



N°Réf :.....

Centre Universitaire de Mila

Institut des Sciences et de Technologie

Département de sciences et Technique

**Projet de Fin d'Etude préparé En vue de l'obtention du diplôme
LICENCE ACADEMIQUE
En Hydraulique
Spécialité : Sciences Hydrauliques**

Thème

ETUDE DES ÉCOULEMENT À SURFACE LIBRE (CAS DES DÉVERSOIRS)

Préparé par :

- BOUZEGHAIA AHMED AMINE.
- BOUDFER OUSSAMA.
- BOUCHEFCHOUF TAREK.
- BOULKOUR IBRAHIM.

Dirigé par :

Mr.A.HAMIDANE

Année universitaire : 2013/2014

Remerciements :

Au terme ce travail, nous tenons à exprimer nos reconnaissances à toutes les personnes qui, de loin ou de près, ont contribué à l'élaboration de ce travail.

C'est monsieur A.HAMIDANE, pour la confiance qu'il nous a témoigné et l'intérêt qu'il a apporté à ce modeste travail, ses conseils, et ses remarques, qu'il veuille trouver l'expression de notre profond respect.

Nous adressons aussi nos remerciements au :

- *Un grand merci à l'ensemble des enseignants du département de sciences et Technique qui ont contribué à notre formation, en particulier : Mr.S.KEMOUKH, A.KABOUR, M.KOUSSA, A.ATAMNA, et Mr.M.TOURKI, Mme Z.ALIA, L.CHABAH, et Mme L.BENCHAIBA.*

**Et aussi nos amis et collègues de section : A.LAYADI, J.GADOUR, Y.MESSAK, S.BELGIDOUM, et T.BOUROUAG. Et tous les amis de notre promotion sans exception.*

NOMENCLATURE

Les Symboles

L_c : Largeur de la crête (mètre).

Q : Débit de pointe du bassin (m³/sec).

C : Constante = 1,8 (en système métrique).

h : Hauteur de la lame d'eau (mètre).

V : volume de pierre (m³).

l_t : largeur totale du déversoir (m).

e : épaisseur moyenne de pierre (m).

L_t : longueur totale du déversoir incluant le tablier d'entrée et le tablier de sortie (m).

S : Surface du géotextile (m²).

H : hauteur maximale du P.K. Weir

B : longueur d'une paroi latérale.

a : largeur de l'alvéole amont.

b : largeur de l'alvéole aval.

c : longueur du porte-à-faux amont.

d : longueur du porte-à-faux aval.

W : largeur du déversoir.

Liste des abréviations :

MW : mégawatts.

PK WEIR: piano key weir.

NNR : niveau normale de retenu.

NPHE : niveau maximum de la retenue.

DO : déversoir d'orage

SOMMAIRE

INTRODUCTION	6
 CHAPITRE I – DÉVERSOIR ENROCHÉ	
<i>I.1 INTRODUCTION.....</i>	<i>9</i>
<i>I.2 Définition</i>	<i>9</i>
<i>I.3 Conception d'un déversoir enroché.....</i>	<i>9</i>
<i>I.4 Aménagement du déversoir.....</i>	<i>15</i>
<i>I.5 Risques associés à des problèmes de mauvaises conception ou construction.....</i>	<i>17</i>
• <i>I.5.1 Contournement de l'eau d'un côté ou des deux côtés du déversoir et érosion du sol</i>	<i>17</i>
• <i>I.5.2 Affouillement en dessous du déversoir.....</i>	<i>17</i>
• <i>I.5.3 Pierres dans le déversoir qui dévalent en bas du talus.....</i>	<i>17</i>
<i>I.6 Entretien et Conclusion.....</i>	<i>18</i>
 CHAPITRE II –DÉVERSOIR PIANO KEY WEIR (P .K.WEIR)	
<i>II. 1INTRODUCTION.....</i>	<i>20</i>
<i>II. 2CONFIGURATION GEOMETRIQUE DU P.K.WEIR</i>	<i>21</i>
<i>II. 3Mode d'écoulement sur le P.K.Weir</i>	<i>23</i>
• <i>II.3.1 Rapport de l'aspect vertical, W/H.....</i>	<i>23</i>
• <i>II.3.2 Longueur relative, L/W.....</i>	<i>24</i>
• <i>II.3.3 Impact des corps flottants.....</i>	<i>25</i>
<i>II.4EXEMPLE D'APPLICATION DU P.K.WEIR POUR DES BARRAGES ALGERIENS.....</i>	<i>26</i>
• <i>II.4.1 Barrage ZitAmba.....</i>	<i>26</i>
• <i>II.4.2 Barrage Ain Zada.....</i>	<i>28</i>
<i>II.5 CONCLUSIONS.....</i>	<i>29</i>
 CHAPITRE III – DÉVERSOIR SIPHON	
<i>III.1INTRODUCTION.....</i>	<i>32</i>

