

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Evaluation du fonctionnement des déversoirs d'orage latéraux par le logiciel de modélisation "calDO"..

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 6-0025-16

APA Citation (APA توثيق):

Bouyahiaoui, Imane (2016). Evaluation du fonctionnement des déversoirs d'orage latéraux par le logiciel de modélisation "calDO".[Thèse de master, ENSH].

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open DSpace software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics. <http://dspace.ensh.dz/jspui/>

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بنمّين الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات، مبداعات، مقالات، دوريات، كتب....) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة DSpace و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
ثـحـبـلـا و يـلـاعـلـا مـهـيـلـمـنـلـا ةـرـاـزـو يـحـمـلـلـا
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique

Département Hydraulique Urbaine

MEMOIRE DE MASTER

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

OPTION : Assainissement

THEME :

**Evaluation du fonctionnement des déversoirs d'orage latéraux
par le logiciel de modélisation "calDO".**

Présenté par :

M^{lle} : BOUYAHIAOUI Imane

DEVANT LES MEMBRES DU JURY

Nom et Prénom	Grade	Qualité
M ^r SALAH Boualem	Professeur	Président
M ^r HACHEMI Abdelkader	M.A.A	Examinateur
M ^{me} MOKRANE Wahiba	M.A.A	Examinatrice
M ^{me} TAFAT Leila	M.A.A	Examinatrice
M ^r KAHLERRAS Djilali	M.C.B	Promoteur

Session-2016

Remercîments

Il m'est impératif d'ouvrir ce mémoire en remerciant toutes les Personnes qui m'ont apporté leurs soutiens pendant mes études et pour l'élaboration de ce travail:

- 🚩 mes parents en premier lieu qui m'ont aidés et m'encouragé pour accomplir mes études.*
- 🚩 tous les membres de ma famille qui m'ont aidés et encouragés quel que soit les conditions*
- 🚩 Un vif remerciement à mon promoteur monsieur KAHLEERRAS Djilali pour son aide ainsi que son soutien précieux. J'affirme que j'ai appris énormément de choses avec lui.*
 - Je tiens à remercier aussi les membres de jury d'avoir accepté d'évaluer mon travail ;*
 - Tous les enseignants qui ma appris ce que je savais tout au long de ma formation;*
 - Mes amis pour leur présence et leur soutien.*
 - Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration et l'aboutissement de ce mémoire.*

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à tous ceux que j'aime

*A mes parents qui ont toujours été les étoiles de mon ciel et ont éclairé mon
Chemin ;*

A mon frère ;

A mes sœurs ;

A mes amies et spécialement Imed et Khouloud ;

A tous mes camarades et spécialement ma promotion ;

A tous les membres de ma famille ;

A tous les enseignants de l'ENSH qui m'ont accompagné durant mes études.

Imane

Table de matière

Introduction Générale.....	01
Chapitre I : Généralités sur les déversoirs d'orages	
I.1 Introduction.....	02
I.2 Définition de déversoir d'orage.....	03
I.3 Conception détaillée d'un déversoir d'orage.....	04
I.3.1 Ouvrages à l'intérieur du déversoir.....	04
I.4 Déversoirs associés aux bassins.....	05
I.4.1 Le bassin de transit à connexion directe.....	05
I.4.2 Le bassin de transit à connexion latérale.....	06
I.4.3 Le bassin piège à connexion directe.....	06
I.4.4 Le bassin piège à connexion latérale.....	07
I.5 Courbe de fonctionnement du déversoir d'orage.....	07
I.5.1 Interprétation de la courbe.....	07
I.6 Identification des déversoirs et de leur mode de fonctionnement.....	08
I.6.1 Différents types de déversoirs.....	08
I.6.1.1 Ouvrages ne possédant pas de seuil.....	09
I.6.1.1.1 Trous dans le mur.....	09
I.6.1.1.2 Déversoirs à ouverture de radier : leaping weir.....	09
I.6.1.1.3 Ouvrages à vortex.....	09
I.6.1.2 Ouvrage à Seuil(s).....	10
I.6.1.2.1 Détermination selon le nombre de seuils.....	10
I.6.1.2.2 Détermination selon la position du seuil par rapport à la conduite amont.....	11
I.6.1.2.3 Détermination selon la hauteur du seuil.....	13
I.7 Différentes classifications des déversoirs.....	14
I.7.1 Selon le fonctionnement du DO.....	14
I.7.2 Selon les principes constructifs du DO.....	15
I.7.3 Selon la géométrie et l'hydraulique.....	15
I.7.3.1 Critères géométriques.....	15
I.7.3.2 Critères hydrauliques.....	16
I.8 Types de lame déversante des déversoirs frontaux.....	16
I.8.1 Lame déversante adhérente.....	16
I.8.2 Lame déversante libre.....	18
I.8.3 Lame déversante libre.....	18
I.9 Types d'écoulement et ligne d'eau des déversoirs latéraux.....	18
I.9.1 Cas des déversoirs latéraux à seuil court.....	18
I.9.1.1 Ecoulement en régime fluvial.....	18
I.9.1.2 Ecoulement en régime torrentiel.....	19
I.9.2 Cas des déversoirs latéraux à seuil long.....	19
I.10 Conclusion.....	21
Chapitre II : Principe de modélisation des déversoirs d'orage	
II.1 Introduction.....	22
II.2 La modélisation.....	22
II.3 Les modèles de simulation.....	22
II.3.1 Approche statistique.....	23
II.3.2 Approche conceptuelle.....	23

II.3.3 Approche mécaniste.....	23
II.4 Un bref historique de la modélisation des déversoirs.....	23
II.5 Présentation du logiciel «calDO».....	24
II.6 Les équations de Barré de Saint-Venant.....	25
II.7 L'équation de Hager.....	26
II.8 La résolution du système d'équations St Venant & Hager.....	27
II.9 Les principaux phénomènes simulés.....	27
II.9.1 Les principaux phénomènes simulés sont les suivants.....	27
II.10 Les principales originalités de «CalDO».....	28
II.11 Les limites de la version actuelle de «CalDO».....	28
II.12 La mise au point de «CalDO».....	30
II.13 Conclusion.....	30

Chapitre III : Méthodologie du travail

III.1 Introduction.....	31
III.2 Objectif du logiciel « calDO ».....	31
III.3 Etape de la modélisation en utilisant le logiciel « calDO ».....	32
III.3.1 Insertion des données.....	32
III.3.1.1 Pour les conduites à l'amont ou à l'aval.....	33
III.3.1.2 Pour le déversoir.....	34
III.3.2 Le diagnostic « avant calcul ».....	35
III.3.2.1 Diagnostic « courant »	36
III.3.2.2 Diagnostic « expert »	36
III.3.2.3 Diagnostic « mise en mouvement potentielle de dépôts en conduite »	37
III.3.3 Le calcul.....	39
III.3.3.1 Sélection du débit à simuler et du nombre de calculs à réaliser.....	40
III.3.4 Le diagnostic après calcul.....	41
III.3.4.1 Courbe de fonctionnement.....	42
III.3.5 Paramètres de Calcul.....	43
III.4 Conclusion.....	44

Chapitre IV : Application de modélisation avec le logiciel «calDO»

Introduction.....	44
IV.1 .Présentation du déversoir d'orage de Ben Aknoun.....	44
VI 2.Caractéristiques du déversoir d'orage.....	45
IV.3.Application de la modélisation.....	45
IV.3.1.Description de l'ouvrage	45
IV.3.2.Diagnostic avant calcul.....	48
IV.3.3. Calcul pour quelques débits amont	49
IV.3.4.Construction de la courbe de fonctionnement.....	55
Conclusion.....	59
Conclusion générale.....	60

Liste des figures

Figure I.1 : Schéma de principe du déversoir d'orage.....	04
Figure I.2 : Conception détaillée d'un déversoir d'orage	04
Figure I.3: Rôle des DO dans le fonctionnement d'un bassin de transit à connexion directe	06
Figure I.4 : Rôle des DO dans le fonctionnement d'un bassin de transit à connexion latérale	06
Figure I.5 : Rôle des DO dans le fonctionnement d'un bassin piège à connexion directe...	07
Figure I.6 : Rôle des DO dans le fonctionnement d'un bassin piège à connexion latéral.....	07
Figure I.7 : Principe de fonctionnement hydraulique du déversoir d'orage	07
Figure I.8 : Exemple d'un ouvrage type "trou dans le mur"	09
Figure I.9 : Déversoir leaping weir	09
Figure I.10 : Chambre à vortex avec déversoir périphérique.....	10
Figure I.11 : Déversoir à seuil simple, vue de dessus	10
Figure I.12 : Déversoir à seuil double, vue de dessus	10
Figure I.13 : Déversoir à seuil latéral pur, vue de dessus	11
Figure I.14 : Déversoir à seuil latéral avec entonnement, vue de dessus	11
Figure I.15 : Déversoir court, vue de dessus.....	12
Figure I.16 : Déversoir à seuil frontal pur, vue en coupe et vue en plan	12
Figure I.17 : Déversoir frontal	12
Figure I.18 : Déversoir à seuil latéral intermédiaire, vue de dessus	13
Figure I.19 : Déversoir à seuil bas, vue en coupe	13
Figure I.20 : Déversoir à seuil haut, vue en coupe	13
Figure I.21 : Représentation systémique d'un déversoir d'orage.....	14
Figure I.22 : Ensemble des termes descriptifs de l'ouvrage.....	16
Figure I.23 : Principe du déversoir et ses différentes caractéristiques hydrauliques	17
Figure I.24 : Différents types de lames déversantes	18
Figure I.25: Ligne d'eau d'un déversoir latéral à seuil court prismatique, en régime fluvial ..	19
Figure I.26: Ligne d'eau d'un déversoir latéral à seuil court prismatique, en régime torrentiel.....	19
Figure I.27 : Organigramme : les différentes possibilités de fonctionnement d'un DO.....	20

Listes des figures

Figure I.28 : Différentes configurations de l'écoulement au droit d'un seuil long latéral...	21
Figure III.1 : Ecran d'accueil de CalDo.....	32
Figure III.2 : Masque de saisie et mise à jour des ouvrages	33
Figure III.3 : Masque de saisie des caractéristiques des conduites amont et aval.....	34
Figure III.4 : Masque de saisie des caractéristiques du déversoir	34
Figure III.5 : Exemple de représentation d'un Déversoir après saisie des caractéristiques.	35
Figure III.6 : Illustration pour le diagnostic avant calcul	36
Figure III.7 : Exemple d'un diagnostic « courant » d'une conduite : cas de l'évolution de la section mouillée	37
Figure III.8: Exemple d'un diagnostic « expert » d'une conduite : cas de l'évolution du débit selon la hauteur normale	38
Figure III.9: Exemple d'un diagnostic de mise en mouvement de dépôt.....	38
Figure III.10 : Illustration pour le lancement d'un calcul.....	39
Figure III.11 : Illustration pour le choix des paramètres de calcul.....	40
Figure III.12 : Illustration d'un calcul en cours.....	41
Figure III.13 : Illustration d'une courbe de type $Q_{aval}=f(Q_{amont})$	42
Figure III.14 : Illustration d'une courbe « modélisée » de type $Q_{aval}=f(Q_{amont})$	43
Figure III.15 : Illustration de localisation d'un résultat de calcul.....	44
Figure VI.1 : Déversoir d'orages (2x2m) à la sortie du parc d'attraction.....	44
Figure VI.2 : DVO de Ben Aknoun (Parc zoologique en temps de pluie).....	45
Figure IV.3 : Représentation graphique du déversoir.....	46
Figure IV.4 : Calcul pour quelques débits amont	48
Figure IV.5: Calcul avec $Q_{amont}= 344.7$ l/s	49
Figure IV.6 : évolution de la vitesse ($Q=344.7$ l/s).....	50
Figure IV.7 : Calcul avec $Q_{amont} = 758.3$ l/s	51
Figure IV.8: Evolution de la vitesse ($Q_{amont}=758.3$ l/s).....	53
Figure IV.9 : évolution du débit ($Q_{amont}=758.3$ l/s).....	54
Figure IV.10 : Courbe de fonctionnement	57
Figure IV.11 : ... Calcul avec $Q_{amont} = 500$ l/s	58

ملخص

في يومنا هذا تمثل معرفة التشغيل الهيدروليكي الحقيقي للمفيض احد التحديات الأساسية إذا أردنا النجاح في الحد من التلوث البيئي

إضافة إلى هذا فهو ضروري من اجل كل دراسة فحص أو المجاري.

في هذا السياق العمل الحالي يهتم بنمذجة عمل مفيض بن عكنون بواسطة برنامج calDO من اجل فحص سيره الهيدروليكي خاصة في وقت الأمطار.

Résumé

La connaissance du fonctionnement hydraulique réel des déversoirs d'orage est aujourd'hui l'un des principaux enjeux si on veut réussir à limiter la pollution apportée au milieu naturel, en plus il est primordiale dans toute étude de diagnostic ou dimensionnement des réseaux d'assainissement.

A cet effet, le présent travail s'est intéressé à la modélisation de fonctionnement du déversoir d'orage de Ben Aknoun en s'appuyant sur le logiciel « calDO » afin de diagnostiquer leur fonctionnement hydrauliquement en particulier en temps de pluie.

Nous avons calculé le débit déversé en fonction du débit amont, la ligne d'eau le long de la crête déversante, la courbe de fonctionnement du déversoir ainsi que son débit de référence et a la fin on a constaté que le fonctionnement de déversoir d'orage est satisfaisant.

Abstract

The knowledge of the real hydraulic operation of the outfalls of storm is one of the main issues today if one wants to succeed in limiting the pollution brought to the natural environment, in more it is paramount in any study of diagnosis or dimensioning of the networks of cleansing.

For this purpose, this work was interested in modeling of operation of the outfall of storm of Ben Aknoun by being based on the software "calDO" in order to hydraulically diagnose their operation in particular in times of rain.

We calculated the flow poured according to the flow upstream, the watermark along the overflow crest, the curve of operation of the outfall like its flow of reference and at the end one noted that the operation of outfall of storm is satisfactory.

Problématique

Problématique

Problématique

La connaissance du fonctionnement des ouvrages spéciaux dans les réseaux d'assainissement est aujourd'hui l'un des principaux enjeux pour la gestion des eaux pluviales.

Les moyens mobilisables pour accéder à cette connaissance sont la métrologie et la modélisation.

Dans ce travail nous aborderons l'un de ces aspects, celui de la modélisation. Nous concentrerons nos efforts sur un ouvrage qui joue un rôle majeur dans la maîtrise des rejets tout en étant probablement l'un des plus difficiles à modéliser : le déversoir d'orage.

Les déversoirs d'orage sont bien souvent le lien direct entre le réseau d'assainissement et le milieu naturel. En effet ils assurent la régulation hydraulique des effluents unitaires dans le réseau d'assainissement en temps de pluie ainsi que le partage des débits restant dans le réseau et ceux devant être évacués.

Depuis leurs créations, le rôle des déversoirs d'orage n'a cessé d'évoluer :

- 🚦 On leur a assigné en premier le rôle hydraulique de trop plein ou de « soupape de sécurité » du réseau d'assainissement unitaire. On limitait ainsi la quantité d'effluents envoyée vers l'aval. Une économie sur la taille des canalisations aval pouvait être réalisée. Leur positionnement permettait, dans certains cas, de choisir le point de déversement en temps de pluie.
- 🚦 Ensuite, la prise de conscience de la protection de la ressource en eau a permis la création des stations de traitement des eaux usées (STEU). On a dû adapter le débit aval des déversoirs existants en fonction du débit de référence de la STEU. On a vu apparaître dans certains réseaux un intercepteur principal permettant d'orienter, grâce à la création de déversoirs, les flux initialement déversés vers la station de traitement. Dans certains cas, on tolère même un débit aval de temps sec avec un peu de temps de pluie.
- 🚦 De plus, la prise de conscience de la quantité de pollution véhiculée par les réseaux d'assainissement a permis d'enrichir le rôle des déversoirs. Ils ont ainsi pour fonction de limiter la fréquence des déversements vers le milieu naturel.
- 🚦 La gestion en temps réel des systèmes d'assainissement a contraint à rendre mobiles certains déversoirs. Leur débit aval va ainsi pouvoir évoluer au cours du temps en fonction de la capacité hydraulique du réseau qui est elle-même variable en fonction de la pluie et du mode de gestion des ouvrages de contrôle. **(J.VAZQUEZ et al, 2006)**

Problématique

Pour tenir compte de l'évolution du rôle des déversoirs d'orage, la connaissance de leur fonctionnement hydraulique réel est primordiale dans toute étude de diagnostic ou de dimensionnement des réseaux d'assainissement pour pouvoir protéger le milieu naturel car ces ouvrages sont considérés comme partie intégrante des ouvrages de dépollution et de contrôle de débit dans le réseau.

Le présent travail s'inscrit dans le domaine de la modélisation de déversoir d'orage de Ben Aknoun afin de diagnostiquer leur fonctionnement hydrauliquement. En s'appuyant sur un logiciel mis en œuvre par des expertes « calDO » qui nécessite l'introduction des caractéristiques géométriques de l'ouvrage (hauteur de crête, longueur,...) ainsi que les caractéristiques des conduites amont et aval, ce logiciel est capable de fournir le débit déversé en fonction du débit amont, ainsi que la ligne d'eau le long de la crête déversante. , avec des fonctionnalités sur le diagnostic des déversoirs avant et après calculs.

Il nous a semblé nécessaire d'introduire à travers cette étude, différents chapitres pour bien répondre à la problématique de la détermination de débit déversé en fonction du débit amont, ainsi que la ligne d'eau le long de la crête déversante.

Dans un premier lieu le chapitre I, nous donnera un aperçu bibliographique sur les déversoirs d'orages afin de maîtriser le point sur l'ensemble de classification existantes selon les critères géométriques aussi bien que les critères de fonctionnements hydrauliques.

Par la suite, le chapitre II regroupe quelques rappels sur les modèles, les différentes approches modélisatrices et une présentation de logiciel « calDO ».

La présence du chapitre III, aura pour objectif de citer les différentes étapes à suivre afin de diagnostiquer notre déversoir d'orage, en utilisant le logiciel calDO.

Au chapitre IV, nous entamons la modélisation de fonctionnement de déversoir d'orage de Ben Aknoun en appliquant la méthodologie précédente, en vue d'un diagnostic de ces ouvrages, Finalisé par une interprétation et discussion des résultats obtenus.

Généralités sur les déversoirs d'orages

I.1.Introduction

Les déversoirs d'orage sont bien souvent le lien direct entre le réseau d'assainissement et le milieu naturel. En effet ils assurent la régulation hydraulique des effluents unitaires dans le réseau d'assainissement en temps de pluie ainsi que le partage des débits restant dans le réseau et ceux devant être évacués.

Nous privilégierons donc dans ce chapitre les démarches qui permettent de mieux différencier ces ouvrages en prenant en compte leur fonctionnement hydraulique et aussi leurs classifications

I.2.Définition de déversoir d'orage

Un déversoir d'orage est un ensemble de dispositifs permettant d'évacuer vers le milieu naturel les pointes de ruissellement de manière à décharger le réseau d'aval.

Quelque soit le type d'ouvrage, un déversoir doit assurer trois fonctions essentielles :

- Evacuer sans surverse et sans remous le débit d'eaux usées de temps sec.
- Evacuer sans surverse le débit critique.
- Surverser le débit excédentaire de pluie et d'orage sans mise en remous nuisible du réseau amont et sans surcharge excessive en débit du réseau aval.
- Assurer le partage du flux polluant entre milieu naturel et collecteur aval. ce partage est différent suivant le type du déversoir d'orage, sa position sur le réseau et, les ouvrages annexes.
- Assurer la fonction de by-pass ou ouvrage d'échange : envoyer les eaux excédentaires lors des orages vers un autre collecteur en assurant un rôle de maillage du réseau pour avoir la capacité de transport.
- By-pass séparateur : prélever les eaux de temps sec pour les envoyer vers un égout d'eaux usées d'où une transformation de la partie aval du collecteur unitaire en collecteur semi-pluvial (possible qu'avec un vannage). **(B.SALAH, 2014)**

Un déversoir d'orage est donc un ouvrage de contrôle permettant une régulation hydraulique des effluents en réseau d'assainissement (**Figure I.1**).

