation of a discrete granular system.** Water Resources Research [en ligne] 2009, vol. 45, n°9 [consulté le 10/03/2016] <<http://dx.doi.org/10.1029/2008WR007604>>

DEUTSCH J-C., TASSIN B. **Instruction technique relative aux réseaux d'assainissement des agglomérations.** [en ligne] Ecole nationale des ponts et chaussées Paris Tech, Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbaine, 2000. 71 p. [consulté le 08/01/2016] <http://www.assainissement-durable.com/DM/ged/PUBLIC/textes_de_reference/int-77-284-instruction-technique-relative_reseaux-d-assainissement-agglomerations.pdf>

DUFRESNE M. **La modélisation 3D du transport solide dans les bassins en assainissement : du pilote expérimental à l'ouvrage réel.** Thèse de doctorat, Mécanique, Université Louis Pasteur Strasbourg 1, 2008. 226 p.

FRANCE. MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ENERGIE. **Arrêté du 21 juillet 2015 relatif aux systèmes d'assainissement collectif et aux installations d'assainissement non collectif, à l'exception des installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO₅.** [consulté le 22/02/2016] <<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000031052756>>

FRANCE. MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ENERGIE. **Note technique du 7 septembre 2015 relative à la mise en œuvre de certaines dispositions de l'arrêté du 21 juillet 2015 relatif aux systèmes d'assainissement collectif et aux installations d'assainissement non collectif, à l'exception des installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO₅.** [consulté le 23/02/2016] <http://circulaires.legifrance.gouv.fr/pdf/2015/10/cir_40145.pdf>

GUILLAUME Matthieu. **Maitrise des rejets urbains de temps de pluie en Basse-Normandie : Bilan des travaux réalisés, enquête sur le fonctionnement des ouvrages, évaluation des équipements d'autosurveillance en place et prospectives.** Agence de l'eau Seine-Normandie, 2006, 38 p.

HYDRATEC. **METE-EAU Manuel utilisateur.** [en ligne] [mis à jour en septembre 2007] <http://www.terrasol.fr/sites/default/files/logiciels/fichiers_associes/METEEAU_utilisateur.pdf>

ISENMANN G. **Approche Euler-Lagrange pour la modélisation du transport solide dans les ouvrages de décantation.** Thèse de Doctorat, Sciences de l'ingénieur – Mécanique des fluides, Université de Strasbourg, 2016, 212 p.

KOVACS Y. **Modèles de simulation d'écoulement transitoire en réseau d'assainissement.** Thèse de Doctorat, Sciences et techniques de l'environnement, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1988. 328 p.

LANGOUSIS A., VENEZIANO D. **Intensity-duration-frequency curves from scaling representations of rainfall.** Water Resources Research [en ligne] 2007, vol. 43, n°2 [consulté le 01/02/2016] <<http://dx.doi.org/10.1029/2006WR005245>>

MIQUEL G. **Rapport sur la « qualité de l'eau et de l'assainissement en France ».** Rapport de l'OPECST n° 215. 2003, 195 p.

MISE 84, Mission inter service de l'eau du Vaucluse. **Gestion des eaux pluviales dans les projets d'aménagement, annexe 1 : La méthode des pluies.** [en ligne] Les services de l'état en Vaucluse, 2007 [consulté le 15/01/2016] <http://www.vaucluse.gouv.fr/IMG/pdf/Methode_des_pluies_cle5ff7fe.pdf>

OLIVEROS C. **Transports solides : modèles et conditions d'application en région PACA.** Rapport BRGM R39474. 1996, 40 p.

PARÉ-BOURQUE M. **Gestion des eaux pluviales : Qualité des eaux et contrôle en temps réel.** Master of Science, Génie civil, Faculté des sciences et de génie – Université de Laval – Québec, 2008. 121p.

ROUX C., CHAUMEAU F., CUSENIER P. **Intérêt d'une mutualisation de l'exploitation de données pluviométriques locales pour les études et projets. Cas du dimensionnement de structures de rétention d'eaux pluviales.** In Techniques et stratégies durables pour la gestion des eaux urbaines par temps de pluie, Novatech 2013, 8e conférence internationale, juin 2013, Lyon, France. GRAIE, Groupe de Recherche Rhône Alpes sur les Infrastructures et l'Eau, 2013. 10 p.

TA T. T. **Les bassins d'orage sur les réseaux d'assainissement, expérience acquise à partir des réalisations actuelles.** FNDAE [en ligne], 1988, n°6 [consulté le 07/01/2016] <<http://www.fndae.fr/archive/PDF/fndae06-a.pdf>>

UNION EUROPÉENNE. **DIRECTIVE 2000/60/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau.** [consulté le 03/03/2016] <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/DGALN_directive-cadre-eau_1_.pdf>

VAZQUEZ J. **Hydraulique à surface libre.** Cours ENGEES, 2012.

VAZQUEZ J. **Hydrologie et hydraulique urbaine en réseau d'assainissement.** Cours ENGEES, 2014.

VAZQUEZ J., ZUG M., BELLEFLEUR D., GRANDJEAN B., SCRIVNER O. **Utilisation d'un réseau de neurones pour appliquer le modèle de Muskingum aux réseaux d'assainissement.** Revue des sciences de l'eau, 1999, n° 12/3, p. 577-595

Annexes

Annexe 1 : Présentation de la méthode des pluies

Hypothèses :

- Débit de fuite Q_s (m³/s) constant
- Transfert instantanée (néglige l'effet du ruissellement)
- Suppose tous les événements indépendants (non prise en compte du temps sec)

Données nécessaires : chroniques annuelles

Etape 1 : Construction des courbes intensité-durée-fréquence

La construction des courbes se déroule en plusieurs étapes (Vazquez, 2014) :