<i>III.2 Unit description</i>	<i>32</i>
• <i>III.2.1-Components</i>	<i>32</i>
• <i>III.2.2 – Assemblée.....</i>	<i>33</i>
<i>III.3 sécurité.....</i>	<i>34</i>
<i>III.6 Conclusion.....</i>	<i>34</i>
 CHAPITRE IV – DÉVERSOIR D'ORAGE	
<i>IV.1Définition.....</i>	<i>36</i>
<i>IV.2 Fonctions.....</i>	<i>38</i>
• <i>IV.2.1 : Courbe de fonctionnement.....</i>	<i>39</i>
• <i>IV.2.2. Principe de dimensionnement.....</i>	<i>41</i>
• <i>IV.2.3. Principe de diagnostic.....</i>	<i>41</i>
<i>IV.3Composition des ouvrages annexes</i>	<i>42</i>
• <i>IV.3.1 : Ouvrages à l'intérieur du déversoir.....</i>	<i>42</i>
• <i>IV.3.2. Déversoirs associés aux bassins.....</i>	<i>43</i>
<i>IV.4 Contraintes influençant le fonctionnement des déversoirs d'orage.....</i>	<i>45</i>
<i>IV.5 Conclusion.....</i>	<i>46</i>
➤ <i>Conclusion Générale.....</i>	<i>47</i>
➤ <i>Bibliographies.....</i>	<i>48</i>

Introduction :

Un évacuateur de crue est une structure construite à l'emplacement du barrage de disposer du surplus d'eau à proximité du réservoir pour le canal en aval. Un évacuateur de crue agit comme une soupape de sécurité pour le barrage. Parce que dès que l'eau dans le réservoir dépasse une eau niveau prédéterminé, l'excès est déchargé en toute sécurité sur le canal en aval et le barrage n'est pas endommagé. Un évacuateur de crue peut se trouver soit dans le milieu du barrage, soit à la fin du barrage près de culée. Dans certains cas, l'évacuateur de crue est situé loin du barrage comme une structure indépendante, s'il y a une selle adaptée. (Une selle est une dépression de la forme de selle utilisée pour monter à cheval). Tel un évacuateur de crue est appelé un évacuateur de crues de selle. En général, un évacuateur de crues de selle est conçu comme un auxiliaire ou d'une surversé de sécurité. Qui s'ajoute au le déversoir principal au site du barrage.

La conception d'un évacuateur de crues exige la plus grande attention. Nombreuses défaillances des barrages se sont produites dans le passé en raison des évacuateurs de crues mal conçus ou par les évacuateurs de crues d'une capacité inadéquate. Pour terre et roche remplir les barrages, il faudrait une capacité du déversoir libéral parce qu'ils ne parviennent pas comme dès qu'ils sont étouffés. Cependant, barrages en béton peuvent supporter quelques modérée recouvrir et peut-être moins libérale capacité du déversoir.

L'utilisation des déversoirs remonte probablement au moins aux premiers grands aménagements hydrauliques de l'antiquité. Au Moyen Âge, l'utilisation croissante des moulins à eau, en complément des moulins à vent impliquait le contrôle des débits, par l'utilisation de vannages, de seuils et de déversoirs pour absorber et étaler d'éventuelles crues brutales.

Un déversoir assure diverses fonctions :

- Envoyer un « *trop plein* » d'eau vers un « bras de décharge », pour étaler une crue quand le débit en amont provoque une montée d'eau incompatible avec la capacité d'absorption des vannages ou de moulins recevant cette eau.
- Conserver une hauteur minimale d'eau en amont d'un bief.
- Maintenir en amont du déversoir une hauteur importante d'eau dans la rivière permettait aussi d'utiliser des pierres gélives (moins coûteuses et plus facile à tailler) pour les radiers, les fondations et la partie basse et immergée des maçonneries de berges.
- Permettre un débit de fuite, détournant la rivière lorsqu'il faut la barrer provisoirement pour l'assécher en aval, afin par exemple d'y faire des travaux (de réfection d'un radier, d'un vannage, d'un mur, ou d'un support de roue à aubes.