Un déversoir d'orage se compose :

- D'un ouvrage de dérivation
- D'un canal ou collecteur de décharge.

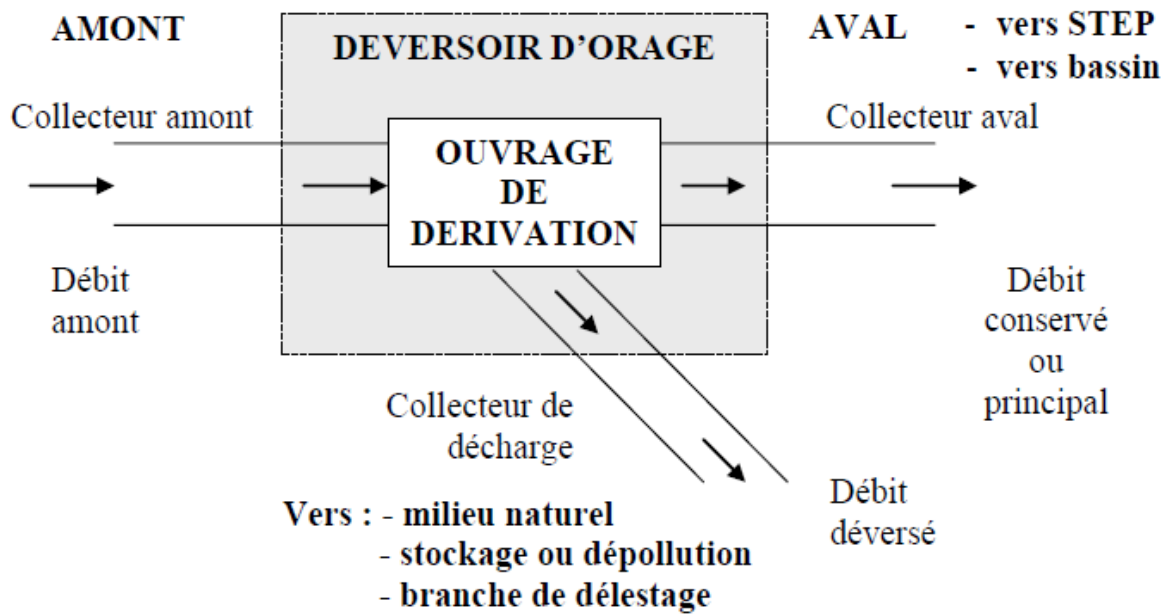


Figure I.1 : Schéma de principe du déversoir d'orage

I.3. Conception détaillée d'un déversoir d'orage

I.3.1. Ouvrages à l'intérieur du déversoir

Un déversoir d'orage se compose :

- D'un ouvrage de dérivation
- D'un canal ou collecteur de décharge.

La Figure I.2 schématise l'ensemble des ouvrages annexes que l'on peut trouver dans un déversoir

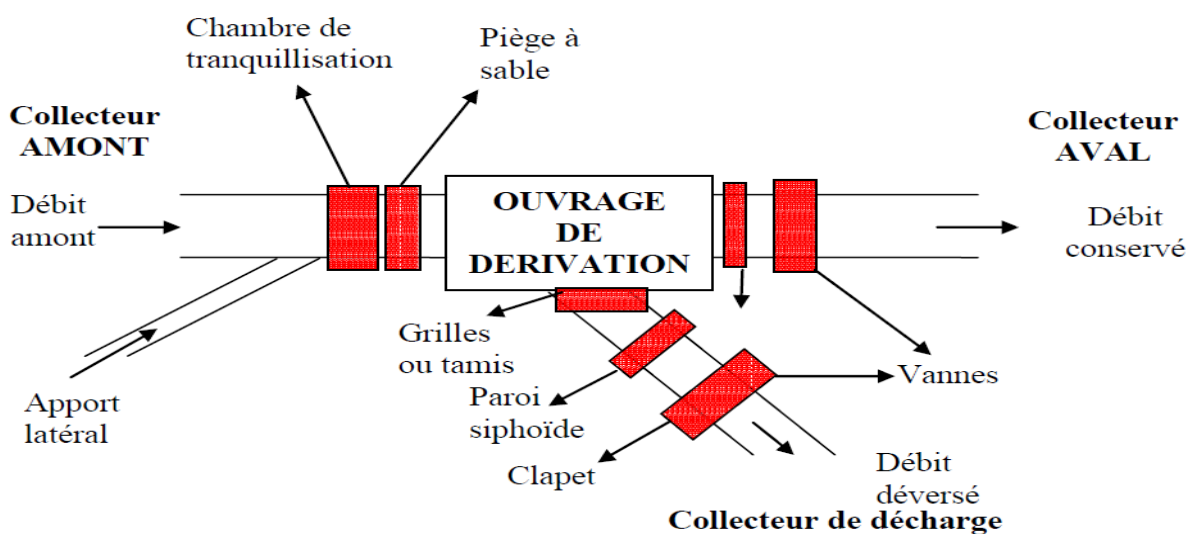


Figure I.2 : Conception détaillée d'un déversoir d'orage

Les grilles ont pour but de piéger les gros solides ($\varnothing > 6$ mm) pour éviter leur envoi dans le milieu naturel. Ces grilles peuvent être dotées de moyens de dégrillage automatique alimentant un stockage des produits dont l'enlèvement doit être prévu et aisé et ne provoquant pas de nuisances olfactives. Les grilles peuvent aussi être inclinées de façon que les solides piégés lors du fonctionnement de l'ouvrage retombent dans l'écoulement conservé dans le réseau. On peut trouver ces grilles également en amont du déversoir, à l'entrée des collecteurs. Les barreaux de ces grilles, de 10 à 12 mm d'épaisseur, sont généralement espacés de 15 mm ; le râteau mécanique qui s'insère dans cet espace a besoin d'un jeu de 3 à 4 mm ce qui implique des dents de 6-7mm minimum, dimensions en deçà desquelles il perdrait la rigidité nécessaire à son bon fonctionnement.

La paroi siphonoïde permet d'éviter d'envoyer les flottants vers le collecteur de décharge. Ils sont ainsi acheminés vers la station de traitement des eaux usées. Des fabricants proposent également des équipements plus ou moins sophistiqués pour piéger les solides : filtres rotatifs, tamis autonettoyants, ...

La chambre de tranquillisation et/ou de dessablement, située à l'amont du déversoir, a pour but, en réduisant la vitesse du flux, d'assurer une décantation des sables (matières minérales denses) et de faire remonter en surface les flottants.

Les vannes de régulation permettent, dans certaines configurations, de mieux garantir le fonctionnement hydraulique du déversoir. Dans la conduite conservée, le rôle de la vanne est de limiter le débit à l'aval. Pour la conduite déversée, la vanne empêche une remontée des

Guide technique sur le fonctionnement des déversoirs d'orage eaux provenant du milieu naturel dans le réseau d'assainissement neutralisant alors l'ouvrage. (J.VAZQUEZ et al, 2006)

I.4. Déversoirs associés aux bassins

Le déversoir d'orage peut jouer le rôle d'écrêter de débit strict, ou associé à un rôle de trop plein, en fonction de sa position par rapport au bassin d'orage.

On peut classer les bassins d'orage en quatre grands types:

I.4.1. Le bassin de transit à connexion directe (Figure I.3):

La connexion directe signifie une traversée en permanence de la totalité des eaux de temps sec et d'une partie des eaux de temps de pluie. Un déversoir à l'amont permet le remplissage du bassin avec un débit de référence égal à un débit de petites pluies (niveau 1). Ce débit est calculé pour une pluie de période de retour de quelques mois (de 1 mois à 1 an ou

plus) correspondant au degré de protection souhaité pour le milieu naturel. Le bassin d'orage possède un seuil de trop plein intérieur (il est dit de transit). (J. VAZQUEZ et al, 2006)

Bassin de transit à connexion directe

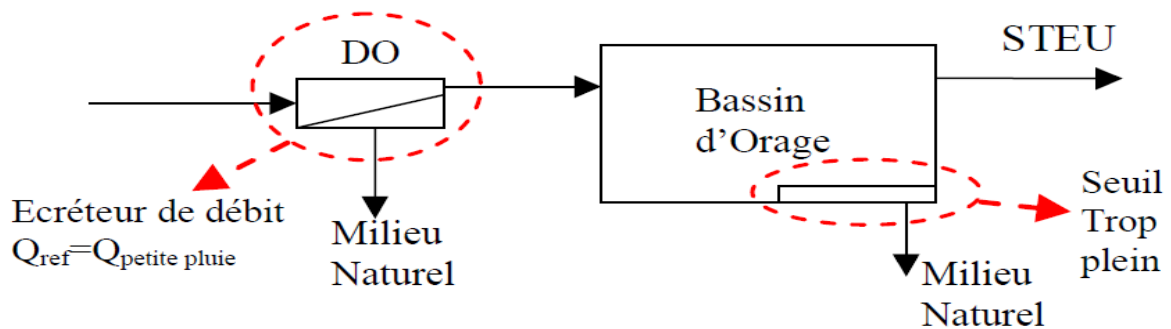


Figure I.3: Rôle des DO dans le fonctionnement d'un bassin de transit à connexion directe

I.4.2. Le bassin de transit à connexion latérale (Figure I.4) :

Le fonctionnement du bassin est proche du précédent, bien qu'il ne soit jamais traversé par le temps sec. La vidange ne peut se faire qu'à la fin de l'événement pluvieux, dès que le débit amont du réseau repasse en dessous du débit maximal admissible dans le réseau aval. (J.VAZQUEZ et al, 2006)

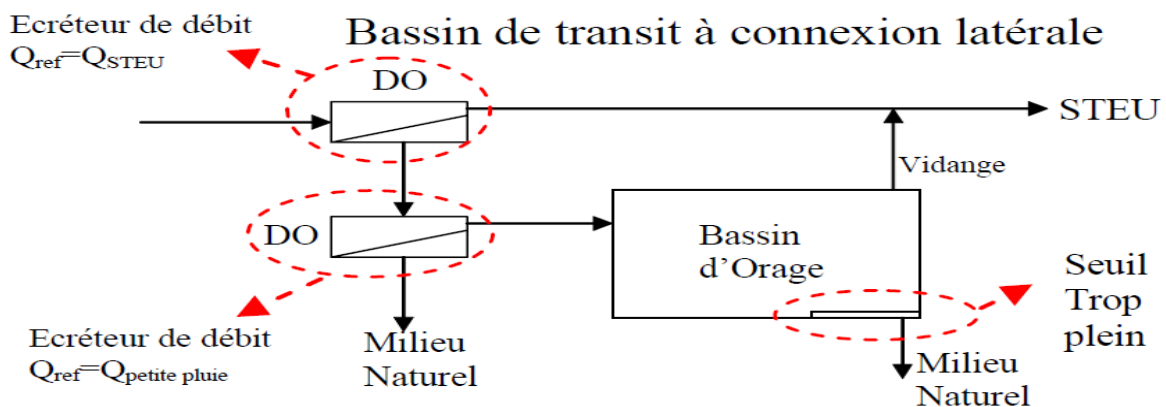


Figure I.4 : Rôle des DO dans le fonctionnement d'un bassin de transit à connexion latérale

I.4.3. Le bassin piège à connexion directe (Figure I.5) :

Il est traversé en permanence par la totalité des eaux de temps sec et d'une partie des eaux de temps de pluie (connexion directe). Un déversoir à l'amont limite le remplissage du bassin pour un débit de temps de pluie correspondant au débit critique. Le bassin d'orage ne

possède pas de trop plein (il est dit piège) à l'intérieur du bassin car celui-ci est assuré par le déversoir situé à l'amont. (J.VAZQUEZ et al, 2006)

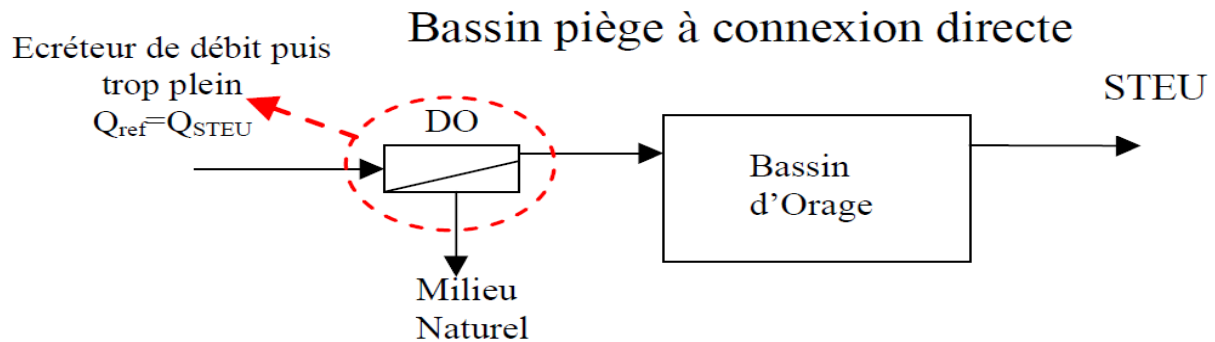


Figure I.5 : Rôle des DO dans le fonctionnement d'un bassin piège à connexion directe

I.4.4. Le bassin piège à connexion latérale (Figure I.6) :

Le fonctionnement du bassin est proche du précédent, bien qu'il ne soit jamais traversé par le temps sec. La vidange ne peut se faire qu'à la fin de l'événement pluvieux, dès que le débit amont du réseau repasse en dessous du débit maximal admissible dans le réseau aval. (J.VAZQUEZ et al, 2006)

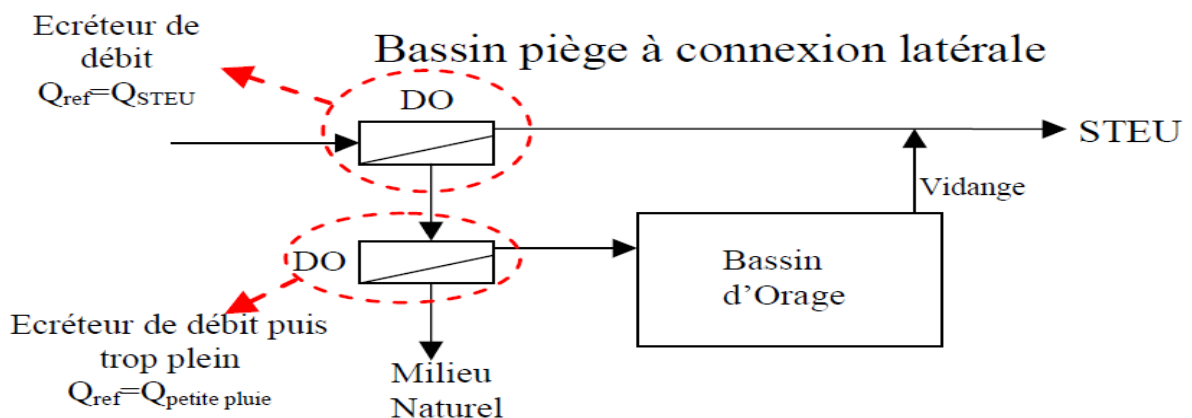


Figure I.6: Rôle des DO dans le fonctionnement d'un bassin piège à connexion latérale

I.5. Courbe de fonctionnement du déversoir d'orage

Le comportement hydraulique d'un déversoir peut être caractérisé par la courbe de fonctionnement représentée à la Figure I.7

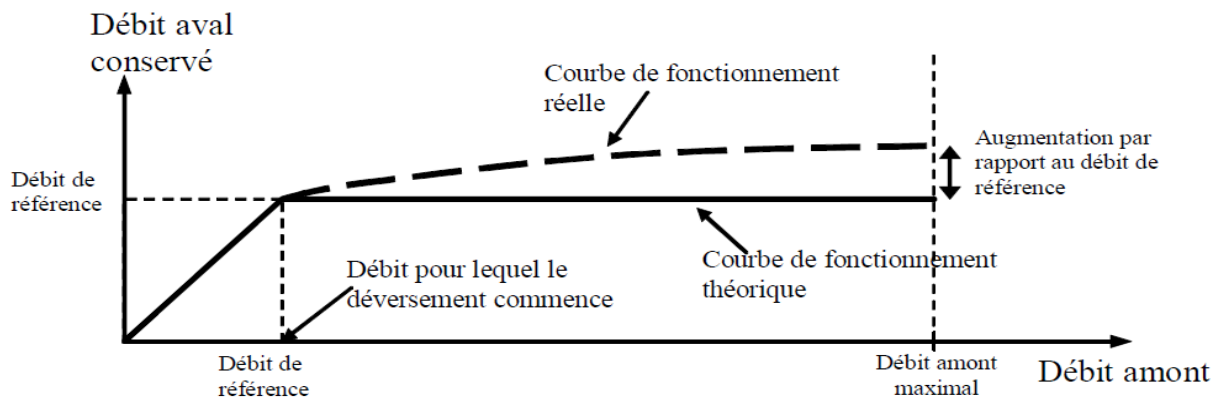


Figure I.7 : Principe de fonctionnement hydraulique du déversoir d'orage

I.5.1. Interprétation de la courbe

Le débit de référence est le débit à partir duquel l'ouvrage commence à déverser. Il peut donc représenter, par exemple :

- Le débit maximum admissible à l'aval,
- le débit d'alimentation d'une station de traitement des eaux usées (équipée ou pas d'un bassin d'orage),
- le débit des petites pluies représentant le débit de protection du milieu naturel correspondant au débit d'un événement pluvieux ayant une période de retour de quelques mois.

La courbe de fonctionnement théorique représente le cas de régulation idéale dans lequel quel que soit le débit amont supérieur au débit de référence, le débit conservé est égal au débit de référence. La création d'un tel déversoir nécessite une régulation dynamique représentée par exemple par une vanne autorégulée ou par une pompe.

Dans le cas des déversoirs statiques, la courbe de fonctionnement réelle, représentée à la Figure 5, nous montre qu'à partir du moment où le débit amont dépasse le débit de référence, le débit aval va continuer à augmenter.

La caractérisation hydraulique d'un déversoir va donc se faire en calculant :

- Le débit de référence,
- L'augmentation du débit aval par rapport au débit de référence et ce pour un débit amont maximal. **(G.LIPEME-KOUYI, 2004)**

Ce débit maximal est le plus souvent le débit de projet pour des pluies de niveau 2 ou 3 au sens **Certu, 2003**. Il peut, par exemple, correspondre au débit d'un événement pluvieux ayant une période de retour de quelques années (débit décennal par exemple).

Cette augmentation de débit peut plus facilement être caractérisée par le pourcentage d'augmentation du débit aval conservé par rapport au débit de référence, c'est-à-dire :

$$d'augmentation\ du\ débit\ aval = \frac{Débit\ aval\ conservé - Débit\ de\ référence}{Débit\ de\ référence}$$

Plus ce pourcentage sera important et moins le déversoir sera performant. En effet, on rappelle que l'objectif d'un déversoir est de contrôler le débit aval et donc de limiter au maximum le dépassement du débit de référence.

On peut admettre, au débit amont maximal, 20 à 40% d'augmentation du débit aval par rapport au débit de référence [Hager, 1999].