- 1- Choix d'un ensemble de N événements pluvieux observés sur P années. (Prise en compte de tous les événements puisqu'on s'intéresse à tous les rejets aussi bien les faibles que les importants)
- 2- Choix d'un pas de temps d'observation (D = pas de temps d'observation)
- 3- Pour chacun des événements : recherche du maximum d'intensité sur D
- 4- Classement par ordre décroissant des N valeurs d'intensité sur D obtenues
- 5- En utilisant la relation de Bos-Levenbach, une période de retour est attribuée à chacune des N valeurs décroissantes suivant son rang r :

$$T = \frac{N + 0,4}{r - 0,3} * \frac{P}{N}$$

- 6- Reprise des étapes à 1 à 5 avec d'autres durées d'observation D
- 7- Recherche d'une relation mathématique pour chaque période de retour du type

$$I = a * D^b$$

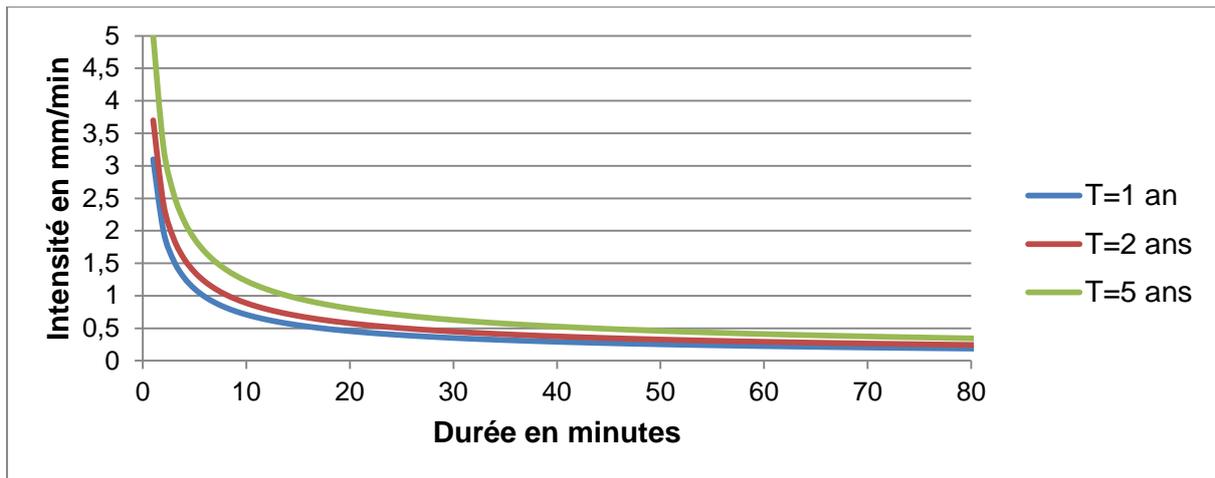


Figure 30 : Exemple de courbes intensité-durée-fréquence

Etape 2 : Transformation de ces courbes en courbes hauteur-durée-fréquence, avec la relation hauteur-intensité suivante :

Équation 24 : Détermination de la hauteur précipitée en fonction de l'intensité

$$h = i * d$$

Avec :

h : la hauteur précipitée en mm

i : l'intensité de la pluie en mm par minutes

d : la durée de la pluie en minutes

Etape 3 : Tracé de la courbe des hauteurs précipitées (issue de l'étape 2) et des hauteurs évacuées

La hauteur évacuée est égale à :

Équation 25 : Calcul de la hauteur évacuée

$$h_{\text{évacuée}} = q_s \left(\frac{\text{mm}}{h} \right) * d(h) = 360 * \frac{Q_s \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)}{S_a \text{ (ha)}} * d(h)$$

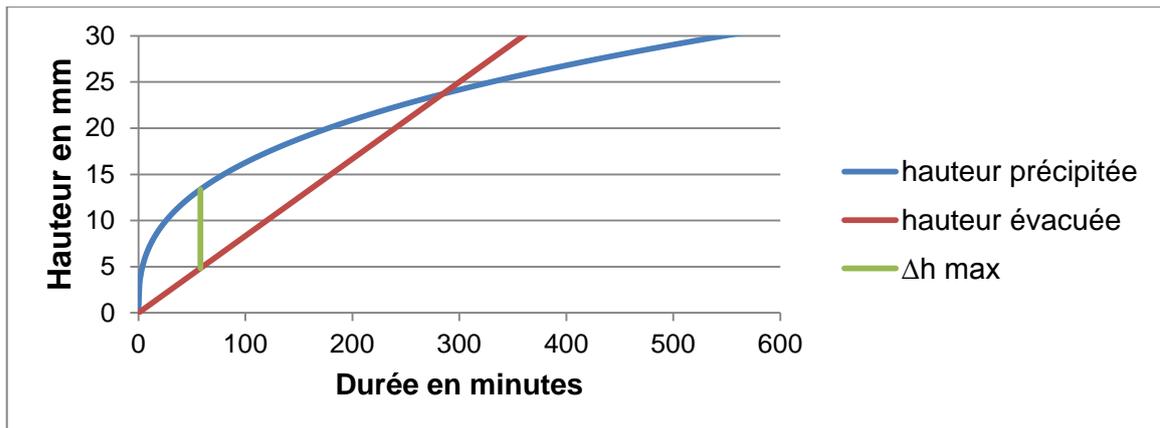


Figure 31 : Schéma illustrant la détermination de la hauteur à stocker

Etape 4 : Le calcul de la différence entre la hauteur précipitée et la hauteur évacuée permet de déterminer la hauteur maximale à stocker (Δh_{\max})

La hauteur maximale à stocker Δh_{\max} précédemment déterminée s'exprime en mm c'est-à-dire en l/m^2 , le volume à stocker dépend de la surface participant au ruissellement (surface active). Il vient ainsi :

Équation 26 : Calcul du volume à stocker connaissant la hauteur à stocker

$$V = 10 * \Delta h_{\max} * S_a$$

Avec :

V : volume à stocker en m^3

Δh_{\max} : hauteur maximum à stocker en mm

S_a : surface active en ha

Annexe 2 : Présentation de la méthode des volumes

Hypothèses :

- Débit de fuite Q_s (m^3/s) constant
- Transfert instantané (néglige l'effet du ruissellement)

Données nécessaires : chroniques annuelles

Etape 1 : Tracé sur le même graphe de la hauteur d'eau précipitée cumulée et de la hauteur d'eau vidangée cumulée (pente égale à q_s (mm/h) si il y a de l'eau, 0 sinon), une hauteur Δh_{max} à stocker est alors obtenue pour chacun des épisodes de remplissage pour un débit de fuite q_s (mm/h) fixé

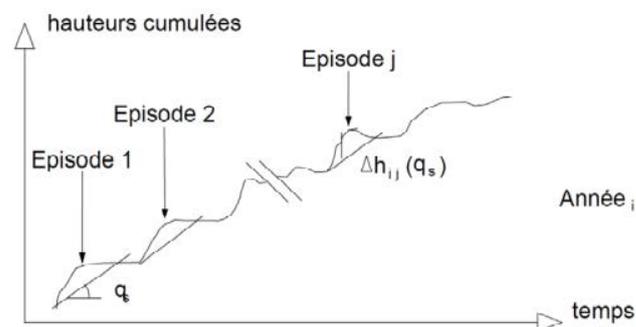


Figure 32 : Illustration du tracé de la hauteur d'eau cumulée précipitée et de la hauteur d'eau cumulée évacuée

Source : Vazquez, 2014

Etape 2 : Classement par ordre décroissant des Δh_{max} à stocker obtenus. La $i^{ème}$ valeur est associée à la période de retour T_i telle que (Vazquez, 2014) :

Équation 27 : Détermination de la période de retour associée à l' $i^{ème}$ épisode de remplissage du bassin

$$T_i = \frac{n - \alpha}{i}$$

Avec α un coefficient empirique souvent pris égal à 0,5.

n : le nombre d'année

T_i : Période de retour associée à la $i^{ème}$ valeur

Ce classement ainsi que la répétition des étapes 1 et 2 pour différents débits de fuite q_s permettent la construction des courbes $\Delta h_{max} = f(q_s, T)$ pour chaque période de retour.