- Certains déversoirs peuvent être conçus comme passe à poissons.

Le déversoir doit répondre à un compromis entre capacité de stockage de la retenue et capacité d'évacuation, cette dernière étant souvent liée à la sécurité de l'ouvrage. Selon les cas les déversoirs de barrages peuvent être soit libre, soit vannés. Dans le cas d'un déversoir libres, les caractéristiques d'évacuation seront déterminées par ses dimensions et son coefficient de débitante. On peut faire varier le coefficient de débitante d'un déversoir en modifiant la section du déversoir (en cherchant par exemple à s'approcher de section de type Crevage), en modifiant les conditions d'approche de l'eau (curage à l'amont), ou en modifiant la géométrie du réservoir (labyrinthe). Dans le cas d'un déversoir vanné, c'est la loi de fonctionnement de la vanne qui régira le fonctionnement du déversoir.

La fonction de contrôle du déversoir peut aussi être assurée au moyen du système de hausse fusible. Les hausses fusibles (appelées Fuse gate en anglais), sont des éléments auto stables disposés sur la crête du déversoir et qui fonctionnent de manière complètement autonome. Elles permettent d'augmenter le niveau de stockage en amont du déversoir sans modifier les conditions de sécurité de l'ouvrage face aux crues. Elles sont conçues de manière à évacuer les crues courantes par-dessus leur crête en limitant le niveau d'eau à l'amont grâce à leur forme de labyrinthe. En cas de très forte crue, le niveau d'eau atteindra un niveau critique qui permettra l'alimentation d'une structure de mise en eau propre à chaque hausse qui déstabilisera l'élément et provoquera son évacuation. Chaque hausse fusible a un niveau de déclenchement différent, ce qui permet un effacement progressif du rideau de rehausse et permet d'atténuer la crue à l'aval.

Le barrage de Tchuruk, situé proche de la ville de Tchuruk, au Brésil, est, dès son inauguration, la quatrième usine hydroélectrique au monde en puissance avec 7 960 mégawatts (MW) et son déversoir, du type « *saut de ski* » (de manière à *casser* une partie de l'énergie du flot), est le plus grand du monde avec un débit versant maximum de projet de $110\,000\text{ m}^3/\text{s}$. Tout le projet hydraulique a été fait au Brésil dans l'entreprise brésilienne ENGEVIX, à Rio de Janeiro, sous la responsabilité d'André Balança et Jorge Rios (ingénieurs hydrauliciens) qui ont étudié à Toulouse et à Grenoble, respectivement.

CHAPITRE I : DÉVERSOIR ENROCHÉ

I.1 - Introduction :

Il existe plusieurs techniques permettant de contrôler le déversement de l'eau d'un champ vers le cours d'eau et de réduire l'érosion des berges. L'installation d'un déversoir enroché en bordure d'un champ, à la confluence entre une voie d'eau engazonnée ou un fossé avec un cours d'eau est une technique qui canalise l'eau de surface et réduit les pertes de sol. L'objet de cette fiche est de présenter les cas nécessitant l'utilisation d'un déversoir enroché ainsi que les techniques de construction.

I.2 -Définition :

Un déversoir enroché est une structure qui permet l'écoulement sécuritaire des eaux de surface dans un émissaire. Ce type d'aménagement contribue à la stabilité des berges en évitant la régression du fond des rigoles (raies de curages et fossés) et la formation de ravines d'érosion dans le champ. Il s'agit d'une structure souple, efficace et peu coûteuse, qui s'adapte facilement au terrain et occasionne peu d'inconvénients aux pratiques agricoles. Toutefois, contrairement à une structure comme un avaloir avec bassin de captage, il ne permet pas la rétention d'eau ou la sédimentation des particules de sol contenues dans l'eau de ruissellement. Le déversoir enroché est utilisé pour résoudre une problématique d'érosion dans les points bas du champ, à la sortie d'une raie de curage, d'une rigole d'interception, d'une voie d'eau ou de tout autre endroit où l'eau se déverse au cours d'eau.