I.6. Identification des déversoirs et de leur mode de fonctionnement

I.6.1. Différents types de déversoirs

I.6.1.1. Ouvrages ne possédant pas de seuil

I.6.1.1.1. Trous dans le mur

Ce système a été amélioré grâce à un avancé de l'orifice du rejet vers l'intérieur

Ce sont les plus anciens ouvrages (**Figure I.8**), aujourd'hui abandonnés à cause d'un rendement hydraulique médiocre et d'une absence de dépollution. (B.SALAH, 2014)

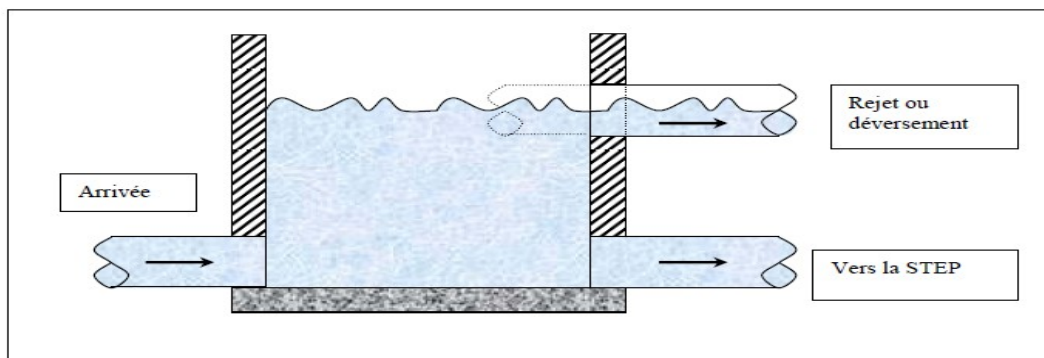


Figure I.8 : Exemple d'un ouvrage type "trou dans le mur"

I.6.1.1.2. Déversoirs à ouverture de radier : leaping weir

Dans ce type d'ouvrage, les débits d'eaux usées de temps sec et le débit critique transitent à travers une ouverture pratiquée dans le radier de la canalisation. Les débits supérieurs au débit critique devront franchir cette ouverture qui aura généralement au moins 0,50 m de longueur. Le régime d'écoulement en amont de ce déversoir sera obligatoirement torrentiel. (**Figure I.9**). (B.SALAH, 2014)

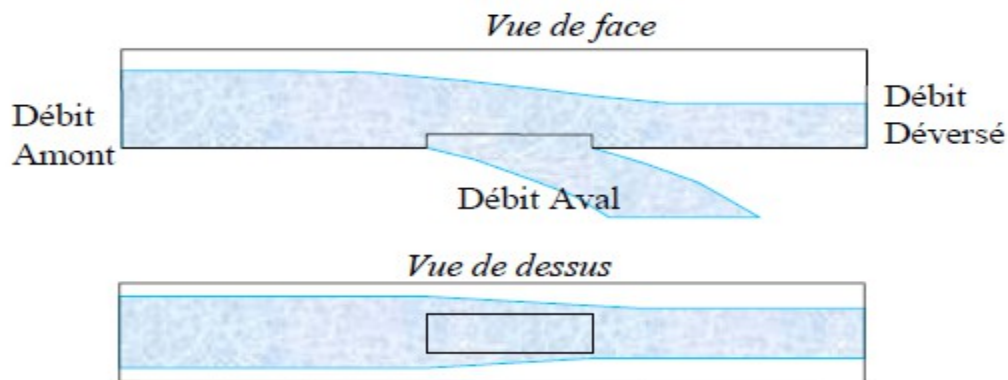
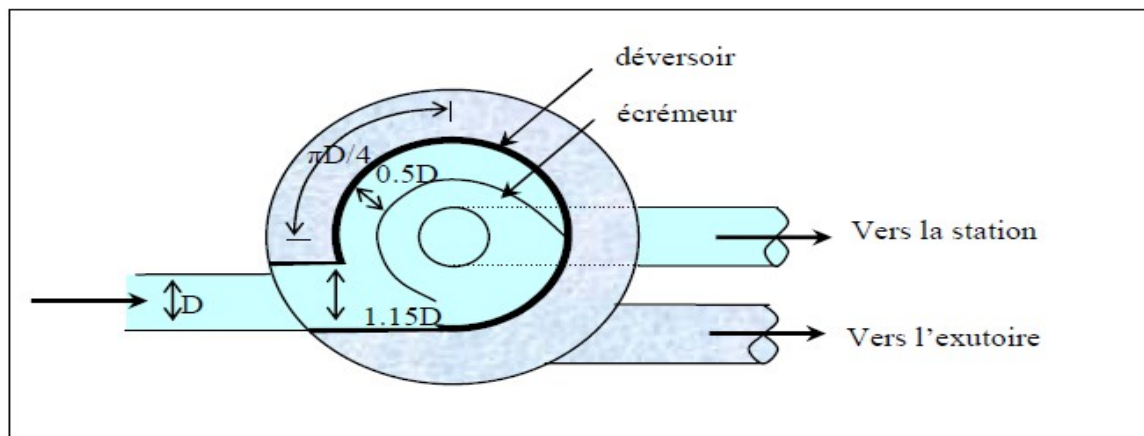


Figure I.9 : Déversoir leaping weir

I.6.1.1.3. Ouvrages à vortex

Le principe de ces ouvrages est de réduire l'énergie cinétique de l'écoulement pour aider au dépôt des particules en suspension grâce à l'allongement du trajet, grossièrement hélicoïdal (**Figure I.10**). De plus, ce mouvement tourbillonnaire produit des courants secondaires centripètes près du fond et y rassemble les particules décantées. (**M.ZUG et al, 2006**)



Fig

ure I.10 : Chambre à vortex avec déversoir périphérique

I.6.1.2. Ouvrage à Seuil(s)

I.6.1.2.1. Détermination selon le nombre de seuils

a. Déversoirs à seuil simple

Les déversoirs à seuil simple représentent environ 85% des déversoirs à seuil (**Figure I.11**). Ce seuil est placé d'un seul côté de l'ouvrage.

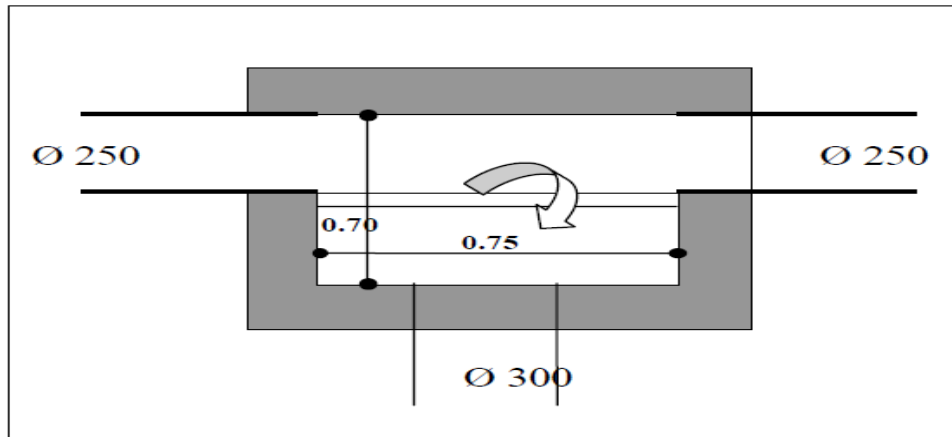


Figure I.11 : Déversoir à seuil simple, vue de dessus

b. Déversoirs à seuil double

Les déversoirs à seuil double représentent presque 15% des déversoirs à seuil

Le seuil est placé de chaque côté de l'ouvrage (Figure I.12).

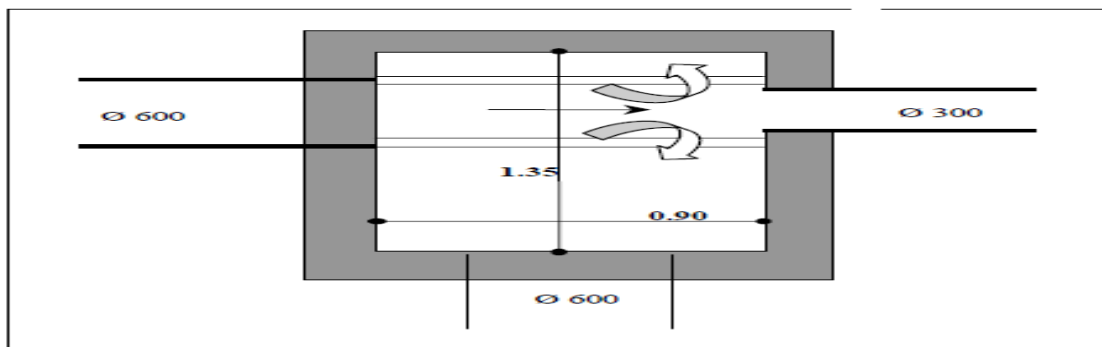


Figure I.12 : Déversoir à seuil double, vue de dessus

I.6.1.2.2. Détermination selon la position du seuil par rapport à la conduite amont

a. Déversoirs à seuil latéral

Pour ce type le seuil est rectiligne et parallèle à l'écoulement (Figure I.13).

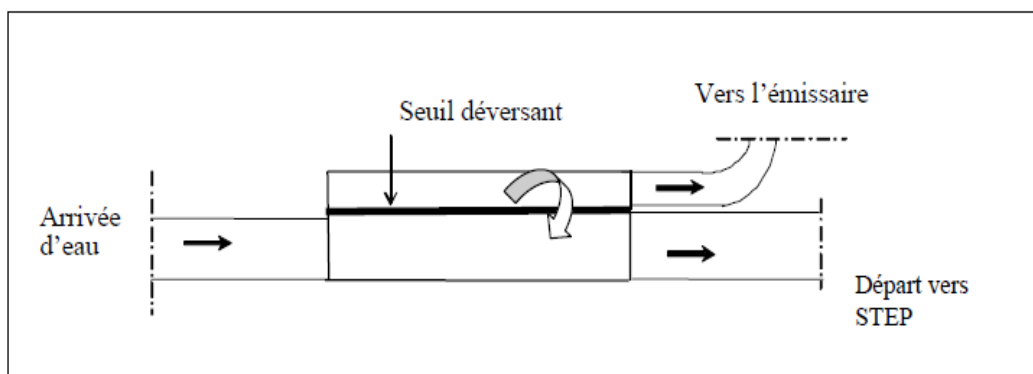


Figure I.13 : Déversoir à seuil latéral pur, vue de dessus

Le déversoir avec entonnement oblige la crête à s'incliner par rapport à l'écoulement pour relier linéairement la conduite amont et la conduite aval.

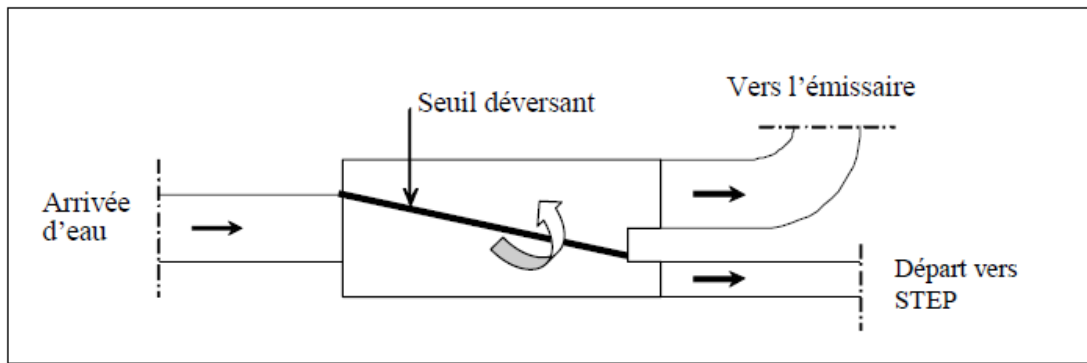


Figure I.14 : Déversoir à seuil latéral avec entonnement, vue de dessus

On a une sous-catégorie des déversoirs à seuil latéral, elle dépend de la longueur du seuil, La longueur d'un seuil est définie par le rapport de sa longueur sur le diamètre de la conduite amont.

On distingue alors :

- les seuils courts dont le rapport est inférieur ou égal à 3,
- les seuils longs dont le rapport est supérieur à 3.

Cette distinction est faite parce que le comportement hydraulique de ces deux types de déversoirs est différent. En effet, sur un déversoir court, la figure suivante (**Figure I.15**) montre que l'effet de la paroi verticale sur l'inclinaison des vecteurs vitesses joue un rôle non négligeable ; de plus, un ressaut hydraulique se crée sur la partie aval du déversoir. On ne retrouve pas systématiquement ces effets sur les déversoirs longs. (M. ZUG et al, 2006)

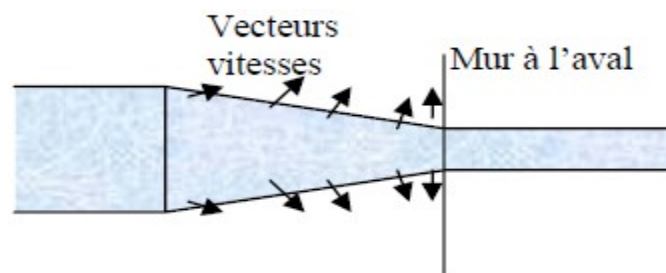


Figure I.15 : Déversoir court, vue de dessus

b. Déversoirs à seuil frontal

Le seuil est alors rectiligne et perpendiculaire à l'écoulement (**Figure I.16**). On peut encore définir une sous-catégorie des déversoirs à seuil frontal selon la présence ou non d'une contraction au niveau du seuil, selon la mise en charge de la conduite aval et selon l'orientation de cette même conduite par rapport à la crête.

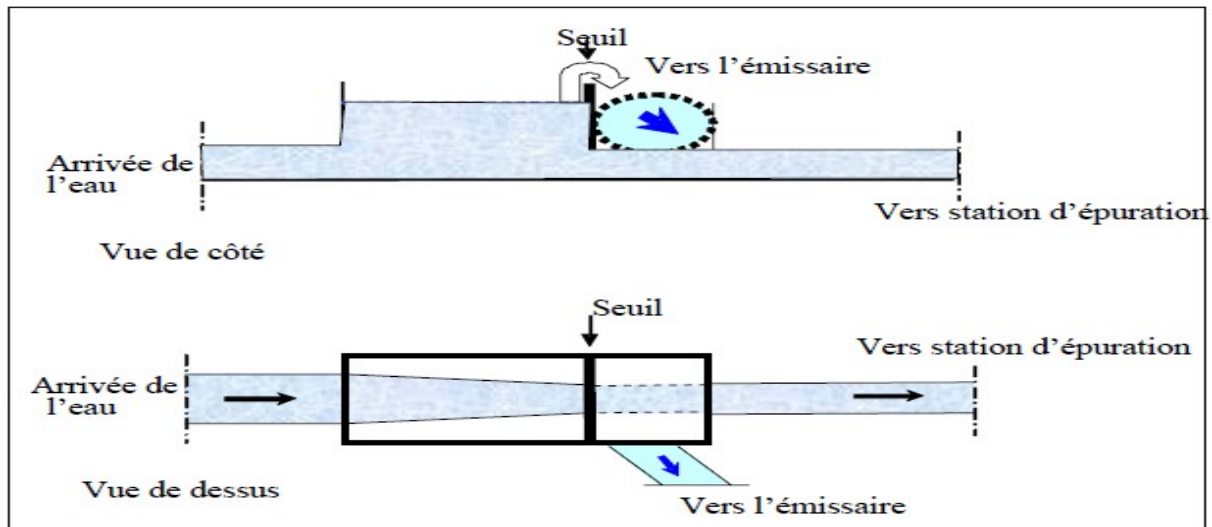


Figure I.16 : Déversoir à seuil frontal pur, vue en coupe et vue en plan

On distingue alors :

- les seuils frontaux sans contraction, lorsque la longueur du seuil est égale à la largeur de l'ouvrage de déversement,
- les seuils frontaux avec contraction, lorsque la longueur du seuil est inférieure à la largeur de l'ouvrage de déversement.

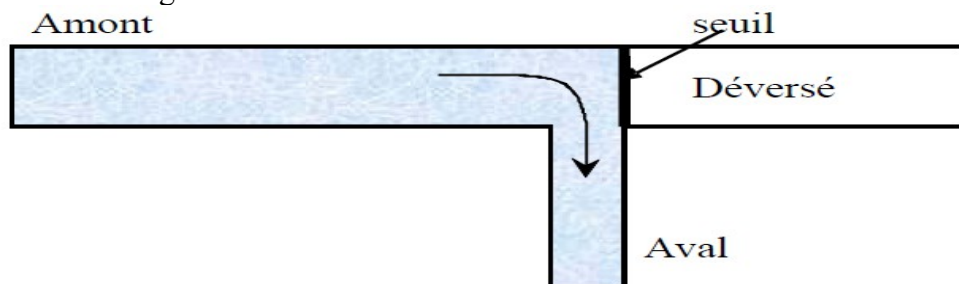


Figure I.17 : Déversoir frontal

c. Déversoirs à seuil dit "intermédiaire"

Ce sont les déversoirs qui ont des seuils qui ne sont pas purement rectilignes : seuil rectiligne avec angle intermédiaire (41%), seuil brisé (4%) ou seuil curviligne (18%) (**Figure I.18**).

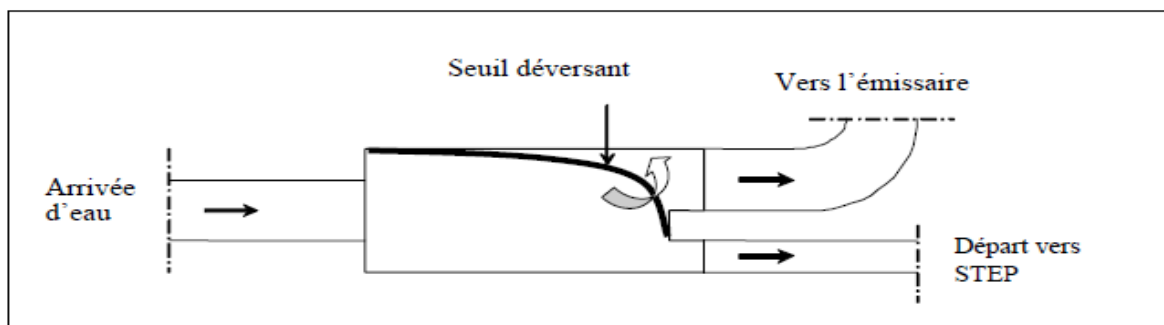


Figure I.18 : Déversoir à seuil latéral intermédiaire, vue de dessus

I.6.1.2.3. Détermination selon la hauteur du seuil

a. Déversoirs à seuil bas

Les déversoirs d'orage sont dits à seuil bas lorsque le niveau du seuil déversant se situe sous le niveau de la génératrice supérieure de la conduite aval (**Figure I.19**).

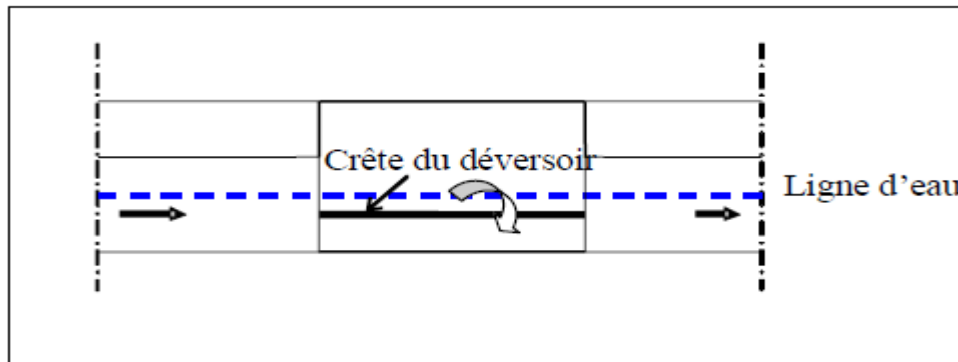


Figure I.19 : Déversoir à seuil bas, vue en coupe

b. Déversoirs à seuil haut

Les déversoirs sont dits à seuil haut lorsque le niveau du seuil déversant se situe au-dessus du niveau de la génératrice supérieure de la conduite aval (niveau à partir duquel il y a mise en charge de la conduite) (**Figure I.20**).