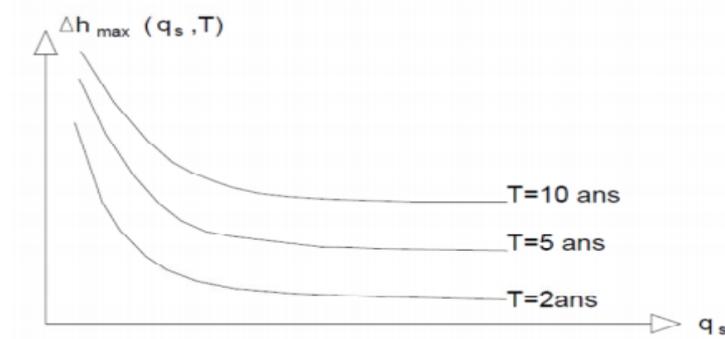


Figure 33 : Tracé des hauteurs maximales à stocker en fonction du débit de fuite pour différentes périodes de retour

Source : Vazquez, 2014

Etape 3 : Une simple lecture graphique de Δh_{\max} permet le calcul du volume en fonction de la période de retour et du débit de fuite q_s choisi à l'aide de l'équation 26.

Annexe 3 : Présentation de la méthode de l'IT77

Données nécessaires : Abaques de dimensionnement

Etape 1 : Utilisation d'un abaque (figure 35) permettant de passer du débit de fuite par unité de surface active à la hauteur de stockage nécessaire pour la même unité pour différentes périodes de retour pour chacune des 3 régions (figure 34). Par exemple, pour la région III, pour une période de retour de 2 ans et un débit de fuite de 1,8 mm/h; la hauteur à stocker h_a est de 40 mm.

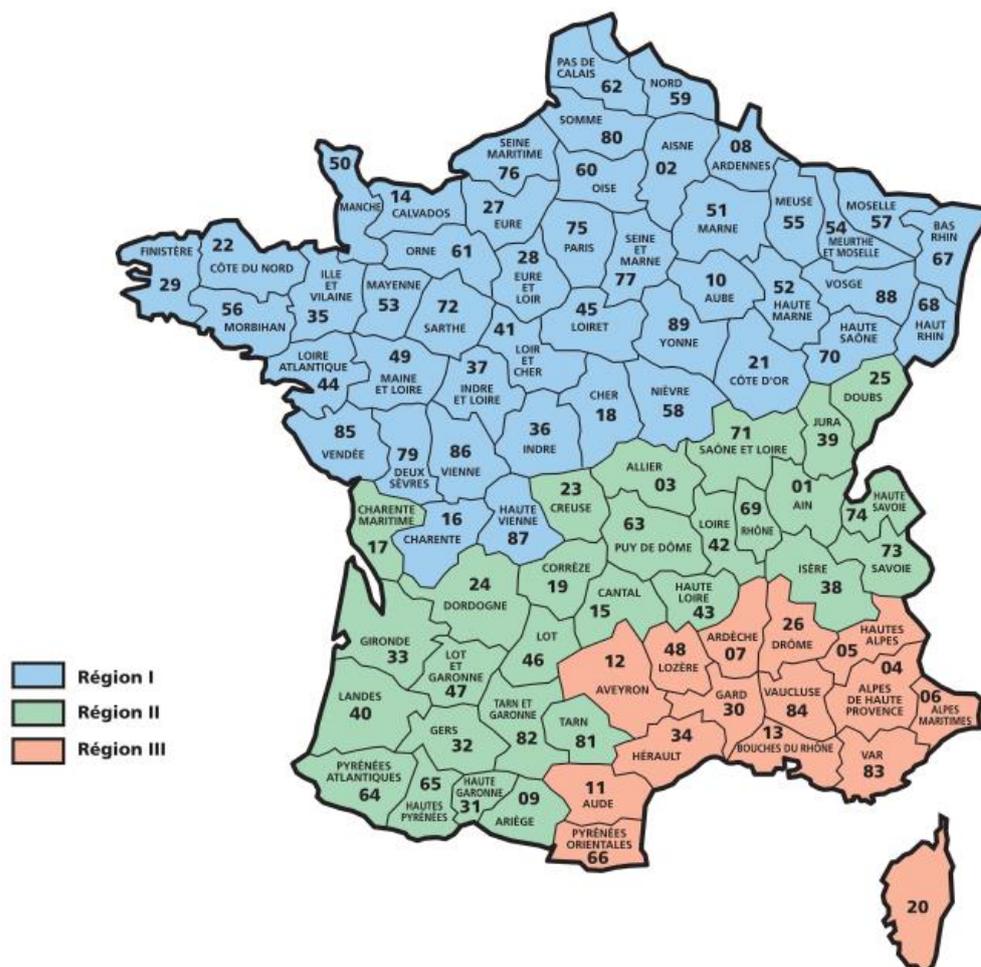


Figure 34 : Carte présentant les différentes zones géographiques définies dans l'IT77