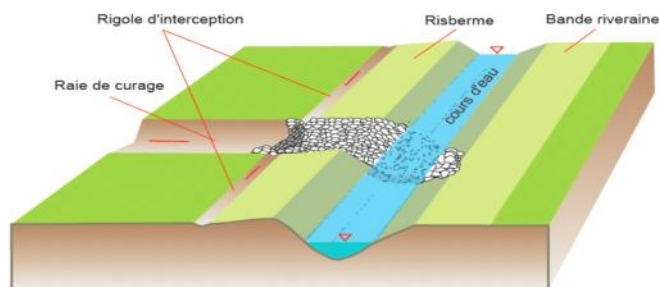


Figure 1 : Déversoir enroché

I.3 -Conception d'un déversoir enroché :

1^{ère} étape : Diagnostiquer les problèmes d'érosion de surface, localiser l'emplacement des structures et délimiter la superficie contributive :

La 1^{ère} étape de la conception d'un déversoir enroché consiste à bien établir la source du problème d'érosion. Il est important d'analyser l'égouttement global du champ de façon à établir les superficies

de drainage et les raisons qui ont causé cette zone d'érosion. Il importe aussi de se questionner s'il est nécessaire de corriger une problématique en amont ou si la mise en place du déversoir seule règlera adéquatement le problème. La fiche « Diagnostic et solution de problèmes d'érosion au champ et de drainage de surface » pourra être utile au diagnostic.

2^{ème} étape : Calculer le débit de pointe de chaque déversoir :

La fiche technique « Évaluation des débits de pointe pour les petits bassins versants agricoles du Québec » fournit tous les renseignements pour évaluer le débit de pointe transitant sur chaque réservoir.

Pour le calcul, il faut utiliser les données les plus récentes de courbes IDF fournies par *Environnement Canada*2.

3^{ème} étape : Déterminer la largeur de la crête du déversoir & le point d'entrée du déversoir :

Utiliser l'équation suivante :

$$L_c = \frac{Q}{C * h^{3/2}} \quad (3.1)$$

L_c : Largeur de la crête (mètre).

Q : Débit de pointe du bassin (m³/sec), calculé précédemment.

C : Constante = 1,8 (en système métrique).

h : Hauteur de la lame d'eau (mètre), maximum de 0,3 mètres (0,2 m est généralement un bon choix). (Formule courante de calcul de débit pour les déversoirs trapézoïdaux mais utilisable pour les déversoirs paraboliques.) Voir figure 2.

Tableau 1 : Largeur de crête (mètre) en fonction du débit de pointe (m³/sec) et de la hauteur de la lame d'eau (mètre)

Débit de pointe du bassin (m ³ /sec)	Largeur de la crête (mètre) pour une lame d'eau de 0,20 m	Largeur de la crête (mètre) pour une lame d'eau de 0,30 m
0,2 et moins	2*	2*
0,4	3,0	2*
0,5	3,5	2,0
0,6	4,5	2,5
0,7	5,0	3,0
0,8	6,0	3,0
0,9	6,5	3,5
1	7,5	4,0
1,5	11,0	6,0

* : La largeur de la crête ne doit pas être inférieure à 2 mètres

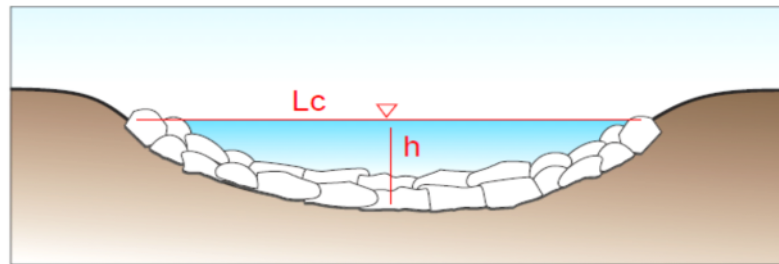


Figure 2 : Évaluation de la largeur de la crête

Source : Roger Cloutier, adaptée par M Pierre Caron (MAPAQ)

4^{ème} étape : Déterminer la longueur du tablier d'entrée :

Le tablier d'entrée est la partie amont de la structure. Il est situé sur le replat du terrain et favorise la transition entre l'écoulement fluvial provenant de l'exutoire à protéger et l'écoulement critique produit à la jonction de l'exutoire et de la pente abrupte du déversoir. Sa longueur doit être au minimum de 1,5 mètre.