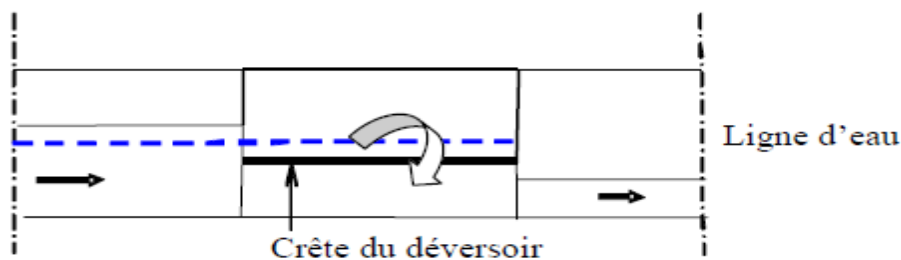


Figure I.20 : Déversoir à seuil haut, vue en coupe

Ce déversoir est utilisé de préférence lorsque le régime amont est fluvial. Son comportement hydraulique est connu et le dimensionnement est accessible avec une bonne marge de sécurité. Dans la plupart des cas, le seuil élevé évite le retour des eaux de l'émissaire dans le réseau. (M. ZUG et al, 2006)

c. Déversoirs à seuil "identique"

Les déversoirs sont dits à seuil identique lorsque le niveau du seuil déversant se situe au même niveau que la génératrice supérieure de la conduite aval. Ces déversoirs ont un comportement à surface libre lorsqu'ils ne déversent pas et en charge dans le cas contraire.

I.7. Différentes classifications des déversoirs

Il existe de nombreuses classifications des déversoirs d'orage, notamment la classification réalisée sur le fonctionnement des ouvrages (**Touzo, 1994**) et celle basée sur les principes constructifs utilisés (**SOGREAH, 1986**). Une classification plus poussée sur différents critères a été proposée par une étude menée récemment par Anjou Recherche (**Beziat, 1997**).

I.8.1. selon le fonctionnement du DO

La classification proposée en 1994 s'appuie sur une vision systémique du déversoir d'orage. Elle s'intéresse à la façon dont le système est régulé.

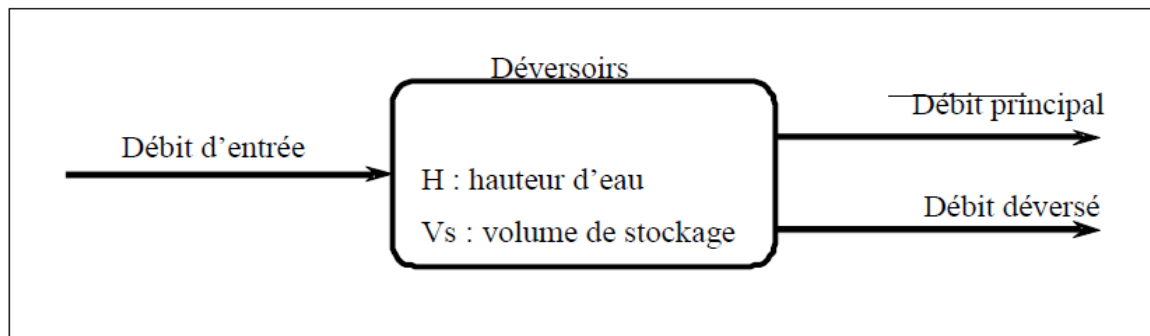


Figure I.21 : Représentation systémique d'un déversoir d'orage

Le système est caractérisé par trois variables de flux (**Figure I.21**) :

- Qentrée : débit entrant (Q_e),
- Qprincipal : débit sortant et dirigé vers la branche principale (Q_{prin}),
- Qdéversé : débit déversé (Q_{dev}) vers le milieu récepteur.

Le système est caractérisé également par deux variables d'état :

- H : hauteur d'eau dans l'ouvrage,
- Vs : volume stocké dans l'ouvrage et à l'amont de l'ouvrage.

Ces caractéristiques permettent alors de distinguer trois familles au sein des déversoirs d'orage :

- les ouvrages dont le fonctionnement est régulé par le débit déversé :

$$Q_{prin} = Q_e - Q_{dev}$$

- les ouvrages dont le fonctionnement est régulé par le débit dirigé vers la branche principale :

$$Q_{dev} = Q_e - Q_{prin}$$

- les ouvrages dont le fonctionnement est régulé à la fois par le débit dérivé et par le débit dirigé vers la branche principale. Dans ce cas, il est nécessaire de tenir compte de l'évolution du volume stocké dans l'ouvrage et à l'amont de l'ouvrage.

$$Q_{prin} = f_1(H) \text{ et } Q_{dev} = f_2(H)$$

$$V_s = g(H) \text{ et } dV_s/dt = Q_e - Q_{\text{prin}} - Q_{\text{dev}}$$

En phase de dimensionnement, une telle classification est intéressante puisque l'on peut prévoir le mode de fonctionnement et ensuite choisir le déversoir qui correspond.

En phase de diagnostic, on ne dispose que des caractéristiques hydrauliques et des conditions aux limites de l'ouvrage. Ce n'est donc qu'après le diagnostic hydraulique que l'on pourra classer l'ouvrage.

I.8.2. selon les principes constructifs du DO

Cette classification a été réalisée par la société SOGREAH en 1986. Elle considère que l'élément caractéristique principal d'un déversoir d'orage est l'ouvrage de dérivation. On distingue alors :

- les ouvrages à seuil déversant,
- les ouvrages n'utilisant pas de seuil, par exemple les ouvrages à vortex.

En phase de diagnostic, une telle classification est intéressante puisque l'on peut prévoir le mode de fonctionnement hydraulique en fonction des caractéristiques géométriques connues de l'ouvrage. Toutefois, les conditions aux limites hydrauliques ne sont pas prises en compte dans la classification.

I.8.3. selon la géométrie et l'hydraulique

Afin de compléter les classifications existantes et d'améliorer les connaissances sur les déversoirs d'orage, une étude a été entreprise en 1997 par Anjou Recherche et l'ENGEES, qui propose une classification basée à la fois sur les critères géométriques de l'ouvrage mais aussi sur les critères hydrauliques.

I.8.3.1. Critères géométriques

Le déversoir est décomposé en différents éléments, les conduites qui y sont liées sont considérées comme parties intégrantes du DO (**Figure 22**).

L'environnement du DO :

- la ou les conduite(s) amont,
- la ou les conduite(s) aval,
- la ou les conduite(s) de déversement.

La partie interne du DO :

- la canalisation de débit : lieu par lequel transite le débit traversant le DO par temps sec.
- le seuil : lui-même décomposé en deux parties :
- le parement amont : il définit le seuil vu de l'intérieur de la canalisation de débit conservé (la hauteur de pelle correspond à la hauteur de seuil observé de ce côté).

- le parement aval : il correspond au seuil considéré du côté du débit déversé.
- la chambre de déversement : elle définit la partie de l'ouvrage où se déverse le débit par temps de pluie, avant d'atteindre la conduite de décharge.

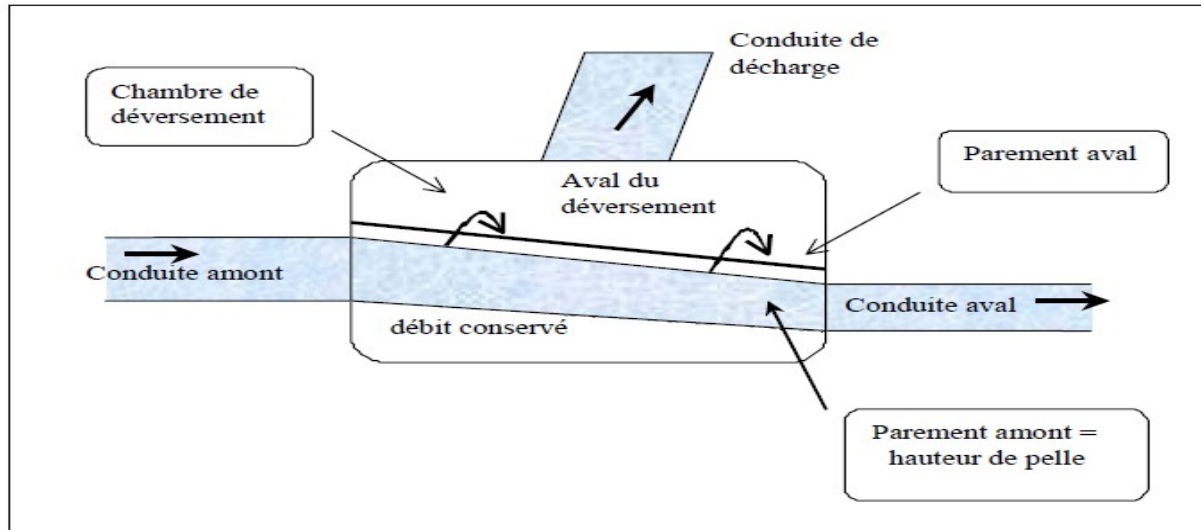


Figure I.22 : Ensemble des termes descriptifs de l'ouvrage

D'après cette étude quatorze paramètres de description ont été dégagés. Certains sont repris de la description géométrique telle que nous l'avons présentée précédemment, d'autres sont rajoutés et sont caractéristiques du seuil, des angles et des surfaces du déversoir.

Les seuils :

- le nombre de seuils,
- la hauteur de seuil (du parement amont),
- la longueur du seuil,
- l'épaisseur du seuil.

La (ou les) conduite(s) :

- le diamètre de la conduite amont,
- le diamètre de la conduite aval,
- le diamètre de la conduite de décharge.

La forme du DO en général :

- l'angle de la crête par rapport au repère fixé,
- l'angle de la conduite amont par rapport au repère,
- l'angle de la conduite aval par rapport au repère,
- l'angle de la conduite de décharge par rapport au repère,
- la surface de la canalisation de débit conservé,
- la surface de la chambre de déversement,
- les pentes relevées au sein de l'ouvrage.

I.8.3.2. Critères hydrauliques

Il est possible de compléter la classification géométrique des déversoirs d'orage par leurs caractéristiques hydrauliques. Ces déterminations sont importantes dans la mesure où elles fixent les conditions de régime utilisées dans les formules des débits déversés.

Ainsi, il convient de décrire les différentes lignes d'eau de l'écoulement, dont la forme est directement liée au régime hydraulique de l'ouvrage. On peut préciser la forme de la nappe déversante pour les déversoirs frontaux et celle de la ligne d'eau des déversoirs latéraux.

I.8.Types de lame déversante des déversoirs frontaux

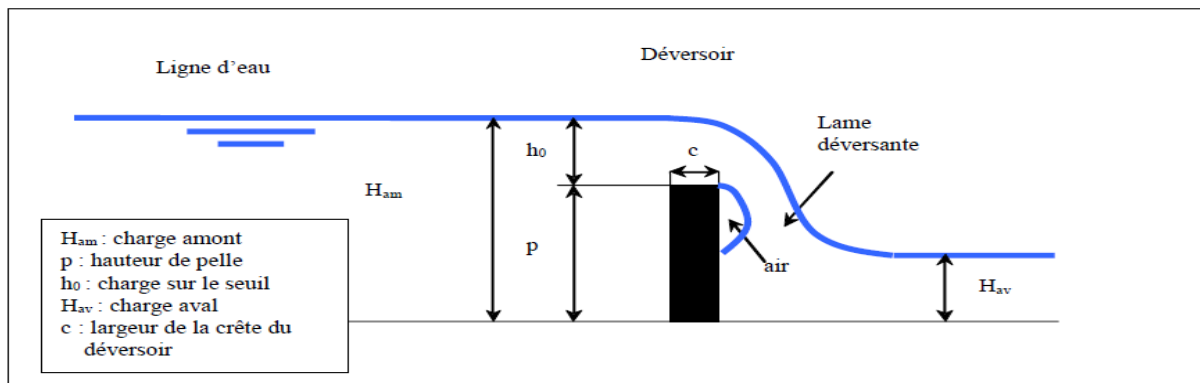


Figure I.23 : Principe du déversoir et ses différentes caractéristiques hydrauliques

I.9.1.Lame déversante adhérente

Une lame est dite adhérente lorsque la charge sur le seuil est trop faible pour projeter la lame d'eau. Visuellement, la nappe adhère à la paroi du déversoir (Figure I.24a).

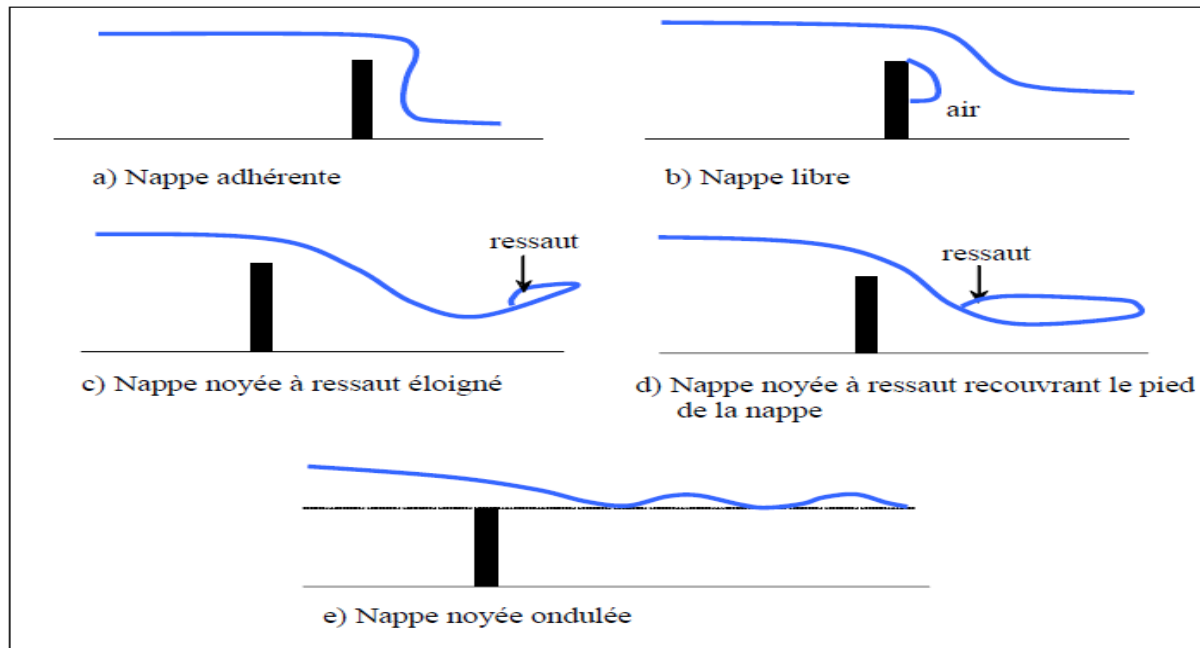


Figure I.24 : Différents types de lames déversantes

I.9.2.Lame déversante noyée

Une lame déversante est dite noyée quand la zone d'air est remplie d'eau suite à l'augmentation de la charge sur le déversoir. Il peut alors s'agir soit d'une nappe noyée à ressaut, soit d'une nappe noyée ondulée (**Figure I.24c, d, e**).

I.9.3.Lame déversante libre

Une lame déversante est dite libre quand la charge sur le seuil est suffisante pour projeter l'eau assez loin du déversoir sans influence aval. Visuellement, l'air peut accéder à tout le pourtour de la lame d'eau (**Figure I.24b**).

I.9.Types d'écoulement et ligne d'eau des déversoirs latéraux

I.10.1.Cas des déversoirs latéraux à seuil court

Il existe deux régimes d'écoulement selon que la vitesse moyenne dans le canal est supérieure ou inférieure à la vitesse critique: le régime fluvial et le régime torrentiel.

Il n'y a pas de ressaut dans le déversoir. Selon le régime d'écoulement, la ligne d'eau le long du déversoir n'est pas la même, et donc en observant celle-ci, on est capable de retrouver le régime hydraulique de l'écoulement.

I.10.1.1.Ecoulement en régime fluvial

Si le régime dans le canal est fluvial, alors la ligne d'eau s'élève et le débit par unité de longueur augmente le long du seuil (**Figure I.25**) :

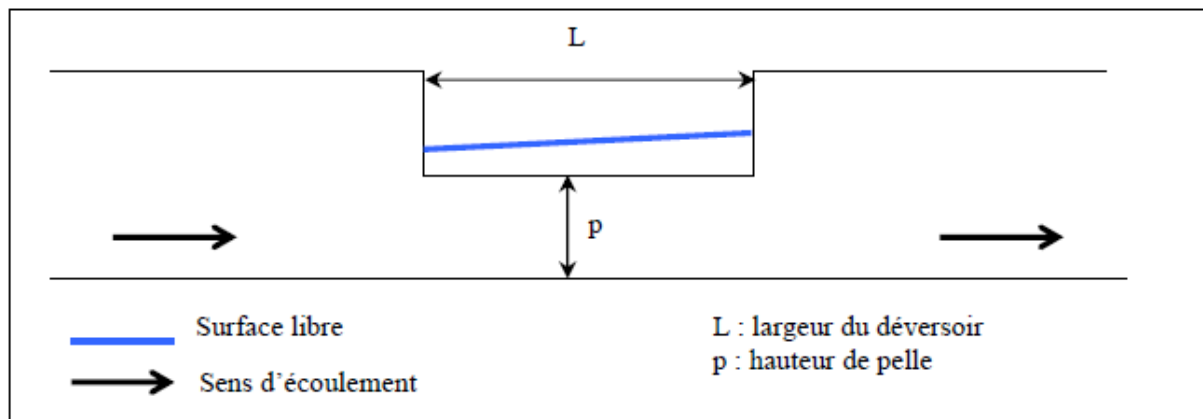


Figure I.25: Ligne d'eau d'un déversoir latéral à seuil court prismatique, en régime fluvial

I.10.1.2.Ecoulement en régime torrentiel

Si le régime dans le canal est torrentiel, la ligne d'eau s'abaisse et le débit déversé par unité de longueur décroît le long du seuil (**Figure 26**) :

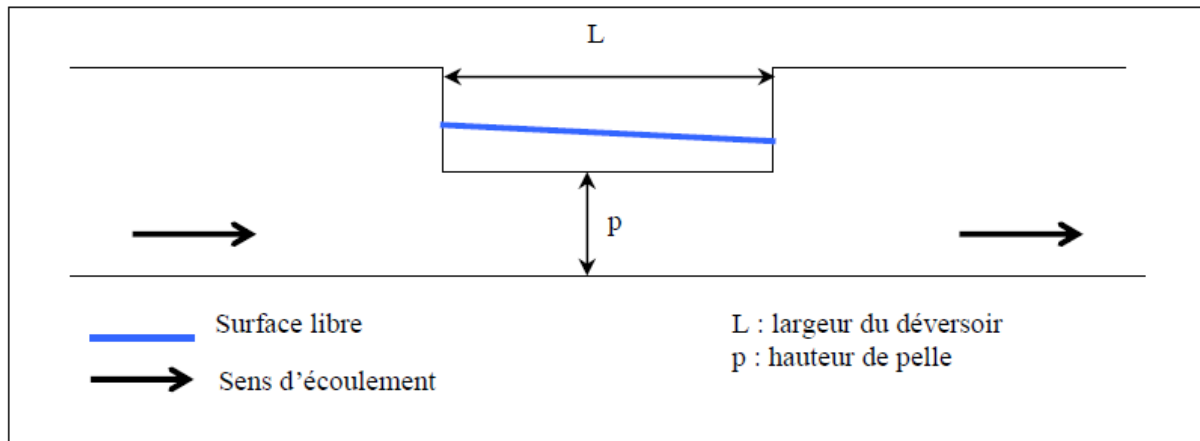


Figure I.26:Ligne d'eau d'un déversoir latéral à seuil court prismatique, en régime torrentiel

I.10.2.Cas des déversoirs latéraux à seuil long

Pour les déversoirs latéraux à seuil long, il devient nécessaire de tenir compte de la variation de la ligne d'eau sur le seuil du fait des changements de régime et de la présence d'un ressaut hydraulique. Il existe une méthode de détermination du type de régime selon la forme de la ligne d'eau. Le **Tableau I.1** et le **Tableau I.2** donnent les diverses configurations possibles de lignes d'eau le long du seuil pour des écoulements de types fluvial et torrentiel dans un déversoir prismatique.