Source : www.infociments.fr/telecharger/CT-T94.27-64.pdf

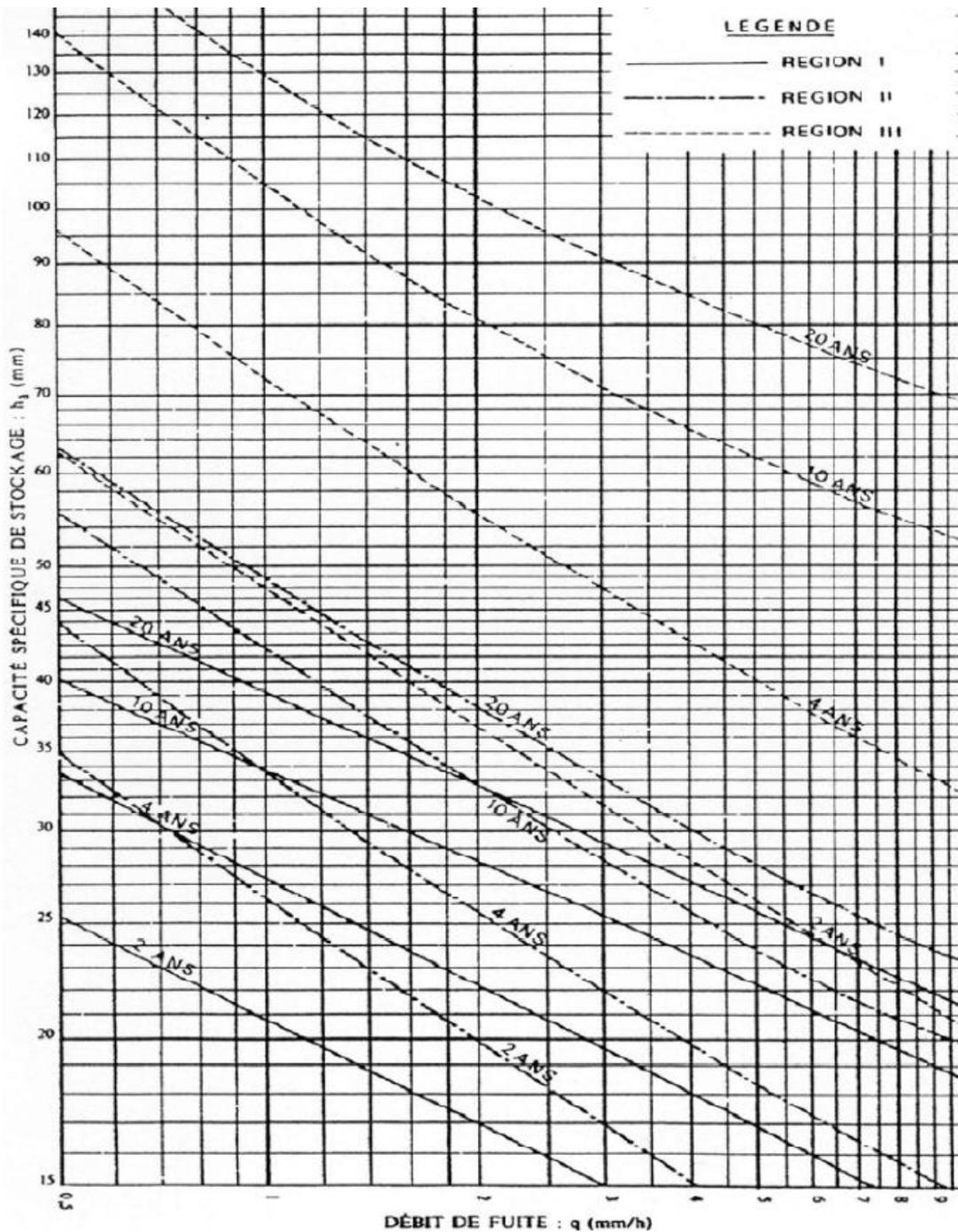


Figure 35 : Abaque de dimensionnement de l'IT77

Source : Vazquez, 2014

Etape 2 : Calcul du volume du bassin et ajout d'une fraction de V_0 , volume pour lequel q_s est constant (prise en compte de la dépendance du débit de fuite vis à vis de la charge) (Vazquez, 2014)

Équation 28 : Formules de calcul du volume suivant la méthode IT77

$$V_0 = 10 * h_a * S_a$$

$$V = V_0 + \text{une fraction de } V_0$$

Annexe 4 : Présentation de la méthode de la pluie critique

Données nécessaires : Abaques, utilisation d'une pluie "type" caractérisée par une intensité critique I_c (de 10 à 30 l/s/ha)

Etape 1 : Détermination du débit critique

Équation 29 : Formule de calcul du débit critique

$$Q_{cr} = I_c * S_a$$

Avec :

Q_{cr} : débit critique en l/s

I_c : L'intensité de pluie critique en l/s/ha

S_a : la surface active en ha

Etape 2 : Estimation de la part de ce débit pouvant être accepté à la station

Équation 30 : Calcul du débit de pluie admissible en station

$$Q_{station} = Q_{mEU} + Q_{ECP} + Q_{pav}$$

Avec :

$Q_{station}$: le débit de référence de la station

Q_{mEU} : le débit moyen d'eaux usées

Q_{pav} : le débit provenant de la pluie pouvant être accepté à la station

Etape 3 : Calcul de la part de l'intensité critique contenue dans le débit dirigé vers la station d'épuration

Équation 31 : Évaluation de la part de l'intensité critique dirigée vers la station

$$I_{cav} = \frac{Q_{pav}}{S_a}$$

Avec :

I_{cav} : la part de l'intensité critique admissible à la station en l/s/ha actif

Etape 4 : Calcul du volume du bassin par la relation

Équation 32 : Formule de calcul du volume par la méthode de la pluie critique

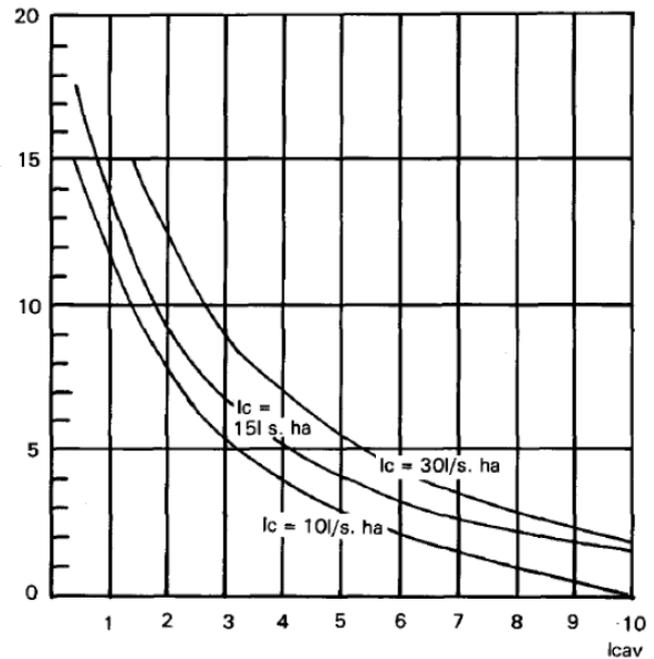
$$V = V_r * S_a * a_T$$

Avec a_T (dépendant du temps de concentration (figure 36), et V_r (figure 37)

Temps de concentration (en minutes)	Facteur aT
10	1,25
15	1,48
20	1,63
25	1,74
30	1,82
35	1,88
40	1,93
50	2,02
60	2,06
80	2,12
100	2,17
120	2,20
180	2,25