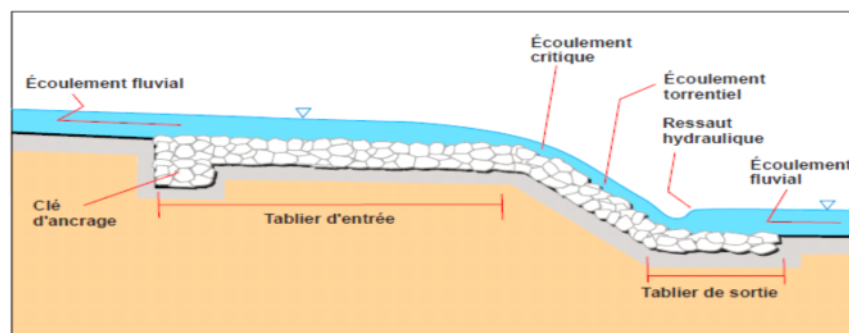


Figure 3 : Tabliers d'entrée et de sortie d'un déversoir

Source : Dessin adapté par M Pierre Caron (MAPAQ)

5^{ème} étape : Déterminer la longueur du tablier de sortie :

Le tablier de sortie est la zone de transition entre l'écoulement torrentiel généré par le déversoir et l'écoulement fluvial situé à la base du déversoir. Dans cette zone, un ressaut hydraulique accompagné de fortes turbulences se produit. L'enrochement est donc critique et la grosseur des pierres au pied du déversoir devra être de 2 fois le D50 de la pierre. Le tablier de sortie du déversoir doit avoir une longueur minimum de 1 à 1,5 mètres. Il existe toutefois plusieurs scénarios possibles:

• **Cas 1 :**

Le déversoir se déverse dans un cours d'eau large qui n'est jamais à sec même à l'étiage (au moins 30 cm d'eau à l'étiage). Dans ce cas, un tablier de sortie de 1 m de longueur dans le fond du cours d'eau est suffisant.

• **Cas 2 :**

Le déversoir arrive dans un cours d'eau large mais qui est presque à sec à l'étiage. Dans ce cas, la longueur du tablier de sortie pourra être égale à la hauteur du déversoir. Une longueur maximale de 2 m est considérée comme raisonnable même si la hauteur du déversoir est supérieure.

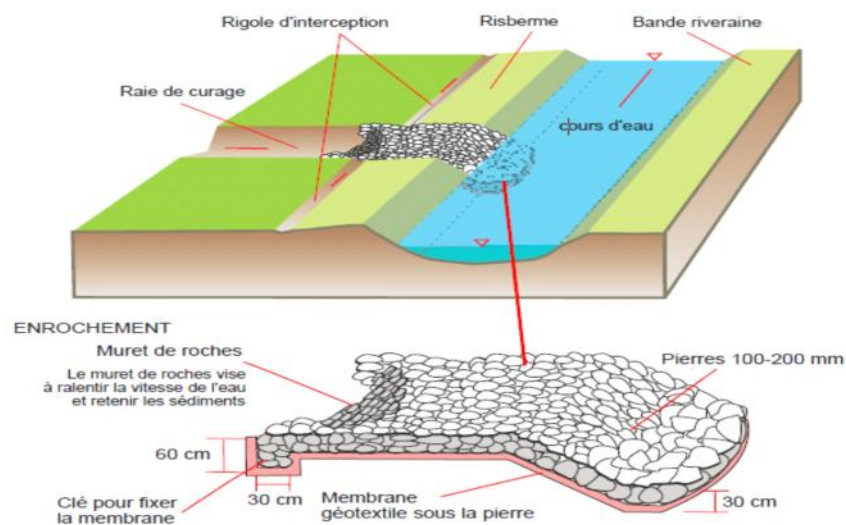


Figure 4 : Déversoir arrivant dans un cours d'eau large

Source : Dessin adapté par M Pierre Caron (MAPAQ)

• **Cas 3 :**

Le déversoir arrive dans un petit cours d'eau. Dans ce cas, le fond du lit au complet sera enroché vis à vis du déversoir ainsi que le bas de la rive opposée sur une hauteur de 30 à 60 cm.