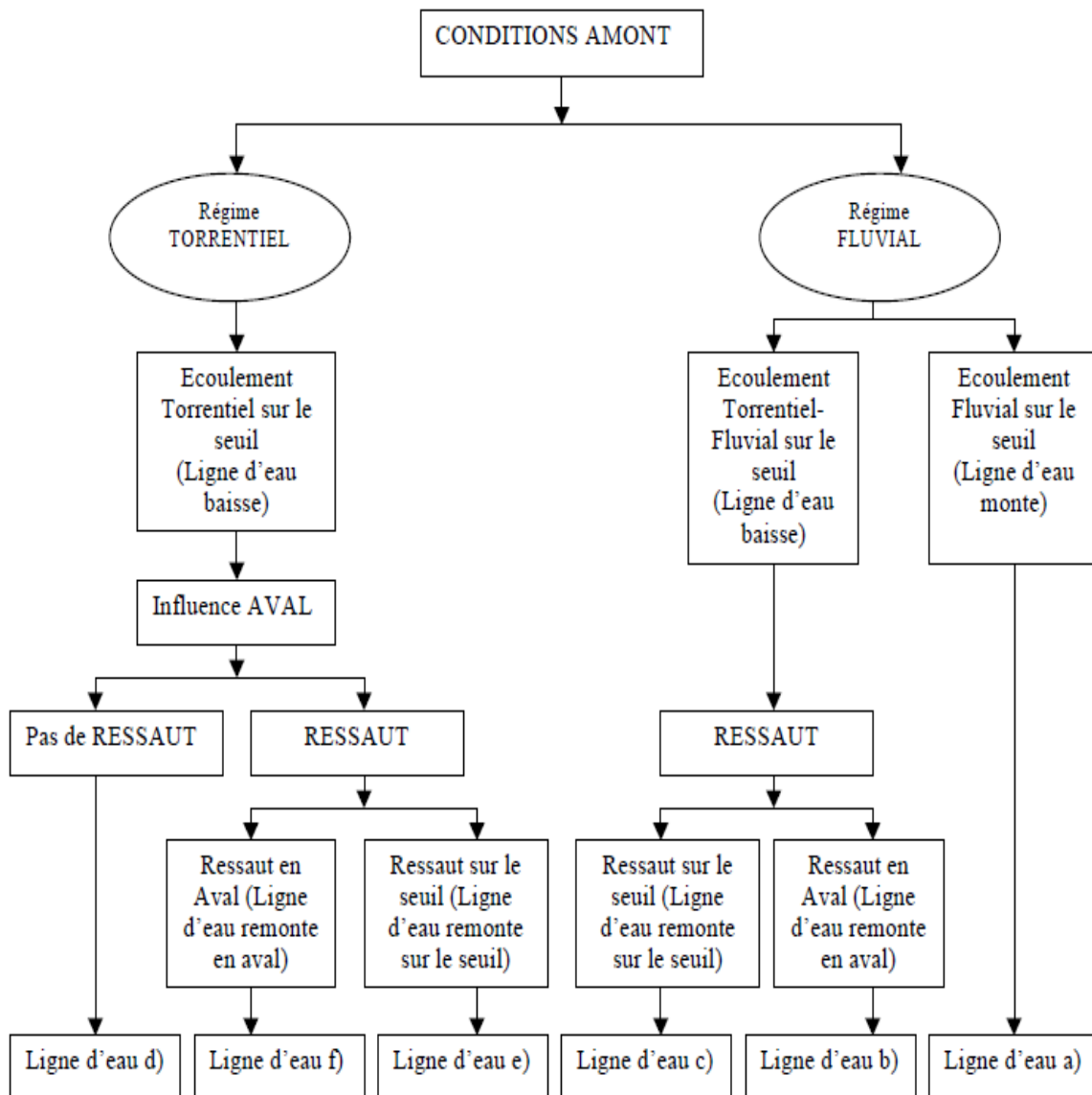


Tableau I.1 : Organigramme : les différentes possibilités de fonctionnement d'un DO

Dans le cas des déversoirs non prismatiques c'est-à-dire avec entonnement, les lignes d'eau se compliquent davantage. Afin de mesurer l'étendue de la complexité de ces lignes d'eau, Pour chaque déversoir testé (plus d'une centaine), les différentes lignes d'eau sous forme de photographie et de mesure tridimensionnelle sont regroupées sur ce support.

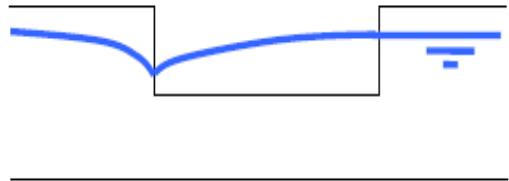
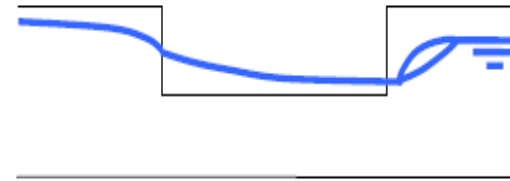
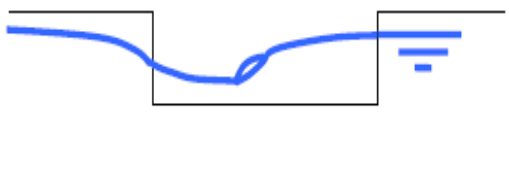
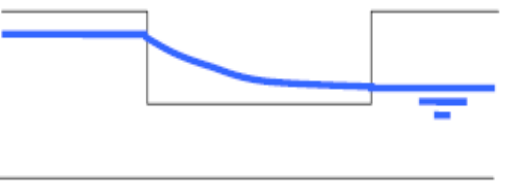
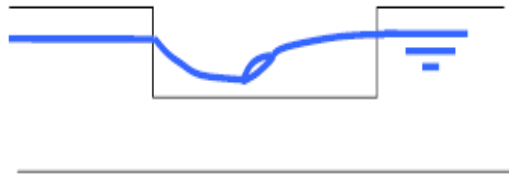
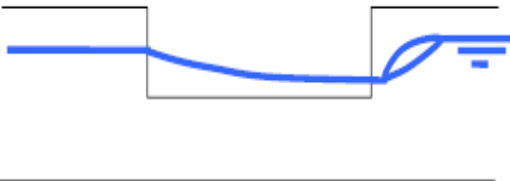
 <p>a) Ligne d'eau fluviale à l'amont et le long du seuil.</p>	 <p>b) Ligne d'eau fluviale à l'amont et torrentielle le long du seuil, avec ressaut en aval du seuil.</p>
 <p>c) Ligne d'eau fluviale à l'amont et torrentielle le long du seuil avec un ressaut sur le seuil.</p>	 <p>d) Ligne d'eau torrentielle à l'amont et torrentielle le long du seuil</p>
 <p>e) Ligne d'eau torrentielle à l'amont et sur le seuil avec ressaut sur le seuil dû à une influence aval.</p>	 <p>f) Ligne d'eau torrentielle à l'amont et tout le long du seuil avec ressaut à l'aval.</p>

Tableau I.2 : Différentes configurations de l'écoulement au droit d'un seuil long latéral

I.10. Conclusion

On conclut qu'il existe de nombreux types de déversoirs d'orage, classés selon leurs caractéristiques géométriques et surtout hydrauliques.

Cette connaissance est à la base de toute étude de modélisation de leur fonctionnement hydraulique soit pour un diagnostic ou pour un dimensionnement.

Principe de modélisation des déversoirs d'orage

II.1.Introduction

Pour décrire la réalité complexe de l'hydraulique et de la pollution en réseau d'assainissement, un important effort de développement des modèles mathématiques a été réalisé depuis trente ans.cet effort a été grandement favorisé par le développement des moyens informatiques. Ainsi, il est important de faire quelques rappels sur les modèles, les différentes approches modélisatrices et les différentes étapes à suivre . **(J.VAZQUEZ, 2013)**

II.2.La modélisation

La «modélisation » est la représentation d'un système par un modèle. C'est aussi la construction du modèle. C'est une méthode qui consiste à utiliser un modèle comme substitut de la réalité **(Ouillon, 1993)**. Ainsi, le terme modèle est souvent complété par un mot particulier. Par exemple, un modèle de déversoir peut signifier la schématisation d'un déversoir réel. Donc L'intérêt de la modélisation dans notre cas est de pouvoir prédire le dimensionnement ou le diagnostic des déversoirs d'orage à partir de la construction de la courbe de fonctionnement.

Sans intention de faire une dissertation philosophique sur les termes modélisation et modèle, nous adopterons le terme modélisation pour décrire le processus suivant duquel la réalité est étudiée comme un monde virtuel. Ce monde virtuel s'explique au travers l'exploitation des réponses issues des modèles. Le modèle est alors l'outil, la boîte, le schéma, qui permet de représenter le monde réel à travers l'abstraction, la synthétisation et/ou l'idéalisation des paramètres qui le décrivent (approches). Les modèles deviennent donc les prototypes d'un laboratoire virtuel dans lequel les modeleurs peuvent conduire diverses expériences **[Price, 1996]. (J.C.GARCIA SALAS, 2003)**

II.3.Les modèles de simulation

Les modèles mathématiques, d'une façon très générale, sont constitués :

- D'un ensemble de variables, choisis pour représenter l'objet étudié,
- D'un ensemble de relations mathématiques entre ces variables, choisies pour représenter son fonctionnement.

Ces relations, qui doivent permettre de calculer les variables de sortie en fonction des variables d'entrée, font aussi intervenir d'autres paramètres. Cette imitation recouvre deux fonctions essentielles, complémentaires et indispensables :

- L'une de représentation simplifiée de la réalité, perçue d'un certain point de vue par le modélisateur, à travers un filtre conceptuel : un modèle est donc une interprétation et non simple reproduction,
- L'autre, d'instrument d'étude de cette réalité, conçu pour répondre à un certain objectif guidant l'ensemble des choix faits au cours de la modélisation : un modèle est donc aussi une représentation orientée et sélective.

D'où le caractère doublement relatif d'un modèle, qui dépend tout à la fois de la justesse des conceptions et hypothèses sur lesquelles il repose et de l'objectif poursuivi. Ainsi, il est nécessaire, bien que cela soit trop souvent oublié, d'explicitier clairement les objectifs poursuivis, les choix, hypothèses et approximations de l'outil, et enfin définir, si c'est possible, les limites de son domaine de validité et donc définir son champ d'application.

(J.VAZQUEZ, 2013)

On distingue généralement trois grands types d'approches pour la mise au point de modèles : l'approche statistique, l'approche conceptuelle et l'approche déterministe ou mécaniste.

II.3.1.Approche statistique

On cherche à lier les différentes variables ou grandeurs du système à partir de séries de données expérimentales en utilisant des techniques statistiques telles que les régressions simples ou multiples, linéaires ou non linéaires, sans chercher à comprendre les mécanismes réellement en jeu.

II.3.2.Approche conceptuelle

On cherche à établir des relations aussi bonnes que possible entre les entrées et les sorties du système à travers un ensemble de variables d'état qui peuvent ou non, avoir un sens physique.

II.3.3.Approche mécaniste

On cherche à décrire par les équations de la mécanique, de l'hydraulique, de la chimie et de la biologie, l'ensemble des phénomènes qui se produisent dans le système considéré.

(G.LIPEME-KOUYI, 2004)

II.4.Un bref historique de la modélisation des déversoirs

Initialement, les débits déversés par l'intermédiaire des déversoirs d'orage ont été évalués à travers l'utilisation de relations empiriques. Ces équations sont toutes bâties à partir de résultats expérimentaux. On trouve par exemple les formules de Engels (1917), de Coleman and Smith (1923), de Balmaceda and Gonzales (1930) ou encore de Dominguez

(1945) qui permettent le calcul du débit déversé en fonction des valeurs de hauteur d'eau à l'amont et/ou à l'aval du déversoir. Ces relations ne sont applicables que pour certains types d'écoulement et uniquement pour certaines géométries de déversoir.

Puis, une approche plus physique initiée par Ackers en 1957 basée sur un raisonnement à énergie constante a permis de progresser dans la connaissance du comportement hydraulique du déversoir. En particulier, cette approche a permis de s'intéresser non seulement à l'évaluation du débit déversé mais également à la forme de la ligne d'eau sur la crête du déversoir. Malheureusement, comme le montre l'étude d'El Kashab en 1975, cette méthode tombe en défaut dans certains cas car les équations s'avèrent inadaptées. Par exemple dans le cas de l'apparition, dans l'ouvrage, d'un ressaut hydraulique (donc lieu de dissipation d'énergie), l'approche à énergie constante ne peut plus être appliquée.

Dans ce qui suit, on présente le modèle 1D réalisée par Marc BUYER et José VAZQUEZ en basant sur la résolution du système d'équations de Barré de Saint Venant et de la relation de Hager.

Pour notre cas on s'intéresse à la modélisation unidirectionnelle 1D à l'aide du logiciel calDO

II.5.Présentation du logiciel calDO

Ce logiciel, est mis au point conjointement par l'ENGEES et Anjou Recherche – Veolia Water, a pour objectif de fournir des ordres de grandeur concernant le fonctionnement et le diagnostic hydraulique des déversoirs d'orage dits à seuils latéraux.

Le comportement hydraulique des déversoirs d'orage latéraux est le plus souvent marqué par une évolution discontinue de la ligne d'eau caractérisée par le ressaut hydraulique (Torrentiel/fluvial) et, dans certains cas, par une évolution rapidement variée causée par un écoulement également transcritique mais dans le sens fluvial/Torrentiel.

Concernant les modèles actuels, ils ne permettent pas de simuler le comportement en transitoire de ce type d'ouvrage. Compte tenu de cela, le groupement l'ENGEES et Anjou Recherche – Veolia Water ont modélisé l'ouvrage par les équations de Barré de Saint Venant écrite sous forme conservative en régime transitoire et couplée au modèle de déversoir de Hager. Le caractère conservatif de ces équations permet de transcrire dans un seul système d'équations les écoulements graduellement et rapidement variés. Afin de résoudre ces équations, ils ont utilisé le schéma numérique UPWIND à « capture de choc » du second

ordre du type TVD (Total Variation Diminishing) utilisant le solveur de Roe. (J.VAZQUEZ, 2006)

II.6. Les équations de Barré de Saint-Venant

Les équations de Saint-Venant sont issues de deux principes fondamentaux de la mécanique classique, et ne possèdent pas de solution analytique. Si la résolution numérique des équations de Saint-Venant n'est pas aisée dans le cas d'un tronçon sans apport latéral (entrant ou sortant), elle devient encore plus délicate avec un apport latéral (voir terme $Q_{dév}$ dans les équations qui suivent).

Les principes sont les suivants :

- le principe de conservation de la masse : $\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = Q_{dév}$
- le principe de conservation de la quantité de mouvement :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\frac{Q^2}{A} + g \cdot I_1 \right)}{\partial x} = g I_2 + g \cdot A (S_0 - S_f) + \frac{Q \cdot Q_{dév}}{A}$$

Avec :

Q : débit à l'abscisse x,

A : section mouillée à l'abscisse x,

I_1 : terme de pression hydrostatique,

I_2 : terme de la force de pression,

S : frottements,

g : gravité,

x : abscisse,

S_0 : Pente du déversoir,

$Q_{dév}$: débit déversé par unité de longueur.

De manière plus précise :

S_f : Correspond aux pertes de charges dues aux frottements sur les parois du collecteur. Sa valeur est obtenue par des relations de nature empiriques dont la plus utilisée est la relation de Manning-Strickler donnée par :

$$S_f = \frac{Q^2 n^2}{A^2 R_h^{\frac{4}{3}}} \quad \left(\text{Écrire plus couramment sous la forme } V = K_s \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot S_f^{\frac{1}{2}} \right)$$

Avec :

n : coefficient de Manning,

R_h : rayon hydraulique

Et $Q_{dév} = \frac{dQ}{dx}$: la variation de débit dans la direction longitudinale.

Ainsi que la montre les équations ci-dessus, le système d'équation utilise $Q_{dév}$, qui va être évalué par l'équation de Hager décrite ci-après.

II.7.L'équation de Hager

Les travaux de Hager, ont notamment permis d'étendre la formule générale de Poléni qui a été bâtie pour les déversoirs frontaux. Ainsi, prenant en compte les effets du déversement latéral, Hager introduit différents coefficients traduisant l'effet de :

- la pente de fond du déversoir,
- la vitesse latérale (u),
- la direction de la vitesse latérale (Φ),
- l'effet d'un entonnement éventuel dans le déversoir.

Ainsi, la loi de déversement générale de Poléni a été réécrite sous la forme :

$$\frac{dQ}{dx} = \frac{-3}{5} n^2 c \sqrt{gH^3} (y-W)^{\frac{3}{2}} \times \omega_u \times \omega_\phi$$

Avec :

c : Coefficient de forme du déversoir (c=1 dans le cas ou le déversoir a une paroi mince). Pour d'autres formes de déversoirs (seuil épais, crête arrondie), c est défini en fonction de la géométrie de la crête,

H : Energie spécifique,

n^* : $n^*=1$ pour une crête déversante et 2 pour deux crêtes déversantes,

h : tirant d'eau,

w : hauteur de crête,

$y = \frac{h}{H}$: Variable adimensionnelle de hauteur d'eau,

$W = \frac{w}{H}$: Variable adimensionnelle de hauteur de crête,

ω_u : Terme correctif à la loi de Poléni associé à la vitesse latérale,

ω_\varnothing : Terme correctif à la loi de Poléni associé à la direction de la vitesse latérale, à un éventuel entonnement et à la pente de fond du déversoir

L'équation de Hager sous sa forme finale avec l'expression de $Q_{dév}$ (débit sortant par unité de longueur) est alors la suivante :

$$Q_{dév} = \frac{dQ}{dX} = \frac{-3}{5} n^i c \sqrt{gH^3} (y-W)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{1-W}{3-2y-W} \right)^{\frac{1}{2}} \left[1 - (\theta + S_0) \left(\frac{3(1-y)}{y-W} \right)^{\frac{1}{2}} \right]$$

II.8. La résolution du système d'équations St Venant & Hager

Ne pouvant pas être résolu analytiquement, de nombreuses méthodes numériques ont été développées pour résoudre ces équations. On citera, la méthode des caractéristiques et les méthodes aux différences finies. Malheureusement celles-ci tombent en défaut lorsqu'apparaissent des discontinuités du type ressaut hydraulique ou encore des changements de régime d'écoulement (Nombre de Froude proche de 1). Depuis les années 80 des schémas numériques dits à « capture de chocs » ont été mis au point. Ils sont issus du couplage d'une interpolation à diminution de variation totale (TVD) avec un solveur du problème de Riemann approprié. L'initiateur de ce type de schéma numérique est Godunov qui en 1959 mit au point le premier schéma numérique aux volumes finis.