Figure 36 : Tableau utilisé pour la détermination du facteur a_T

V_r (Volume du bassin en m³/ha réd.)



icav en l/s. ha : Part de l'intensité critique contenue dans le débit dirigé vers la station d'épuration

Figure 37 : Abaque de détermination du volume réduit V_r

Source : Vazquez, 2014

Le temps de concentration étant déterminé grâce à la formule de Kirpich (Vazquez, 2014) :

Équation 33 : Formule de Kirpich

$$T_c = \frac{0,000325 * L^{0,77}}{I^{0,385}}$$

Avec :

T_c : Temps de concentration en heures (h)

I : Pente du bassin versant en m/m

L : Plus long parcours en m

Annexe 5 : Présentation de la méthode de l'Agence de l'Eau Rhin Meuse

Le bassin de dépollution doit être dimensionné pour que les déclassements du milieu naturel vérifient les conditions suivantes :

- déclassement au maximum pendant 10 % de la période critique
- déclassement au maximum de 2 classes de qualité pendant 5 % de la période critique
- pas de déclassement de 3 classes de qualité (mortalité piscicole)

Etape 1 : Choisir un point en amont du rejet où l'on dispose d'informations sur la qualité de l'eau

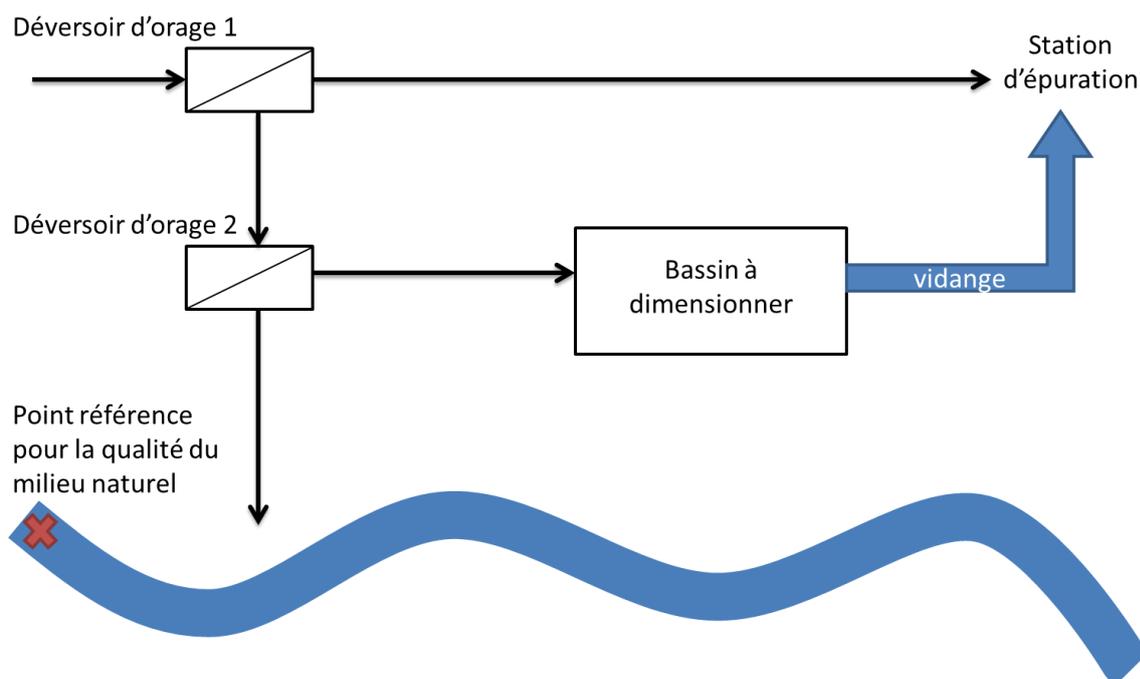


Figure 38 : Localisation du point référence

Etape 2 : Calcul des débits limites de rejet aux différents déclassements

Équation 34 : Calcul des débits de rejet correspondant aux limites de déclassement

$$Q_{rejet} = Q_{mnavant} * \frac{C_{mnavant} - C_{mnaprès}}{C_{mnaprès} - C_{rejetDO}}$$

Avec :

Q_{rejet} : le débit de rejet dans la rivière

$Q_{mnavant}$: le débit du milieu naturel en étiage avant le rejet

$C_{mnavant}$: la concentration du paramètre étudié avant le rejet

$C_{mnaprès}$: la concentration du paramètre étudié après le rejet (concentration limite de la classe de qualité)

$C_{rejetDO}$: la concentration rejetée pour le paramètre étudié

Etape 3 : Calcul de la durée de déclassement pour chaque classe de pluie à partir des débits déversés. Pour ce faire, on considère que l'impact d'un rejet provoquant un déclassement s'arrête 12 heures après ce rejet. La durée totale d'effet est égale à (Vazquez, 2014) :

Équation 35 : Calcul de la durée totale de déclassement

$$DEF = \sum (d + 12) * f_i$$

Avec :

DEF : La durée de déclassement pour la classe considérée en heures

d : La durée en heures pendant laquelle le débit rejeté est supérieur au débit limite de rejet de la classe de qualité considérée

f_i : La fréquence d'apparition annuelle de la classe de pluie pendant la période sensible

Etape 4 : Détermination du débit maximal de rejet dans le milieu naturel (détermination du débit seuil de déversements) et du volume à stocker pour satisfaire aux critères de déclassement

Annexe 6 : Méthodes envisagées pour la prise en compte des différents phénomènes

- La phase de remplissage :

La prise en compte de la phase de remplissage présente deux difficultés majeures. En effet, les simulations réalisées à l'aide du modèle 3D intègrent le transport solide une fois l'hydraulique du bassin stabilisé pour un bassin qui déverse. Ainsi, elles ne permettent pas de connaître ni la quantité de dépôt, ni leur localisation au fond du bassin lors de la phase de remplissage.