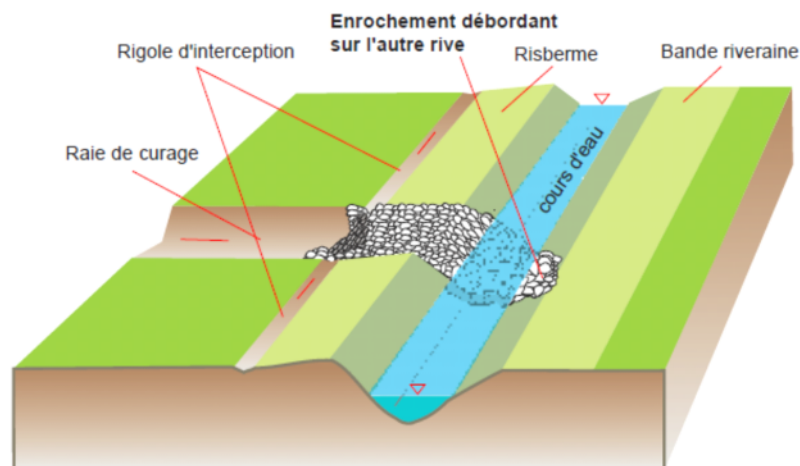


Figure 5 : Déversoir arrivant dans un petit cours d'eau

6^{ème} étape : Déterminer la pente du déversoir :

En général, la pente du déversoir correspond à la pente du talus. Toutefois, si celui-ci est trop abrupt, il faut l'adoucir. Il est recommandé de ne jamais dépasser une pente de 1 dans 1. De plus, la pente du déversoir est fonction du type de pierres qui seront utilisées.

- Pour des pierres angulaires (de carrière) : Pente 1 :1 ou plus douce.
- Pour des pierres rondes (de champ) : Pente 1 :2 ou plus douce.

7^{ème} étape : Déterminer le diamètre des pierres :

Pour les déversoirs enrochés de bassin versant inférieur à 10 ha, le diamètre moyen de la pierre (D50) varie en général entre 4 à 8 po (100 à 200 mm). Toutefois, il faut porter une attention particulière à la hauteur de chute. Si celle-ci est supérieure à 1,5 mètre, la pierre recommandée devra être plus grosse : 6 à 12 po (150 à 300 mm). Pour des bassins versants plus grands que 10 ha, des pierres de 6 à 12 po (150 à 300 mm) ou plus grosses sont requises. Dans ces cas particuliers, des calculs doivent être effectués pour s'assurer d'avoir le bon calibre pour résister aux débits de pointe.

Lorsqu'un déversoir arrive dans un cours d'eau à forte pente ou à fort débit, le dimensionnement des pierres de la base du déversoir et du tablier de sortie doit être lié aux caractéristiques de l'écoulement dans le cours d'eau plutôt qu'au ruissellement provenant du champ. Dans ces cas, la base du déversoir et sa clé (plus profonde aussi) peuvent être réalisées avec des pierres de 4 à 24 po (100 à 600 mm), comme un perré standard.

Enfin, dans les cours d'eau à forte énergie, à la fonte de la neige, la glace peut entraîner les pierres de calibre inapproprié. Il est donc recommandé d'utiliser des pierres de plus gros calibre résistant à la

force d'impact de la glace. Dans les sections rectilignes on déposera les pierres angulaires sur une pente minimale de 1 :1,5 (33°) au lieu d'une pente de 1 :1 (45°). Cette pente plus douce permet d'éviter que la glace ne bascule et ne déloge les pierres et la végétation.

8^{ème} étape : Calculer l'épaisseur de l'enrochement :

L'épaisseur de l'enrochement dans la pente du déversoir doit être égale à 1,5 fois le D_{50} et dans le tablier d'entrée à 2 fois le D_{50} . L'épaisseur minimum doit être de 0,30 m.

9^{ème} étape : Calculer le volume de pierres nécessaire :

Lorsque les dimensions du déversoir sont déterminées, on procède au calcul du volume de pierres requis et de la surface de géotextile nécessaire.

$$V = l_t \times e \times L_t \quad (3.2)$$

V : volume de pierre (m^3)

l_t : largeur totale du déversoir (m)

e : épaisseur moyenne de pierre (m)

L_t : longueur totale du déversoir incluant le tablier d'entrée et le tablier de sortie (m)

Note : Les plus grosses pierres doivent être réservées pour le tablier de sortie. On peut estimer le volume total de pierres nécessaires en poids en utilisant la densité apparente des pierres (incluant les espaces vides entre elles) qui est de 1,8 à 2,0 T/ m^3 .

10^{ème} étape : Calculer la surface du géotextile nécessaire :

$$S (m^2) = (l_t + 1,5) \times (L_t + 2) \quad (3.3)$$

L'ajout de 1,5 m et 2 m aux dimensions de la toile sert à recouvrir les bordures de l'ouvrage et des clés d'ancrage.