L'algorithme de résolution retenu dans CalDo, met en œuvre un schéma numérique aux volumes finis explicite de type TVD (Total Variation Diminishing) capable de prendre en compte et de localiser correctement les discontinuités en régime transitoire. Les résultats obtenus grâce au modèle numérique sont finalement comparés à des valeurs expérimentales relevées sur un banc d'essai physique de déversoir.

II.9. Les principaux phénomènes simulés

Ce code de calcul prend en compte le fonctionnement hydraulique du déversoir dans son environnement. En effet, les conduites et particulièrement les pentes amont et aval jouent un rôle déterminant dans le fonctionnement de l'ouvrage. L'une des particularités hydrauliques est que le ressaut hydraulique (brusque élévation du niveau d'eau) est très fréquent. Pour cela, on utilise une technique de calcul appropriée à ce phénomène.

Le logiciel CalDO permet de simuler le fonctionnement d'une entité comprenant au plus deux conduites amont en série, un déversoir d'orage, une vanne en aval immédiat du déversoir et au plus deux conduites en série en aval du déversoir.

Le déversoir lui-même est de type latéral, avec au plus deux seuils latéraux identiques (gauche et droit) qui peuvent être courts ou longs, hauts ou bas, avec ou sans entonnement.

II.9.1. Les principaux phénomènes simulés sont les suivants

- la propagation des débits dans l'entité par la résolution des équations de Barrée de Saint Venant,
- le calcul des débits déversés au droit du ou des seuils par le couplage des équations de Barrée de Saint Venant et d'une équation locale de déversoir latéral déterminée par Hager
- la prise en compte des phénomènes de mise en charge et des phénomènes d'influence aval due à la vanne.

II.10. Les principales originalités de CalDo

L'outil CalDo se distingue notamment par les originalités suivantes :

- La possibilité de reproduire par le calcul des changements de régime hydraulique et donc du ressaut hydraulique, qu'ils se produisent dans les conduites ou dans le déversoir,
- La possibilité de prendre en compte l'entonnement, c'est à dire la diminution de la section le long du déversoir. Cette contraction est caractérisée par l'angle d'inclinaison de la crête par rapport à la conduite amont,
- La possibilité de traiter les ouvrages à seuil bas ou haut
- **En cas de crête basse**, la hauteur de crête ($H_{crête}$) est inférieure à la hauteur de la conduite aval (H_{aval}) et donc la conduite aval est généralement à surface libre lors d'un déversement.
- **En cas de crête haute**, la hauteur de crête ($H_{crête}$) est supérieure à la hauteur de la conduite aval (H_{aval}) et donc la conduite aval est généralement en charge lors d'un déversement.
- La prise en compte des mises en charge des conduites amont et aval, cas particulièrement fréquent pour des seuils haut.
- La prise en compte d'une vanne à l'aval de la crête et donc de son influence potentielle sur l'écoulement
- La prise en compte de l'inclinaison de la crête et du radier par rapport à l'horizontale (et donc pouvant être différentes des pentes amont ou aval par exemple).

- La prise en compte d'une ou de deux crêtes déversantes identiques, symétriques par rapport à l'axe du déversoir,

II.11. Les limites de la version actuelle de CalDO

En plus des limites inhérentes aux équations utilisées et à leur résolution mathématique, il est important de noter les limites actuelles de la version courante du logiciel:

- Angle d'entonnement : La valeur limite de validité dans les tests effectués (validation par rapport à des mesures expérimentales) à ce jour de cet angle est de 20° (cette limite n'est pas bridée dans le mode de saisie),
- La forme de la cunette du déversoir est celle de la section du tronçon juste en amont du déversoir : les seules exceptions sont les cas des tronçons circulaires, ovoïdes et fer à cheval pour lesquels la cunette aura une section en U avec des caractéristiques équivalentes,
- Mis à part la vanne en aval, aucune perte de charge locale due à un changement de direction n'est calculée entre les différents éléments constitutifs du déversoir, ce qui revient à considérer tous ces éléments comme « alignés » donc sans prise en compte de changement de direction du type coude,
- La conduite dite de « décharge » ou « déversée » n'est pas prise en compte et donc une éventuelle influence aval sur cette conduite (du type influence du niveau de la rivière) n'est donc pas prise en compte,
- L'ouverture minimale de la vanne est limitée à 5 cm, pour des raisons de stabilité de calcul,
- L'outil calcule le régime permanent d'un cas,
- En cas de calcul d'un déversoir à crête double, les seuils sont symétriques par rapport à l'axe du déversoir et les seuils ont la même hauteur,
- La précision des résultats calculés par CalDO est celle correspondant à la validation de l'outil réalisée sur un pilote en laboratoire,
- La ligne d'eau est calculée au centre de la cunette du déversoir et non au droit de la crête (voir figure ci-après).

En plus des limites dues aux algorithmes, le choix a également été fait de brider la saisie d'un certain nombre d'informations comme :

- Les dimensions des conduites sont comprises entre 10 cm et 5 m pour l'amont du déversoir et entre 10 cm et 5 m pour l'aval du déversoir,
- Les pentes des canalisations sont limitées entre -30 et +30% avec un avertissement sur la validité pour les pentes supérieures à 5%,
- La rugosité au sens Manning Strickler est limitée aux valeurs comprises entre 20 et 150,

- La longueur des canalisations est comprise entre 1 et 100 m,
- La hauteur de crête est donnée à l'amont du déversoir et est strictement supérieure à 0 et inférieure à 5 m,
- La pente de la crête est comprise entre -45% et +45%,
- La longueur du déversoir est comprise entre 10 cm et 30 m.

II.12. La mise au point de CalDo

CalDo s'appuie sur la résolution du système d'équations de Barré de Saint Venant et de la relation de Hager (cas d'un déversoir de type latéral) par le biais d'un schéma numérique aux volumes finis explicite de type TVD (Total Variation Diminishing), seul capable de prendre en compte et de localiser correctement les discontinuités en régime transitoire.

Les résultats du logiciel CalDo ont été validés à l'aide d'un pilote de laboratoire de déversoir mis en place au L.E.G.T.A. d'Obernai et les principales conclusions sont les suivantes :

- les erreurs maximales varient de -10 à 13% avec une majorité des cas entre -5 et +5%. Cela indique que les performances de l'outil sont très intéressantes sur des cas aussi complexes que les déversoirs de type latéraux,

II.13. Conclusion

Il existe une bibliographie importante sur la modélisation des déversoirs d'orage. La plupart des auteurs se sont intéressés à la modélisation 1D ; les variables sont la hauteur d'eau et le débit. Dans le cas des déversoirs latéraux simples, des outils récents tels que « CalDO », permettent d'accéder aux grandeurs hydrauliques.

Application de modélisation avec le logiciel «calDO»

Introduction

Dans ce chapitre, nous entamons l'évaluation du fonctionnement du déversoir d'orage de Ben Aknoun en appliquant la méthodologie précédente, en vue d'un diagnostic de ces ouvrages, ce chapitre sera finalisé par une interprétation et une discussion des résultats obtenus.

IV.1 .Présentation du déversoir d'orage de Ben Aknoun

Notre déversoir d'orage se situe à l'intérieur de parc zoologique de Ben Aknoun ; c'est le point de rejet en amont du bassin de l'oued Karma tel que les rejets proviennent de la commune de Ben Aknoun, de Haouch Chaouch, de la cité 1800 logements d'El Achour et du collecteur de Sebbala. Ces rejets se raccordent (en collecteur \varnothing 1000 et \varnothing 600) au monolithe (2x2) par une traversée (au niveau de la direction du parc) Ce monolithe est prolongé jusqu'au rejet par un déversoir d'orage. L'excès d'eaux pluviales est rejeté dans l'oued, et les eaux usées sont raccordées au collecteur 1200 mm avec un tronçon de 350 m en aval du déversoir d'orage. De ce fait, les eaux usées ne sont plus rejetées dans l'oued à ce niveau. **(Figure VI.1)**

Figure IV.1 : Déversoir d'orages (2x2m) à la sortie du parc d'attraction



Figure VI.2 : DVO de Ben Aknoun (Parc zoologique en temps de pluie)

Les dimensions du déversoir d'orage sont comme suit :

Longueur d'ouverture	Hauteur	Hauteur de Seuil	Longueur de Seuil
2 m	2 m	0.38 m	4.5m

VI .2.Caractéristiques du déversoir d'orage

Notre déversoir d'orage est de type latéral, le seuil dans ce cas est rectiligne et parallèle à l'écoulement ;

On a un seuil court car le rapport entre sa longueur et le diamètre de la conduite amont est inférieur à 3 et dans ce cas un ressaut hydraulique se crée sur la partie aval du déversoir.

Le déversoir d'orage de Ben Aknoun est dit à seuil bas car le niveau du seuil déversant se situe sous le niveau de la génératrice supérieure de la conduite aval.

IV.3.Application de la modélisation

IV.3.1.Description de l'ouvrage (insertion des données)

Conduite Amont

- Nombre de conduite amont : **1**
- Type de conduite : **rectangulaire**
- Hauteur : **2 m**
- Largeur : **2 m**
- Rugosité (au sens Strickler.) : **70**
- Longueur de la conduite (en m) : **30 m**
- Pente de la conduite (en %) : **0.5 %**

Déversoir

- Hauteur de crête à l'amont du déversoir : **0.38 mm**

- Pente de la crête : **0.0%**
- Pente du radier : **0.3%**
- Rugosité (au sens Strickler) : **70**
- Longueur de la crête (en m) : **4.5 m**
- Nombre de crêtes déversantes : **1**
- Présence d'une vanne à l'aval de la crête. : **non**

Conduite Aval

- Nombre de conduite aval : **1**
- Type de conduite : **circulaire**
- Diamètre/Hauteur : **1.2 mm**
- Rugosité (au sens Strickler.) : **70**
- Longueur de la conduite (en m) : **30 m**
- Pente de la conduite (en %) : **0.3%**

Sa représentation graphique sous CalDo est proposée en **Figure VI.3**

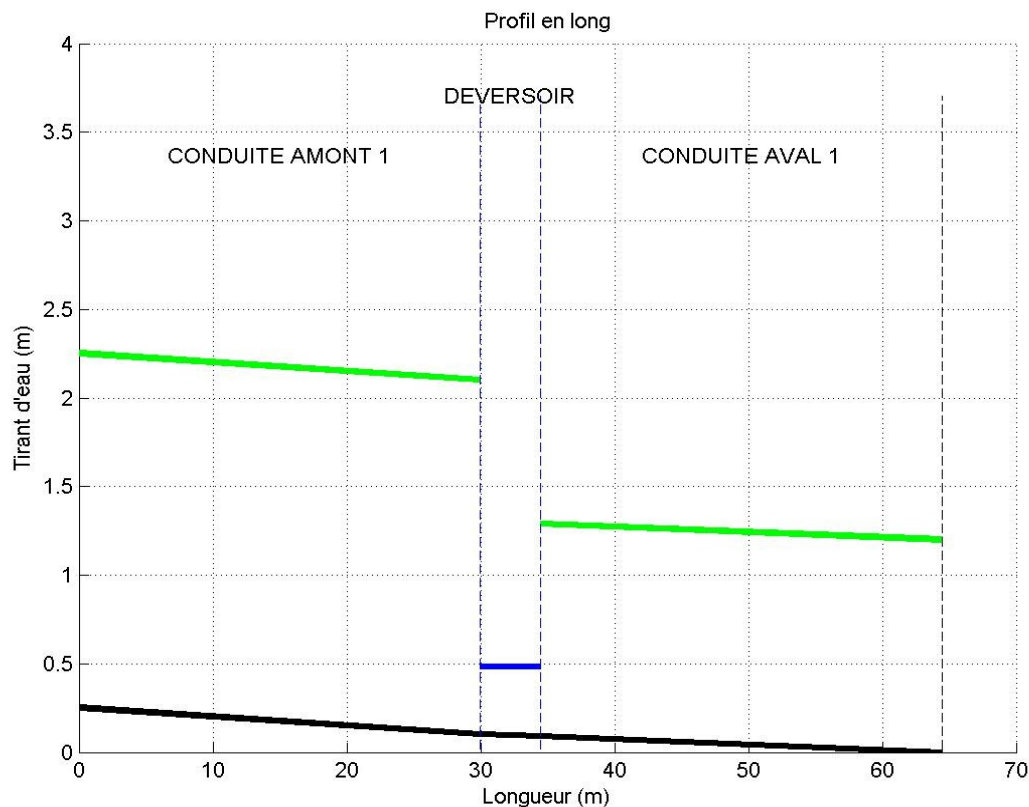


Figure VI.3: Représentation graphique du déversoir.

IV.3.2 Diagnostic avant calcul

Le résultat du diagnostic avant calcul est proposé en **Figure IV.4**. Les informations fournies sont les suivantes :

- Débit maximum à pleine section dans la conduite amont : 15109 l/s

- Débit maximum à pleine section dans la conduite aval : 1943.2 l/s
- Le déversoir est à crête basse, courte et sans entonnement car la hauteur de crête (Hcrête) est inférieure à la hauteur de la conduite aval (Haval) et donc la conduite aval est généralement à surface libre lors d'un déversement.
- En dessous de 50% du débit maximum dans la conduite amont, le régime sera torrentiel et donc sans influence aval au régime permanent et uniforme.
- La conduite aval sera toujours en régime fluvial.

L'analyse suivante peut alors être proposée :

- du fait des régimes hydrauliques, il existe une forte probabilité d'apparition d'un ressaut hydraulique, mais il est impossible de le localiser à priori,
- de la remarque précédente, il est probable que la ligne d'eau descende à partir de l'amont du déversoir, puis remonte brusquement à un endroit de l'ouvrage (déversoir sans entonnement),
- si on sait qu'au-dessus de 1943.2 l/s l'ouvrage a de fortes chances de déverser, on ne peut connaître à priori son débit de référence,
- afin d'évaluer correctement le débit déversé, une instrumentation classique avec mesure de hauteur d'eau en amont, ou à l'aval du seuil présente une forte probabilité de ne pas être suffisante. En effet, pour l'amont, si la ligne d'eau descend, on pourra seulement détecter un déversement lors de débits importants et pas du tout avec des débits plus faibles. Pour l'aval, si on sera apte à détecter un déversement, il y a de fortes probabilités de se trouver proche d'un ressaut hydraulique, qui ne sera pas suffisante pour évaluer correctement le débit déversé,

D'où nous avons mené différents calculs avec CalDo pour avoir plus de précision et afin de modéliser pour différents débits amont le débit déversé

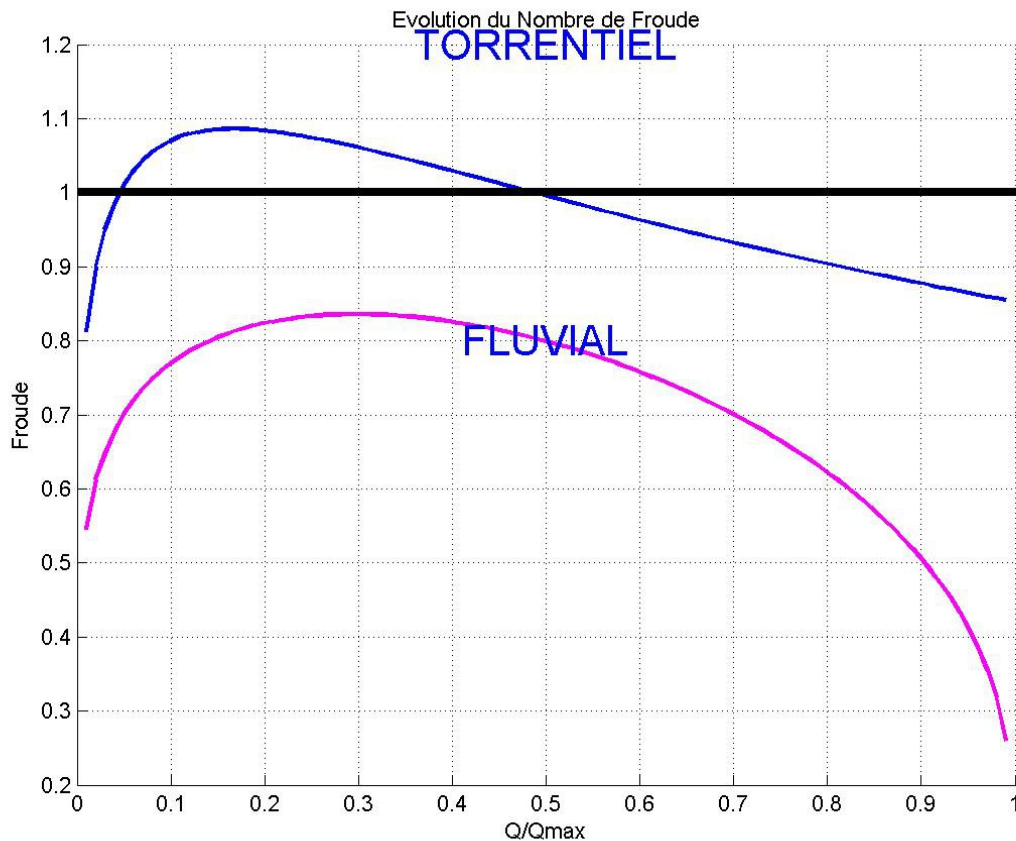


Figure IV.4 : Diagnostic avant calcul

IV.3.2. Calcul pour quelques débits amont

D'après l'étude d'aménagement de l'oued KARMA, nous avons les données de différents débits évacués par le déversoir d'orage de Ben Aknoun montré en **annexe N° 01**

Ils ont estimés les rejets en eaux usées, ainsi que les eaux parasites (10%)

Et en temps de pluie le débit évacué sera égale au double du débit de pointe en temps sec ($2 Q_{Ts}$).

Un premier calcul avec un débit d'entrée de 344.7 l/s c'est le débit minimal évacué par le déversoir d'orage de Ben Aknoun (débit en temps sec) (soit environ 4% du débit maximal amont) fourni le résultat proposé sur la figure suivante. L'ouvrage ne déverse pas (la ligne d'eau ne dépasse pas la hauteur de crête) d'où le débit d'eaux usées en temps sec est acheminé vers la station d'épuration par la conduite aval, donc le fonctionnement de notre déversoir d'orage en temps sec est optimal.