Plusieurs solutions pourraient être envisagées :

- Effectuer plusieurs modélisations successives pour les différents pas de temps correspondants aux phases de remplissage. Néanmoins, outre le fait que l'écoulement ne serait pas stabilisé, à l'échelle d'une année entière le nombre de modélisations à effectuer et le temps de calcul associé serait trop important pour mettre en œuvre une telle solution.
- Considérer que les dépôts et leur localisation sont les mêmes au cours de la phase de remplissage que ceux observés lorsque le bassin déverse. Cependant, les dépôts et leur localisation étant étroitement liés à l'hydraulique du bassin cette solution n'est pas envisageable. En effet, au cours de la phase de remplissage pour un débit donné les écoulements dans le bassin n'ont rien à voir avec les écoulements observables lorsque le bassin déverse une partie du flux.
- La phase de remplissage étant a priori relativement courtes et les écoulements lors de cette phase assez turbulents, cette phase n'est pas propice à la décantation. Ainsi, les dépôts observables pendant cette phase devrait être relativement faibles. Ne connaissant pas la localisation des particules au sein du bassin, celles-ci pourraient être considérées toutes en suspension dans le bassin au début du premier pas de temps de déversement. L'estimation de l'efficacité associée à ces particules en termes de dépôt serait alors réalisée de façon analogue l'estimation en termes d'efficacité associée au devenir des particules en suspension. Cette solution ne demanderait pas plus de complexité si le devenir des particules en suspension a un impact suffisamment important pour justifier sa prise en compte.
Néanmoins, celle-ci revient à considérer qu'il n'y a aucun dépôt lors de la phase de remplissage et peut amener à une sous-estimation importante de l'efficacité en termes de piégeage.
- Dernière solution envisageable : Approximer l'efficacité lors des phases de remplissage à l'aide de l'efficacité annuelle observée lorsque le déversement par le trop-plein se produit. Outre sa relative simplicité cette solution prend en compte le fait que les particules décantées peuvent être remobilisées au cours de la phase de déversement de façon progressive.

- Le devenir des particules en suspension :

Afin de déterminer le devenir au pas de temps $i+1$ des particules en suspension à l'issue d'un pas temps i , l'utilisation du modèle 3D de transport solide développé par Gilles ISENMANN est envisageable. En effet, en réalisant une injection ponctuelle de particules en suspension au début de la simulation, il est possible d'obtenir l'efficacité en termes de dépôt en suivant le même principe que pour la simulation envisagée pour quantifier le dépôt des particules entrantes sur un pas de temps donné. La problématique restante est de savoir où se trouvaient les particules à l'issue du pas de temps précédent. Pour répondre à celle-ci, un raisonnement envisageable pour localiser au mieux les particules est un découpage du volume du bassin en plusieurs zones. Plus le nombre de zones sera important, plus fine sera la représentation de la localisation des particules. Néanmoins, ajouter une zone signifie augmenter le nombre de simulations 3D à réaliser, de plus se pose la question du découpage en zone et de la définition du lieu d'injection des particules.

- La remobilisation de particules déposées :

La problématique de la remise en suspension de particules préalablement déposées dans le bassin est centrale. En effet, il s'agit de ne pas augmenter de manière trop importante le débit d'entrée dans le bassin de dépollution afin d'éviter le lessivage de celui-ci qui entraînerait plus de pollution dans le milieu naturel qu'un dimensionnement classique. La remise en suspension de particules préalablement déposées dépend principalement de grandeurs hydrauliques (contrainte de cisaillement, énergie cinétique turbulente) au fond du bassin. Or, ces grandeurs hydrauliques (contrainte de cisaillement, énergie cinétique turbulente) ne sont pas uniformes au fond du bassin, ainsi certaines zones seront plus propices à la remise en suspension que d'autres. Un découpage en zones homogènes pourrait alors être envisagé, néanmoins, cette solution présente trois problématiques majeures, la variabilité des zones non propices au dépôt en fonction du débit, la réalisation d'une étude de sensibilité pour déterminer le nombre de zones suffisants pour avoir un zonage représentatif et la détermination d'une loi prenant en compte la dynamique du phénomène.

Le second enjeu sur cette problématique de remobilisation est de savoir si ces particules vont être dirigées vers la sortie du trop-plein et donc vers le milieu naturel ou simplement déplacées d'une zone à une autre ou encore remise en suspension dans le bassin. L'utilisation du modèle 3D avec injection de particules au fond des zones concernées pourrait être envisagée pour répondre à ce second enjeu, néanmoins cela induirait un surcoût de mise en œuvre pour la méthode c'est pourquoi le gain apporté par ces simulations 3D doit être réel pour justifier leur mise en œuvre.

Ainsi, pour synthétiser le bilan de masse sur chaque pas de temps si tous les phénomènes sont à prendre en compte se résumerait à une quantification des déplacements de matière entre les différentes zones du fond, du volume du bassin et de l'entrée et la sortie.

Annexe 7 : Dimensionnement de la station de traitement

- Dimensionnement de la station de traitement des eaux usées (Vazquez, 2014)

Afin de connaître la part de l'intensité critique acceptable par la station, il est nécessaire de dimensionner celle-ci.

En l'absence de données précises, le bassin versant étudié étant fictif, les consommations moyennes en France seront utilisées pour les calculs.

La consommation moyenne d'eau domestique d'un habitant en France est d'environ 150 l/j/habitant (Centre d'information sur l'eau, 2015)

D'où

Équation 36 : Calcul du débit moyen journalier

$$Q_{edm} = \frac{N_h * C_m}{86\,400} = 6,9 \text{ l/s}$$

Avec :

Q_{edm} : Débit moyen journalier en l/s

N_h : Nombre d'habitants raccordés

C_m : Consommation moyenne en l/j/hab

Le coefficient de pointe de consommation est défini par la formule :

Équation 37 : Calcul du coefficient de pointe

$$C_p = 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{Q_{edm}}} = 2,45$$

Avec :

C_p : Coefficient de pointe

Le débit d'eaux claires parasites Q_{ecp} est supposé égal à 100 % du débit domestique moyen.

Équation 38 : Calcul du débit d'eaux claires parasites

$$Q_{ecp} = Q_{edm} = 6,9 \text{ l/s}$$

Le débit de pointe de temps sec Q_{pts} est calculé à l'aide de la formule suivante

Équation 39 : Calcul du débit de pointe de temps sec

$$Q_{pts} = C_p * Q_{edm} + Q_{ecp} = 23,9 \text{ l/s}$$

Le débit moyen de temps sec Q_{mts} est défini par :

Équation 40 : Calcul du débit moyen de temps sec

$$Q_{mts} = Q_{edm} + Q_{ecp} = 13,9 \text{ l/s}$$

Le débit de station $Q_{station}$ est calculé par la relation :

Équation 41 : Calcul du débit de la station

$$Q_{station} = \max [3 * (Q_{mts} - Q_{ecp}); Q_{pts}] = 27,8 \text{ l/s}$$

Le débit admissible à la station en plus du temps sec est donc :

Équation 42 : Calcul du débit admissible en supplément du temps sec

$$Q_{admissible} = Q_{station} - Q_{mts} = 13,9 \text{ l/s}$$

Annexe 8 : Hypothèses retenues pour la transformation pluie débit du bassin versant fictif