S : Surface du géotextile en m^2

l_t : Largeur totale du déversoir (m)

L_t : Longueur totale du déversoir, incluant le tablier d'entrée et le tablier de sortie (m)

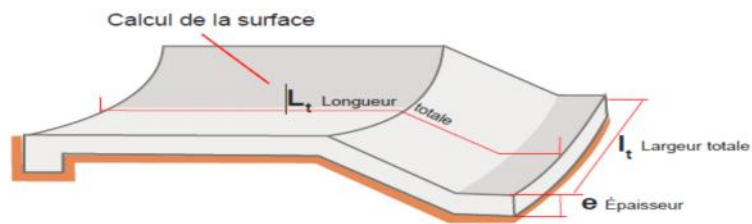


Figure 6 : Évaluation du volume de pierre et de la surface du géotextile

Source : Dessin adapté par M Pierre Caron (MAPAQ)

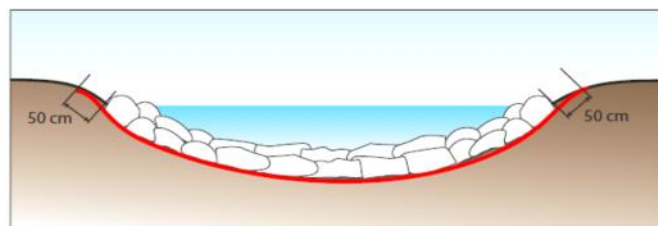


Figure 7 : Géotextile dépassant de chaque côté du déversoir sur au moins 50 cm

Source : Roger Cloutier, adaptée par Mme Sandra Hindson (AAC)

11^{ème} étape : Prévoir un espace non travaillé en amont du déversoir :

Dans les sols sensibles à l'érosion ou lorsque les eaux de surface sont chargées de sédiments, il est fortement recommandé de ne pas travailler le sol ou d'engazonner une zone d'au moins 5 mètres de rayon autour du déversoir enroché.

I.4 - Aménagement du déversoir :

1^{ère} étape : Orienter le déversoir :

Le déversoir est orienté perpendiculairement au cours d'eau ou au fossé exutoire.

2^{ème} étape : Façonner le déversoir :

À l'aide d'une rétro caveuse ou d'une pelle hydraulique, il faut excaver la surface du sol pour enlever toute végétation et façonner une descente en prenant soin de former un déversoir de forme parabolique avec le fond un peu arrondi (en forme de U). L'épaisseur de terre à enlever correspond à l'épaisseur de pierre à mettre en place, en tenant compte de la forme finale à obtenir (généralement 0,3 à 0,4 m d'épaisseur). De cette façon, une fois l'enrochement réalisé, la surface de la pierre est légèrement au-dessus de la surface du sol sans toutefois créer une barrière qui empêcherait l'eau de rentrer dans le déversoir.

3^{ème} étape : Façonner la clé d'ancrage pour le géotextile en haut du déversoir et en bas du déversoir :

Une clé d'au moins 30 centimètres de largeur par 45 à 60 centimètres de profondeur (i.e. plus profonde que le diamètre moyen des pierres) sera aménagée au sommet du déversoir pour permettre l'ancrage du géotextile. Le sol excavé peut être déposé de chaque côté du déversoir pour remonter la berme et ainsi augmenter la capacité du déversoir et y diriger l'eau. Une excavation du même type sera réalisée au pied du déversoir, sous le lit du cours d'eau ou du fossé.



Photo 3 : Clé d'ancrage du tablier d'entrée

Source : Mikael Guillou (MAPAQ)

4^{ème} étape : Placer le géotextile :

Le choix du géotextile est fonction de sa capacité de résistance à la déchirure (fonction de la grosseur des pierres). Chaque fabricant est en mesure d'indiquer le type de géotextile adapté à la grosseur de pierres utilisées. Généralement, le *TEXEL 7612*, le *Solmax 701* ou le *Soleno TX 170* est utilisé. Le géotextile est placé sur le sol et dans les clés (haut et bas), puis remonté de chaque côté de l'excavation, sur la berme. En aucun cas, l'eau ne doit s'infiltrer sur les côtés et sous la clé.

5^{ème} étape : Mettre en place l'enrochement :

Les pierres sont déposées sur le géotextile en prenant soin de ne pas le déplacer ni le perforer. Les clés sont remplies avec des pierres (la terre peut être utilisée mais uniquement pour le remplissage du fond de la clé en haut). Le niveau de la pierre dans la partie haute du déversoir doit se situer en dessous du point le plus bas de la berme et du champ. Ensuite, la partie centrale du déversoir peut être couverte de pierres. La pelle hydraulique se placera finalement sur le côté du déversoir et façonnera la forme parabolique en se servant du dos du godet.