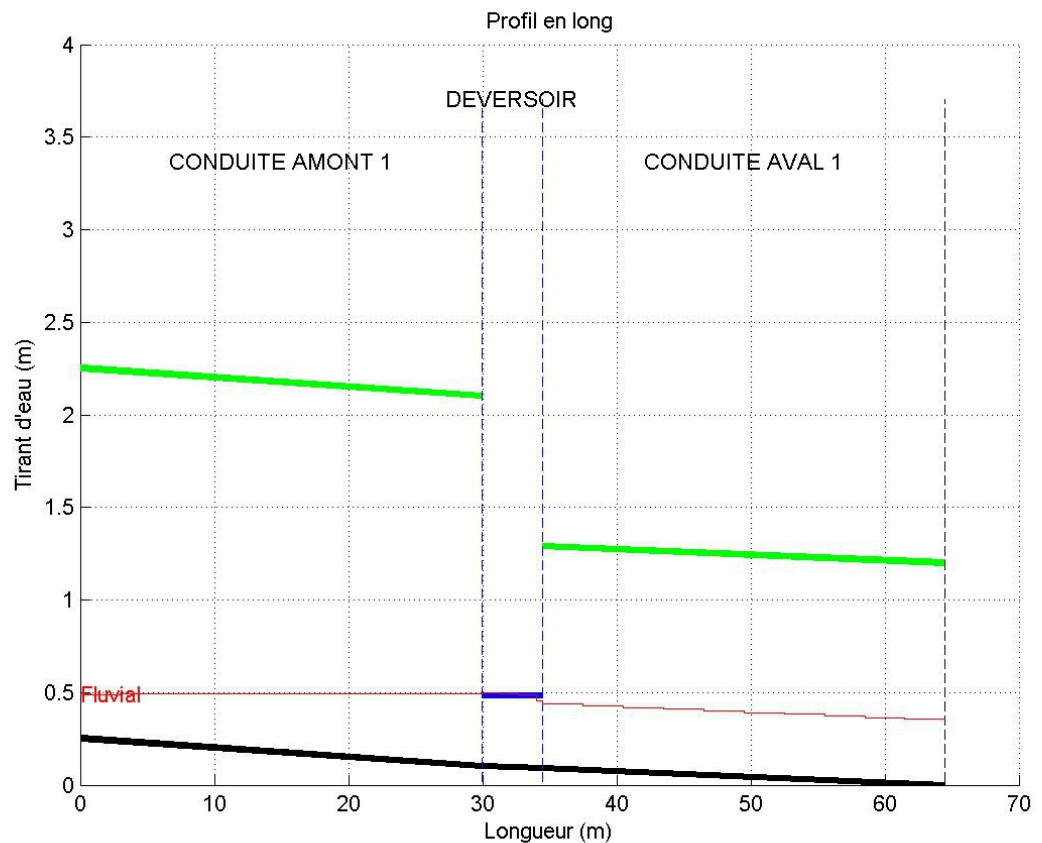


Figure IV.5 : Calcul avec $Q_{amont} = 344.7$ l/s

D'après le graphique d'évolution de la vitesse on remarque une diminution de la vitesse d'écoulement au niveau de la conduite aval et après une augmentation au niveau du déversoir et à la fin la vitesse reste constante au niveau de la conduite aval ce qui confirme un écoulement permanent et uniforme le long de la conduite aval (**Figure IV.6**)

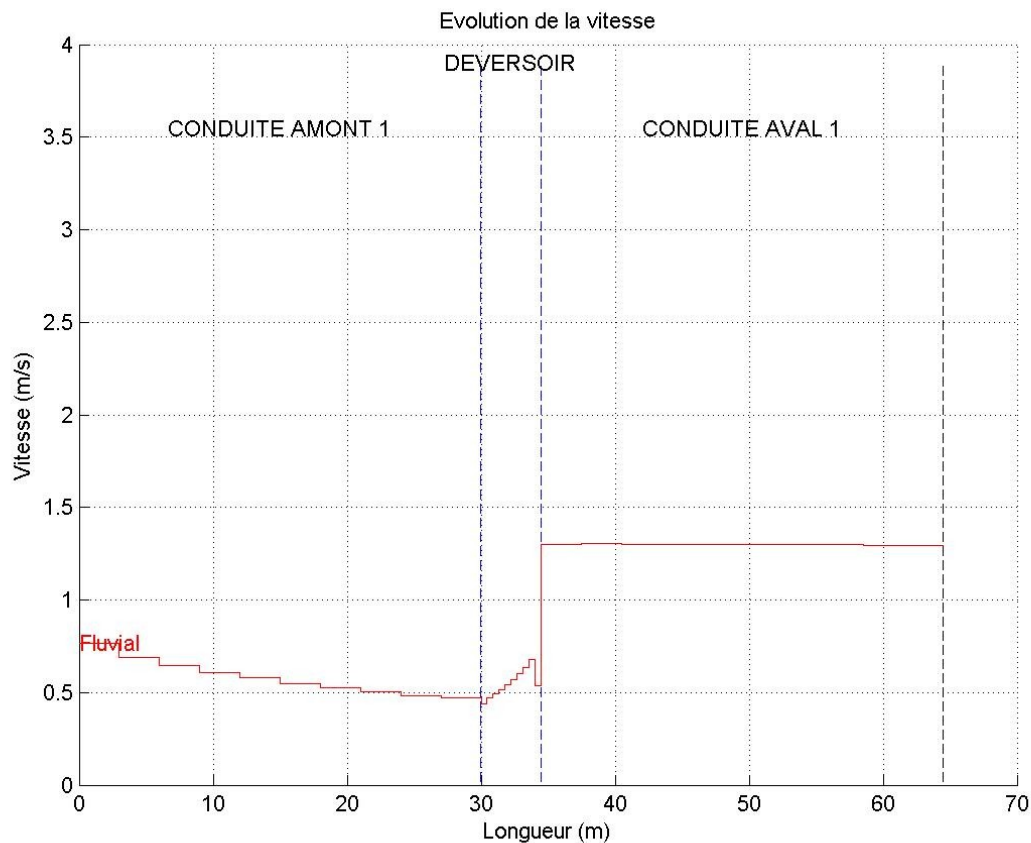


Figure IV.6: évolution de la vitesse (Q=344.7l/s)

Tableau IV.1 : Détail des résultats pour Qamont=344.7l/s

Numéro	Débit amont (l/s)	Débit aval (l/s)	Débit déversé (l/s)	Erreur de convergence (%)	Nombre d'itérations
1	344.7	344.6	0.1	10	1319
x	Radier(m)	Haut de la conduite et DO (m)	Tirant d'eau(m)	Débit (l/s)	Vitesse (m/s)
3	0.253	2.253	0.489	360.4	0.77
6	0.238	2.238	0.494	350.8	0.69
9	0.223	2.223	0.494	349.5	0.65
12	0.208	2.208	0.495	348.9	0.61
15	0.193	2.193	0.495	348.4	0.58
18	0.178	2.178	0.495	348	0.55
21	0.163	2.163	0.495	347.7	0.52
24	0.148	2.148	0.495	347.8	0.5
27	0.133	2.133	0.495	349	0.48
30	0.118	2.118	0.493	355.4	0.47
30.45	0.117	0.498	0.5	329.1	0.44
30.9	0.116	0.498	0.497	339.4	0.47

31.35	0.114	0.498	0.496	338.4	0.49
31.8	0.113	0.498	0.495	339.3	0.52
32.25	0.112	0.498	0.493	338.8	0.54
32.7	0.11	0.498	0.491	338.9	0.57
33.15	0.109	0.498	0.489	338.9	0.6
33.6	0.108	0.498	0.486	336.4	0.63
34.05	0.106	0.498	0.486	339	0.68
34.5	0.105	0.498	0.456	234.6	0.54
37.5	0.096	1.296	0.436	343.3	1.3
40.5	0.087	1.287	0.427	343.2	1.3
43.5	0.078	1.278	0.418	343	1.3
46.5	0.069	1.269	0.409	342.7	1.3
49.5	0.06	1.26	0.4	342.5	1.3
52.5	0.051	1.251	0.391	342.3	1.3
55.5	0.042	1.242	0.382	342.1	1.3
58.5	0.033	1.233	0.373	341.9	1.3
61.5	0.024	1.224	0.364	341.7	1.3
64.5	0.015	1.215	0.355	341.4	1.29

Un deuxième calcul avec un débit d'entrée de 758.3 l/s, c'est le débit rejeté par la commune de Ben Aknoun en temps de pluie (débit d'eau usées + le débit d'eau pluviale) (soit environ 5% du débit maximal amont) avec les mêmes critères de précisions que le premier calcul fourni le résultat proposé sur la **Figure IV.7**.

On remarque que le régime d'écoulement est fluvial le long de la conduite amont jusqu'à la conduite aval en passant par le déversoir d'orage, avec une petite élévation de niveau d'eau au niveau du seuil déversant ($H_{dév}$)

On remarque aussi une augmentation de débit par unité de longueur le long du seuil avec un déversement tout au long du seuil. Dans ce cas, le débit conservé est 544 l/s et le débit déversé est 214 l/s, soit 28% du débit amont.

On peut conclure que le fonctionnement de notre déversoir d'orage en temps de pluie est satisfaisant, mais on remarque que le déversement commence à partir d'un débit moins important par rapport au débit maximum à pleine section de la conduite aval; d'où on constate que la hauteur de seuil déversant est un peu sousdimensionné, d'où une pollution déversée plus importante pendant la reprise des dépôts.

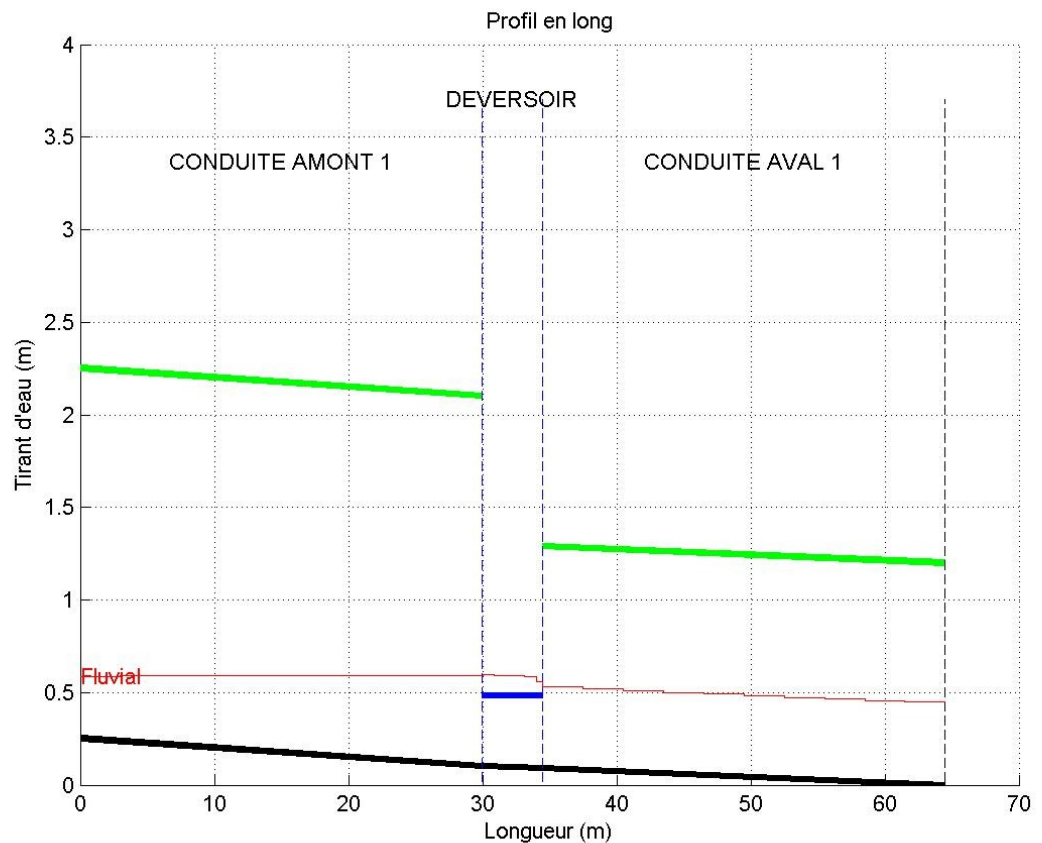


Figure IV.7 : Calcul avec $Q_{amont} = 758.3$ l/s

D'après le graphique de l'évolution de vitesse (**Figure IV.8**), on remarque une diminution de la vitesse par unité de longueur de l'amont jusqu'au déversoir d'orage et après elle devient constante le long de la conduite aval (écoulement permanent et uniforme) ce qui entraîne la possibilité de dépôt des particules mise en mouvement.

Mais nous un risque de surverse même par temps sec à cause des remous dus à des dépôts car on a un déversoir à seuil bas.

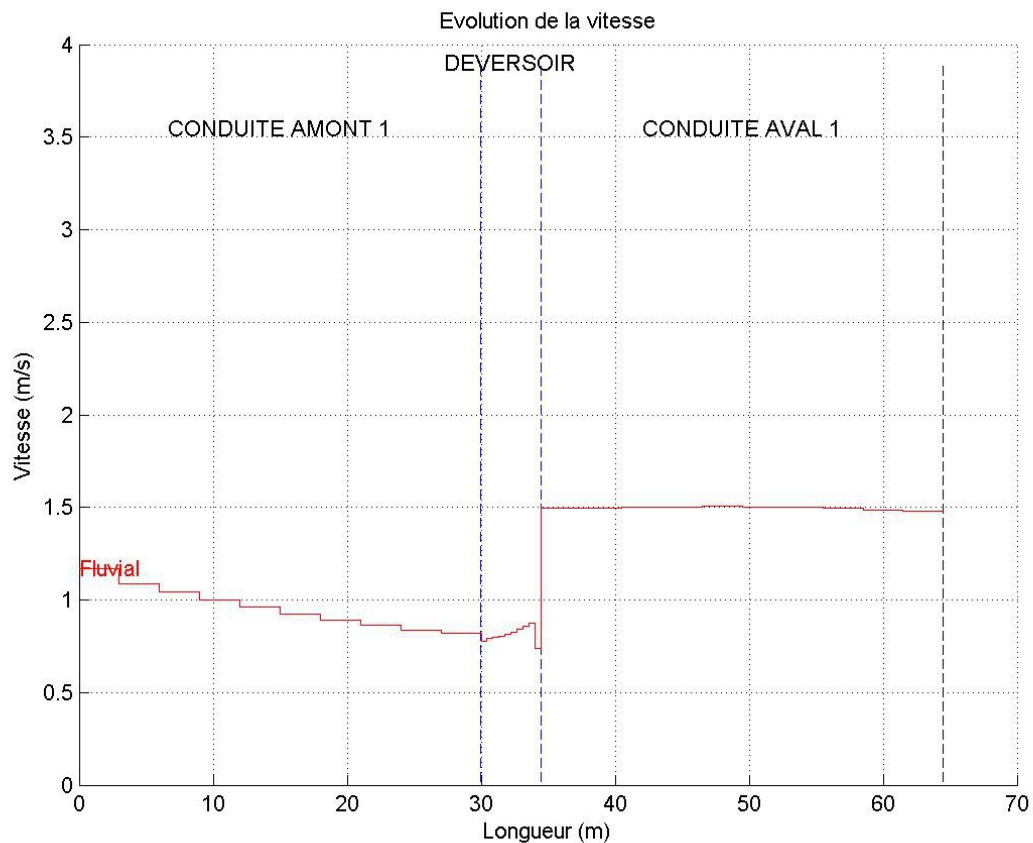


Figure IV.8 : Evolution de la vitesse ($Q_{\text{amont}}=758.3 \text{ l/s}$)

D'après le graphique d'évolution du débit (**Figure IV.9**), on remarque une diminution du débit au niveau du déversoir (une quantité de débit est déversé) et après le débit reste presque constant le long de la conduite aval (**Tableau IV.2**), d'où notre déversoir est fonctionnel car son rôle principale est de régulariser le débit entrant à la station d'épuration ou une station de traitement.

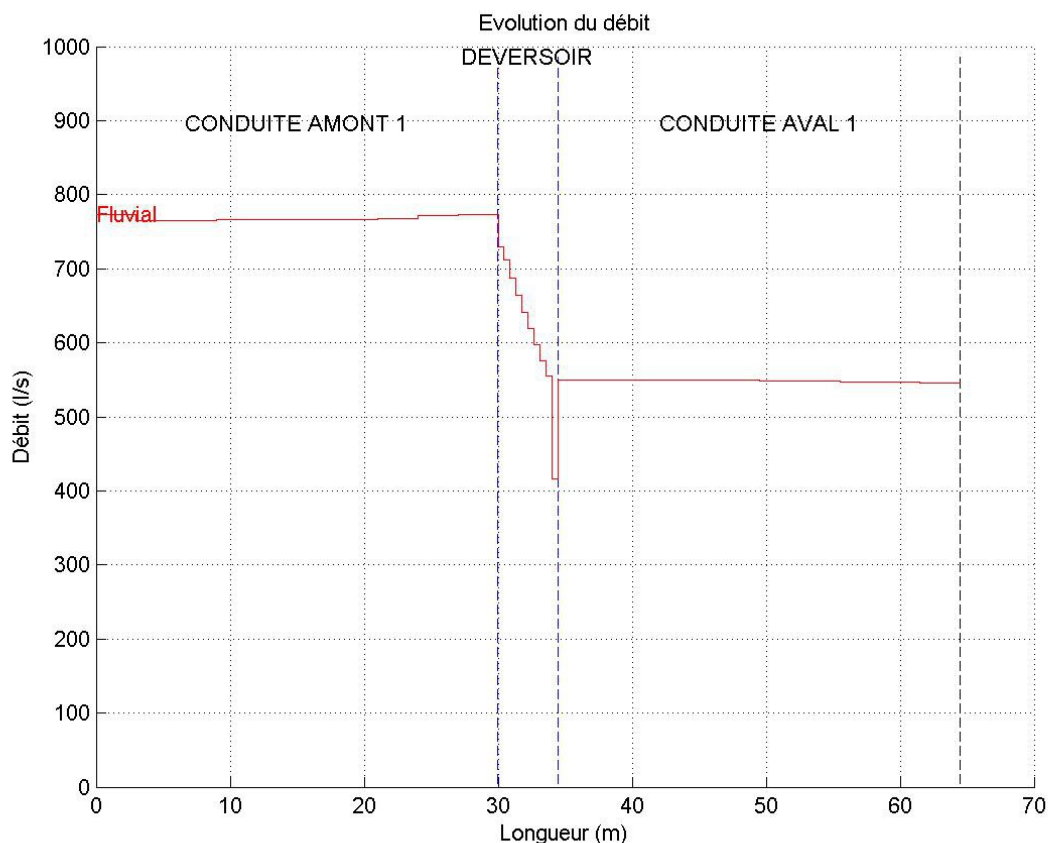


Figure IV.9: évolution du débit ($Q_{\text{amont}}=758.3$ l/s)

Tableau IV.2 : détail des résultats pour $Q_{\text{amont}} = 758.3$ l/s

Numéro	Débit amont (l/s)	Débit aval (l/s)	Débit déversé (l/s)	Erreur de convergence (%)	Nombre d'itérations
2	758.3	544.1	214.2	10	615
x	Radier(m)	Haut de la conduite et DO (m)	Tirant d'eau(m)	Débit (l/s)	Vitesse (m/s)
3	0.253	2.253	0.584	773	1.17
6	0.238	2.238	0.59	765.6	1.09
9	0.223	2.223	0.591	765.5	1.04
12	0.208	2.208	0.592	765.8	1
15	0.193	2.193	0.592	766.1	0.96
18	0.178	2.178	0.593	766.4	0.92
21	0.163	2.163	0.594	766.9	0.89
24	0.148	2.148	0.594	767.8	0.86
27	0.133	2.133	0.594	772	0.84
30	0.118	2.118	0.591	772.8	0.82
30.45	0.117	0.498	0.596	729.2	0.78
30.9	0.116	0.498	0.594	711.6	0.79

31.35	0.114	0.498	0.594	686.8	0.8
31.8	0.113	0.498	0.593	664.3	0.81
32.25	0.112	0.498	0.592	641	0.81
32.7	0.11	0.498	0.59	618.9	0.83
33.15	0.109	0.498	0.589	597	0.84
33.6	0.108	0.498	0.587	575.1	0.86
34.05	0.106	0.498	0.587	555.5	0.88
34.5	0.105	0.498	0.559	416	0.74
37.5	0.096	1.296	0.529	549.9	1.49
40.5	0.087	1.287	0.52	549.8	1.5
43.5	0.078	1.278	0.51	549.8	1.5
46.5	0.069	1.269	0.5	549.5	1.5
49.5	0.06	1.26	0.491	549.1	1.5
52.5	0.051	1.251	0.482	548.7	1.5
55.5	0.042	1.242	0.473	548.1	1.5
58.5	0.033	1.233	0.465	547.3	1.49
61.5	0.024	1.224	0.457	546.6	1.48
64.5	0.015	1.215	0.449	545.9	1.48

IV.3.4. Construction de la courbe de fonctionnement

Les résultats du calcul qui nous a permis de tracer la courbe de fonctionnement de déversoir d'orage de Ben Aknoun (**Figure IV.10**) sont présentés sur **Tableau IV.3**