1. Calcul des pertes initiales :

Le coefficient d'imperméabilisation du bassin est supposé égal à 0,5 et la pente de 1 %, il vient ainsi :

$$P_i = a + b * (3 - I) = 2,5 \text{ mm}$$

Avec $a=0,5$; la majorité des terrains est supposée imperméable

$b = 1$; la majorité des terrains est supposée imperméable

2. Coefficient de ruissellement une fois les pertes initiales satisfaites

Celui-ci est calculé pour que le coefficient de ruissellement global du BV soit égal à 0,5

$$C = \frac{0,5 * \text{précipitations annuelles}}{(\text{précipitations annuelles} - \text{pertes initiales annuelles})} \simeq 0,61$$

3. Valeur du paramètre K dans le modèle du réservoir linéaire

Celui-ci est calculé à l'aide de la formule figurant dans la partie transformation pluie-débit pour une aire de 25 ha, un Cr de 0,5 et une pente de 1%, ce qui donne :

$$K \simeq 19 \text{ minutes}$$

4. Valeur du paramètre K dans le modèle de Muskingum

Le collecteur principal de type circulaire est supposé d'une longueur d'un kilomètre. La vitesse à 80 % de remplissage sera estimée à l'aide de la formule de Manning Strickler (Vazquez, 2012).

$$I = \frac{U^2}{K_s^2 * R_h^{4/3}}$$

La détermination du rayon hydraulique nécessite de connaître le diamètre de la canalisation. Le collecteur principal (circulaire) est dimensionné à l'aide de la formule de Caquot pour une période de retour de 10 ans pour une pente de réseau identique à celle du bassin versant. Le calcul est synthétisé dans le tableau suivant :

Données	
Coefficient a de Montana (T=10 ans)	7,689
Coefficient b de Montana (T=10 ans)	-0,667
l _{bv} (m/m)	0,01
S _{bv} (ha)	25
C _{rBV}	0,5
L _{bv} (m)	1 000
ε	0,05
Calculs	
M	2
α ₁	2 140
α ₂	0,34
α ₃	1,24
α ₄	0,76
Q _{BV} (T=10 ans) en l/s	2 185

Avec :

$$Q_{BV}(T = 10 \text{ ans}) = \alpha_1 * I_{BV}^{\alpha_2} * Crbv^{\alpha_3} * Sbv^{\alpha_4}$$

$$\alpha_1 = 1000 * \left(a * 0,5^b * \frac{\left(\frac{M}{2}\right)^{0,84b}}{6,6} \right)^{\frac{1}{1+0,287b}}$$

$$\alpha_2 = -\frac{0,41b}{1 + 0,287b}$$

$$\alpha_3 = \frac{1}{1 + 0,287b}$$

$$\alpha_4 = \frac{0,507b + 1 - \varepsilon}{1 + 0,287b}$$

A l'aide de l'abaque de dimensionnement (Vazquez, 2014), pour une canalisation circulaire standard avec un coefficient de rugosité de Strickler de $K_s = 70$, le diamètre obtenu est de 1,2 m.

D'où à l'aide de la formule de Manning Strickler:

$$U \simeq 3,1 \text{ m/s}$$

Et en utilisant la formule présentée dans le rapport pour le calcul de K du modèle de Muskingum :

$$K \simeq 7 \text{ minutes}$$

Annexe 9 : Modélisation 3D de la performance du bassin

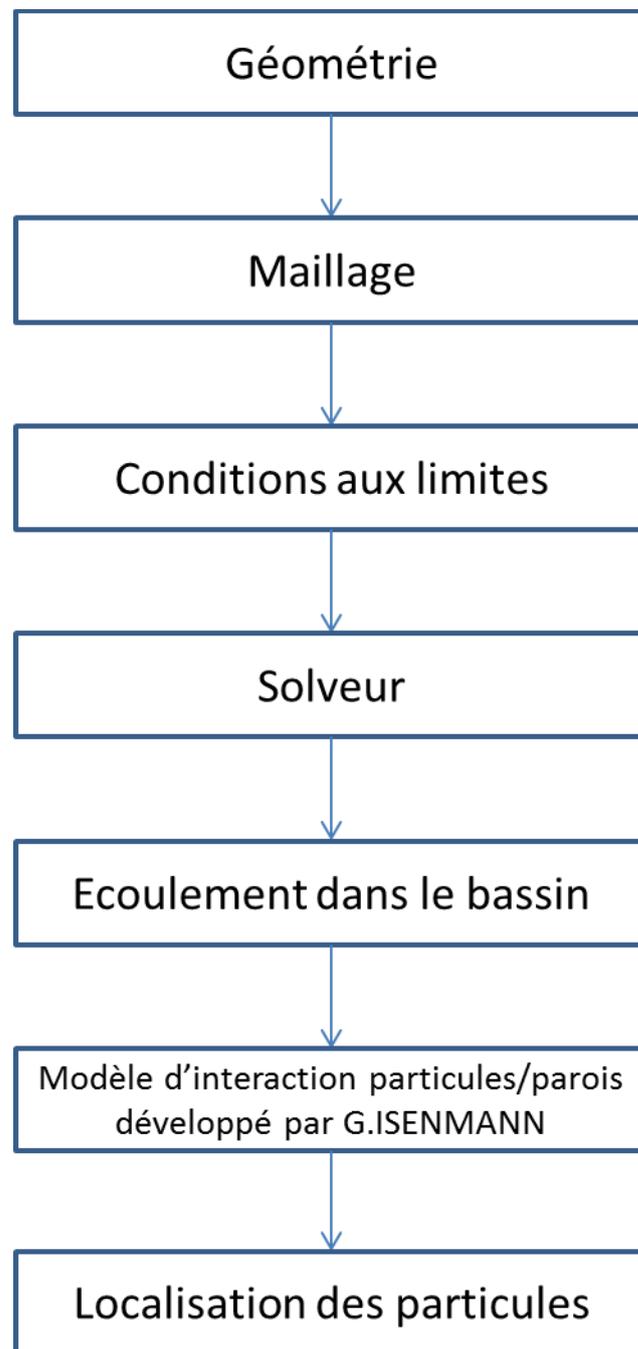


Figure 39 : Les grandes étapes de la modélisation 3D

Annexe 10 : Lignes de courant au sein du bassin

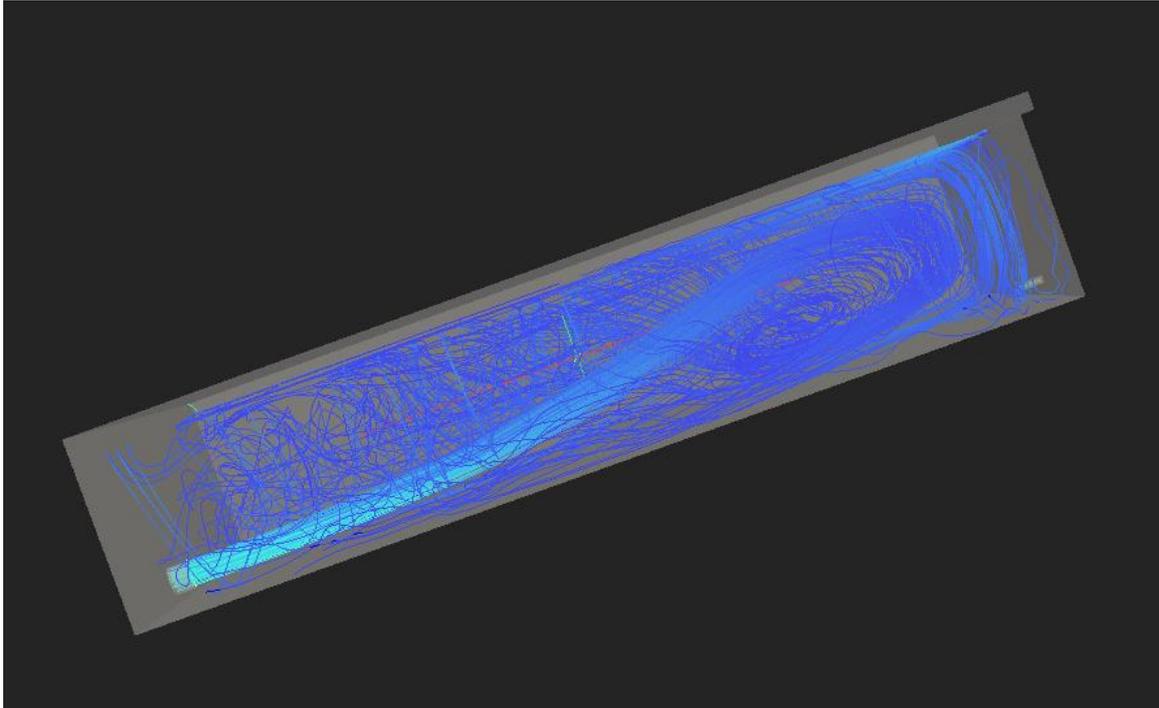


Figure 40 : Lignes de courant obtenues pour 100 l/s

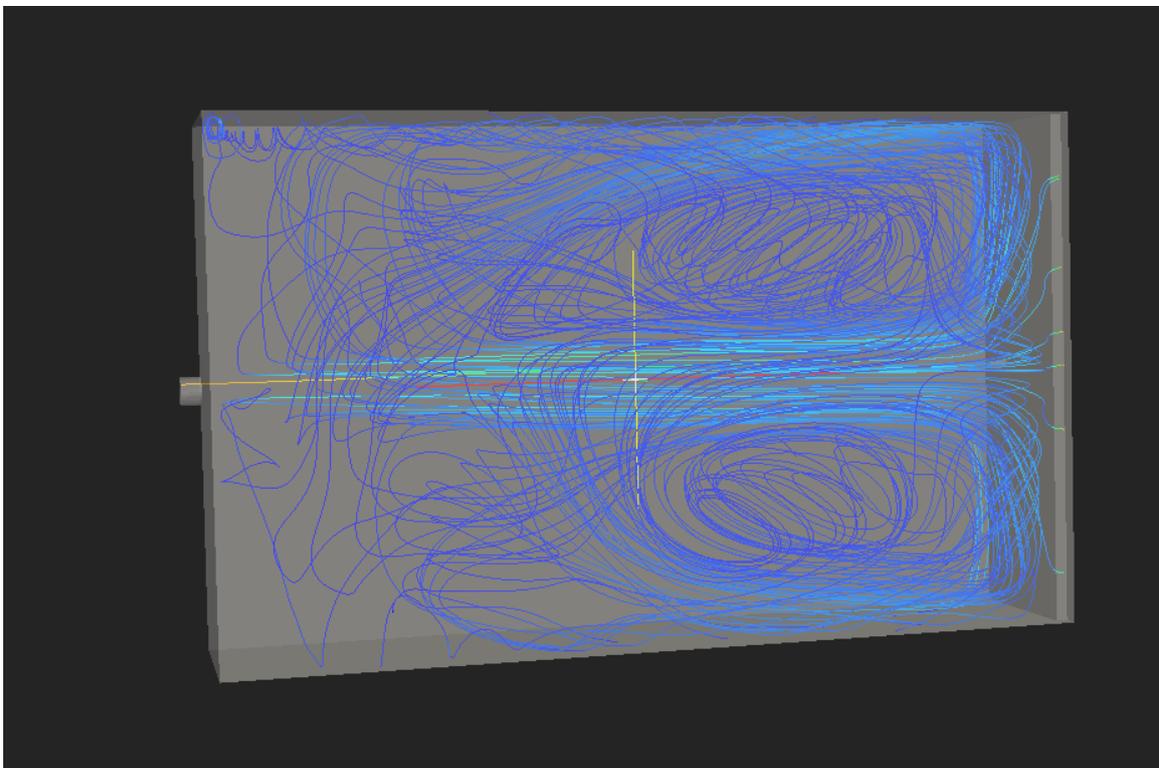


Figure 41 : Lignes de courant obtenues pour 700 l/s

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Diplôme : Diplôme d'Ingénieur de l'ENGEES

Spécialité : GEDET (GEstion Durable de l'Eau dans les Territoires)

Auteur : Gérald NEYRINCK

Année 2016

Titre :

Développement d'une nouvelle méthode de dimensionnement des bassins de dépollution basée sur leur performance

Nombre de pages : texte 59 pages annexes 19 pages

Nombre de références bibliographiques : 29

Structure d'accueil : ENGEES/ICube Strasbourg (67)

Maître de stage : Monsieur José VAZQUEZ

Résumé :

Une méthodologie de dimensionnement des bassins de dépollution en lien avec le critère réglementaire des 5 % de rejets en masse de pollution a été développée pour les MES. Elle se décompose en deux étapes, une transformation pluie-débit suivie d'une transformation débit-efficacité/rejet.

Son application sur un bassin versant fictif a montré des apports intéressants, à savoir une réduction des rejets de particules de l'ordre de 40 % entre bassin de transit et bassin piège, la possibilité d'une optimisation pour des bassins existants avec une réduction de l'ordre de 20 % des rejets ainsi que l'opportunité d'économies sur les nouveaux ouvrages.

Mots-clés : Assainissement, Dimensionnement, Bassin de dépollution, Rejets de temps de pluie