Les analyses complémentaires suivantes peuvent alors être proposées :

- le débit de référence est de 401 l/s, donc à partir de ce débit l'ouvrage commence à déverser.
- la courbe de fonctionnement étant assez éloignée de la courbe théorique, la fonction de limitation du débit aval de cet ouvrage n'est pas optimale,

Tableau IV.3 : synthèse des résultats

Numéro	Débit amont (l/s)	Débit aval (l/s)	Débit déversé (l/s)	Erreur de convergence (%)	Nombre d'itérations	Précision sur la ligne d'eau
1	344.7	344.6	0.1	10	1319	moyenne : 10 cellules par conduite
2	758.3	544.1	214.2	10	615	moyenne : 10 cellules par conduite
3	4000	1848.8	2151.2	9.9	517	moyenne : 10 cellules par conduite
4	5000	2067.2	2932.8	9.9	610	moyenne : 10 cellules par conduite
5	6000	2497.3	3502.7	10	722	moyenne : 10 cellules par conduite
6	1000	641.2	358.8	9.9	672	moyenne : 10 cellules par conduite
7	1500	849.3	650.7	10	823	moyenne : 10 cellules par conduite
8	2000	964.2	1035.8	10	301	moyenne : 10 cellules par conduite
9	2500	1207.5	1292.5	10	406	moyenne : 10 cellules par conduite
10	3000	1409.6	1590.4	10	419	moyenne : 10 cellules par conduite
11	3500	1681.6	1818.4	9.9	303	moyenne : 10 cellules par conduite
12	4500	2036	2464	9.9	755	moyenne : 10 cellules par conduite
13	5500	2222.6	3277.4	10	844	moyenne : 10 cellules par conduite
14	500	434.8	65.2	9.9	782	moyenne : 10 cellules par conduite

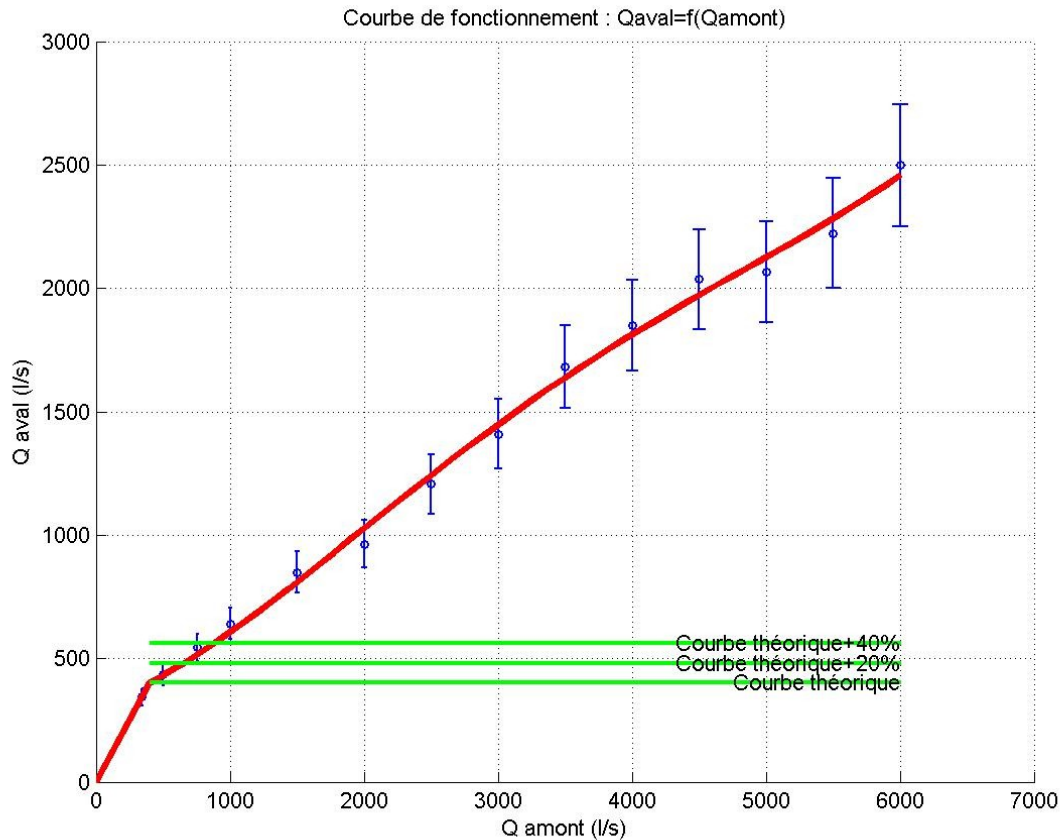


Figure IV.10 : Courbe de fonctionnement

Nous avons alors visualisé la ligne d'eau correspondant à un débit amont proche de celui de référence, soit le cas de 500 l/s. On remarque alors que cet ouvrage déverse à l'amont de seuil, mais ne déverse pas à l'aval (**Figure IV.11**)

D'où on constate qu'à partir d'un débit proche de débit de référence le déversement commence au niveau de déversoir.

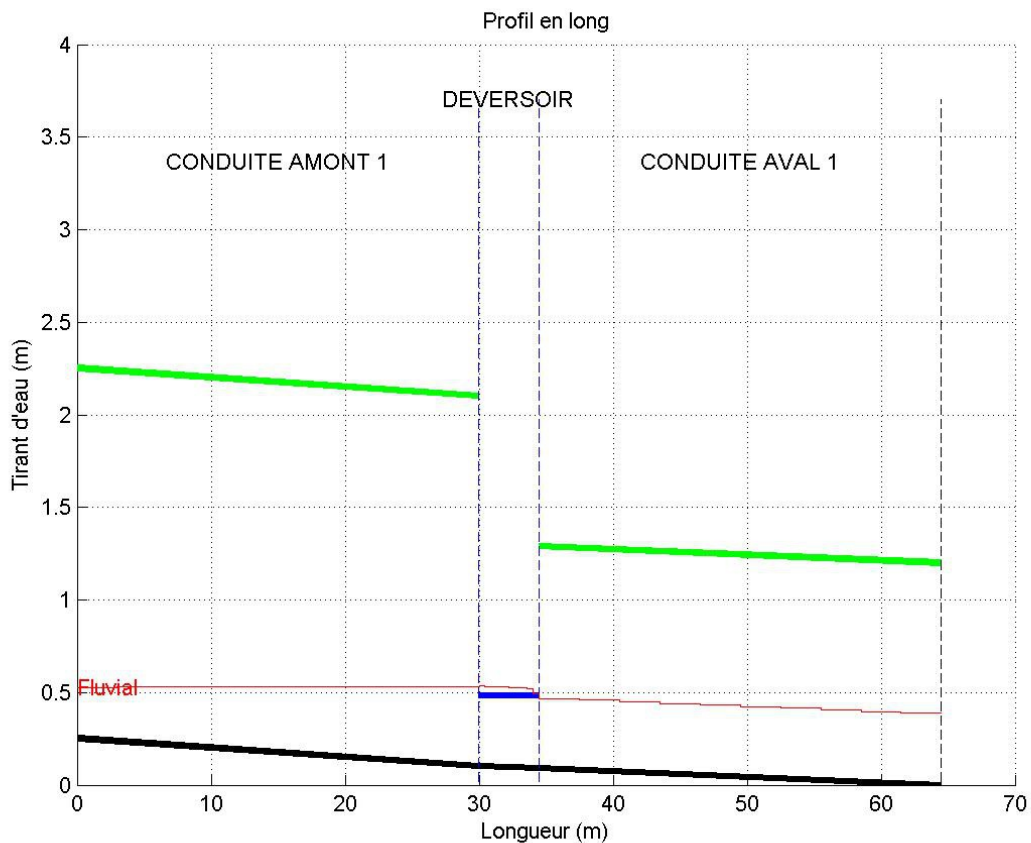


Figure IV.11 : Calcul avec $Q_{\text{amont}} = 500 \text{ l/s}$

La caractérisation hydraulique d'un déversoir va donc se faire en calculant :

- le débit de référence qui est dans notre cas 401 l/s,
- l'augmentation du débit aval par rapport au débit de référence et ce pour un débit amont maximal. Ce débit maximal est le plus souvent le débit de projet. Il peut, par exemple, correspondre au débit d'un événement pluvieux ayant une période de retour de quelques années (débit décennal).

Cette augmentation de débit peut plus facilement être caractérisée par le pourcentage d'augmentation du débit aval conservé par rapport au débit de référence, c'est-à-dire :

$$d' \text{ augmentation du débit aval} = \frac{\text{Débit aval conservé} - \text{Débit de référence}}{\text{Débit de référence}}$$

Pour un débit maximal (débit de projet en temps de pluie) de 758.3l/s; le pourcentage d'augmentation du débit aval est estimé à 35 %

On remarque que ce pourcentage n'est pas assez important d'où notre déversoir est performant dont l'objectif d'un déversoir est de contrôler le débit aval et donc de limiter au maximum le dépassement du débit de référence.

Et d'après Hager on peut admettre, au débit amont maximal, 20 à 40% d'augmentation du débit aval par rapport au débit de référence ; d'où on est dans la fourchette d'où le fonctionnement de déversoir d'orage de Ben Aknoun est satisfaisant.

Conclusion

D'après les différents calculs faits dans ce chapitre et d'après la courbe de fonctionnement de notre déversoir d'orage, on a constaté que le fonctionnement de déversoir d'orage de Ben Aknoun est satisfaisant avec un débit de référence de 401 l/s à partir duquel l'ouvrage commence à déverser,

On a constaté que pour les déversoirs latéraux à seuil court on a la possibilité d'apparition de deux régimes d'écoulement : le régime fluvial et le régime torrentiel

Il n'y a pas de ressaut dans le déversoir. Selon le régime d'écoulement, la ligne d'eau le long du déversoir n'est pas la même

- **Écoulement en régime fluvial**

Si le régime dans le canal est fluvial, alors la ligne d'eau s'élève et le débit par unité de longueur augmente le long du seuil

- **Écoulement en régime torrentiel**

Si le régime dans le canal est torrentiel, la ligne d'eau s'abaisse et le débit déversé par unité de longueur décroît le long du seuil.

On peut conclure que le déversoir à seuil bas présente des conditions d'écoulement hydraulique et de déversement très variées suivant la pente du radier du collecteur. La ligne d'eau au droit du déversoir peut présenter différentes configurations (hauteur d'eau plus faible en tête de déversoir qu'en extrémité, ressaut à l'amont, à l'aval...). Il y a donc de très nombreux cas de fonctionnement possibles, plus ou moins bien connus, ce qui explique le nombre de formules proposées par différents auteurs pour le dimensionnement de ces ouvrages. L'autre inconvénient concerne la pollution déversée qui est plus importante notamment pendant la reprise des dépôts.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Un déversoir d'orage est un véritable "fusible hydraulique" ou une "soupape de sécurité". Cet ouvrage est donc présent dans tous les réseaux unitaires. On lui assigne essentiellement un rôle hydraulique mais qui peut être différent en fonction du débit amont.

En effet, en temps sec, il protège le milieu naturel. En temps de petite pluie (période de retour de quelques mois) il soulage la station de traitement à l'aval et, dans certains cas, il alimente un bassin d'orage.

En temps de forte pluie, il protège contre les inondations : la ville, les ouvrages (bassin, station de pompage...) et la station de traitement. Dans tous les cas, il empêche le reflux des eaux du milieu naturel vers le réseau d'assainissement.

La maîtrise du fonctionnement hydraulique des déversoirs d'orage permet ainsi de caractériser la pertinence de l'ouvrage par rapport aux objectifs hydrauliques qui lui ont été assignés. De plus, une meilleure connaissance de leur fonctionnement permet une exploitation plus facile et surtout une instrumentation adaptée et pertinente d'où l'objectif principal de ce travail est l'évaluation du fonctionnement des déversoirs d'orage en s'appuyant sur le logiciel de modélisation « calDO » afin de diagnostiquer ces ouvrages.

Dans un premier lieu, nous avons donné un aperçu bibliographique sur les déversoirs d'orages afin de maitre le point sur l'ensemble de classification existantes selon les critères géométriques aussi bien que les critères de fonctionnements hydrauliques.

Par la suite, on a fait quelques rappels sur les modèles, les différentes approches modélisatrices et une présentation de logiciel « calDO » ainsi que les différentes étapes à suivre afin de diagnostiquer notre déversoir d'orage.

Après nous avons déterminé différents débits déversés en fonction des débits amont, ainsi que la ligne d'eau le long de la crête déversante et a partir de ces débits nous avons tracé la courbe de fonctionnement du déversoir et nous avons diagnostiqué leurs comportement en temps sec et en temps de pluie.

Références bibliographiques

- Bourrier. R, (1991)** ; Les décharges pluviales des réseaux unitaires, Groupement de Grenoble, Génie Rural, Grenoble.
- BUYER .M, (2002)** ; « Transport de flux en réseau d'assainissement : modèle 1D pour l'hydraulique des collecteurs et déversoirs avec prise en compte des discontinuités », Thèse de doctorat de l'université Louis Pasteur (ULP), Strasbourg
- CalDO « Logiciel de calcul des déversoirs d'orage »** Version 3.0 08/2005 Notice d'utilisation
- CERTU, (2003)** ; La ville et son assainissement : principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau, MEDD/DE – CERTU.
- CHOCAT .B, COORDONNATEUR, (1997)** ; Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement, Bassins de retenue p. 95, Eurydice 92, Ed Tec&Doc Lavoisier, paris,
- DUPONT J.M, (1996)** ; Modélisation et étude bibliographique des déversoirs d'orage, 3^{ème} année de l'Ecole Polytechnique de Paris.
- GARCIA SALAS J.C, (2003)** ; Évaluation des performances, sources d'erreur et incertitudes dans les modèles de déversoirs d'orage, Thèse de doctorat, INSA Lyon,
- Gomella.G, (1967)** ; Les eaux usées dans les agglomérations urbaines, édition Eyrolles, Paris
- HAGER .W.H, (1986)**; L'écoulement dans les déversoirs latéraux (Flow in side weirs), Canadian Journal of Civil Engineering,
- HAGER .W.H, (1999)**; Wastewater Hydraulics – Theory and Practice, Losses in Flow, Ed. Springer,
- LENCASTRE .A, (1996)** ; Hydraulique générale, Editions Eyrolles
- LIPEME-KOUYI .G, (2004)** ; Principe de réduction de la pollution particulaire déversée en période d'orage - mise au point d'un nouveau concept de déversoir, Thèse de doctorat de l'ULP : Université Louis Pasteur de Strasbourg.
- OUILLON.S, (1993)** ; Modélisation mathématique de l'hydrodynamique à surface libre et du transport en suspension de sédiments non cohésifs. Aide à l'interprétation d'images spatiales, Thèse de doctorat de l'INP Toulouse,.
- SALAH.B, (1993)** ; Assainissement des agglomérations, ENSH, Blida
- SALAH. B, (2014)** ; « Assainissement des eaux usées et pluviales des agglomérations » A l'usage des étudiants de l'option : assainissement urbain, ENSH Blida.
- VAZQUEZ. J, ZUG, M, PHAN.L, (2006)** ; Guide technique sur le fonctionnement, des déversoirs d'orage, Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg, Direction Technique de la Générale des Eaux Région Ouest ainsi que, Anjou Recherche.

Références bibliographiques

VAZQUEZ.J, (2013) ; Hydrologie et hydraulique urbaine en réseau d'assainissement

VAZQUEZ.J, (2001) ; Etudes expérimentales et modélisation du comportement des déversoirs d'orage », Séminaire ENGEES/AGHTM « La modélisation en assainissement : remise en cause des pratiques ? », Strasbourg.

ZUG .M, (1998) ; Modélisation conceptuelle de la pollution par temps de pluie en réseau d'assainissement, Thèse de doctorat de l'ULP.

ZUG.M, VAZQUEZ.J, BELLEFLEUR.D, ISSANCHOU.E, (2001) ; Les Déversoirs d'Orage : Connaît-on les ouvrages de nos réseaux et comment ils fonctionnent ? Novatech, Lyon.

Annexes

Annexe 01

I- ESTIMATION DES REJETS EN EAUX USEES

ZONE I: BEN AKNOUN- EL ACHOUR EST

1.Besoins domestiques

Population (2008)	Taux (%)	Population (2035)	Dotation (l)	Consom (l/j)	Rejets (l/j)	Rejets (l/s)	C. Pointe	Q P (l/s/ha)
62733	0.8	77792	200	11668734.53	9334987.6	108.0	1.74	188.1

2.Besoins scolaires

Etablissements	Nbre	Nbre etudiant/et	Nbre etudiants	Dotation (l)	Consom (l/j)	Rejets (l/s)	C. Pointe	Q P (l/s/ha)
Ecoles	12	300	3600	10	36000	0.3	3.00	1.00
CEM	8	500	4000	10	40000	0.4	3.00	1.11
Lycées	8	1000	8000	10	80000	0.7	3.00	2.22
Universités	2	3000	6000	20	120000	1.1	3.00	3.33
Cités universi	2	1500	3000	100	300000	2.8	3.00	8.33
				TOTAL	576000	5.3	2.58	13.77

3.Besoins sanitaires

Etablissements	Nbre	Nbre lits/Etab	Nbre total	Dotation (l/j)	Consom (l/j)	Rejets (l/s)	C. Pointe	Q P (l/s/ha)
Maternité	6	100	600	200	120000	1.1	3.00	3.33
Polyclinique	3	100	300	100	30000	0.3	3.00	0.83
centre de santé	4	100	400	100	40000	0.4	3.00	1.11
Hopital	3	200	600	200	120000	1.1	3.00	3.33
				TOTAL	310000	2.9	2.98	8.54

4.Besoins commerciaux

Etablissements	Nbre	Clients/etabli	Clients/jours	Dotation (l/j)	Consom (l/j)	Rejets (l/s)	C. Pointe	Q P (l/s/ha)
Café	20	100	2000	20	40000	0.4	3.00	1.11
restaurant	12	100	1200	80	96000	0.9	3.00	2.67

5.Besoins administratifs

Etablissements	Nbre	Nbre effectifs/et	Nbre etudiants	Dotation (l/j)	Consom (l/j)	Rejets (l/s)	C. Pointe	Q P (l/s/ha)
----------------	------	-------------------	----------------	----------------	--------------	--------------	-----------	--------------

7.Besoins industriels

Etablissements	Nbre	Nbre travailleurs	Nbre etudiants	Dotation (l/j)	Consom (l/j)	Rejets (l/s)	C. Pointe	Q P (l/s/ha)
----------------	------	-------------------	----------------	----------------	--------------	--------------	-----------	--------------

6.Besoins touristiques loisirs

Etablissements	Nbre	Nbre visiteurs/et	Nbre etudiants	Dotation (l/j)	Consom (l/j)	Rejets (l/s)	C. Pointe	Q P (l/s/ha)
----------------	------	-------------------	----------------	----------------	--------------	--------------	-----------	--------------

7.Besoins Culturels-culturels

Etablissements	Nbre	Nbre fidèle/et	Nbre etudiants	Dotation (l/j)	Consom (l/j)	Rejets (l/s)	C. Pointe	Q P (l/s/ha)
----------------	------	----------------	----------------	----------------	--------------	--------------	-----------	--------------

8.Besoins sportifs

Etablissements	Nbre	Nbre joueur/et	Nbre etudiants	Dotation (l/j)	Consom (l/j)	Rejets (l/s)	C. Pointe	Q P (l/s/ha)
----------------	------	----------------	----------------	----------------	--------------	--------------	-----------	--------------

Zone I QmTs 344.7

Zone I Q.E. Para (10%) 34.5

Zone I 2QTS 758.3

II- CALCUL HYDRAULIQUE: DIMENSIONNEMENT PAR LA FORMULE DE MANNING