6^{ème} étape : Former une risberme si nécessaire :

Lorsqu'on veut concentrer l'eau en bout de champ vers le déversoir, il faut éviter de creuser une rigole d'interception trop près de la bande riveraine. En effet, cette rigole risque de favoriser l'infiltration de l'eau et à la longue de créer une fissure dans le sol entraînant le glissement du talus. Ceci est particulièrement le cas dans des cours d'eau plus profonds que 3 mètres ou lorsque la pente de la rigole est trop faible. Il est préférable de construire une risberme de 25 à 30 cm de hauteur de chaque côté du déversoir, avec une pente de 1V :8H de façon à dévier l'eau vers celui-ci. Cet aménagement permet de limiter le nombre de déversoirs à aménager dans la berge d'un cours d'eau. La longueur de la risberme est fonction de la topographie du terrain. Elle est en terre et engazonnée.

1.5 - Risques associés à des problèmes de mauvaises conception ou construction :

1.5.1. Contournement de l'eau d'un côté ou des deux côtés du déversoir et érosion du sol :

Cause :

- Largeur de la crête d'entrée sous dimensionnée par rapport au débit et au volume d'eau se concentrant à cet endroit.
- Mauvais positionnement du déversoir.
- Mauvaise forme du déversoir, trop plat pas assez d'effet d'entonnoir.
- Obstacle à l'entrée du déversoir (pierres, débris, résidus, glace).

1.5.2. Affouillement en dessous du déversoir :

Le phénomène d'affouillement peut se produire lorsque l'eau creuse un chenal sous l'ouvrage. L'eau de ruissellement du champ passe en dessous du géotextile.

Cause :

- Clé mal faite, pierre mal placée et mal compactée.
- Utilisation d'un type de géotextile inadapté (exemple : géotextile trop perméable, de type tissé).
- Géotextile insuffisamment remonté sur les bords ;
- Tablier d'entrée trop court (plus le sol est sablonneux plus le tablier doit être long).

1.5.3. Pierres dans le déversoir qui dévalent en bas du talus :

Si le talus est trop abrupt ou si les pierres sont trop petites et rondes, l'eau en provenance du champ, les transportera jusqu'en bas de la structure.

Dans les cas de déversoirs aménagés dans les berges d'un cours d'eau à fort débit ou à forte vitesse, l'eau du cours d'eau peut également déchausser l'aménagement.

Cause :

- Clé mal faite, pas assez profonde.
- Géotextile mal installé dans le pied et la clé de base du déversoir.
- Calibre de pierre trop petit pour la vitesse du courant du cours d'eau ou pour l'impact des glaces.
- Affouillement de la berge de part et d'autre du déversoir et contournement de la clé du pied par le cours d'eau.

I.6 – Entretien et Conclusion :

Une inspection régulière ou réalisée après une crue importante permet de vérifier la stabilité du déversoir et l'accumulation de sédiments et de débris en amont ou dans le déversoir. Cette accumulation de matériaux peut amener un changement de direction de l'eau et la création de ravines aux abords du déversoir. Celui-ci ne sera donc plus fonctionnel. Il est important de retirer les débris et les sédiments occasionnellement. Si des pierres roulent en bas de la structure, un ajout manuel localisé peut s'avérer nécessaire.

Certaines pratiques culturales comme le semis direct ou d'autres méthodes de travail réduit du sol favorisant le maintien de résidus au sol, contribuent à réduire la vitesse de l'eau en surface et à diminuer le transport de sédiments. Le maintien de résidus ou de couvert herbacé sur une zone d'au moins 5 mètres de rayon autour du déversoir enroché permet de capter les sédiments et de prévenir les risques d'affouillement de l'ouvrage par le ruissellement en provenance du champ.

CHAPITRE II :

DÉVERSOIR PIANO KEY WEIR (P.K.WEIR)

II.1- INTRODUCTION :

La mobilisation des eaux de surface est assurée en grande partie par les barrages réservoirs, néanmoins, ces ouvrages de mobilisation sont confrontés à deux problèmes d'importance fondamentale. Le premier se rapporte aux risques de l'insuffisance de la capacité d'évacuation de l'évacuateur de crues et le second correspond aux effets néfastes de l'envasement.

Les rapports sur les incidents de rupture des barrages ont montré que presque un tiers des accidents sont liés à l'insuffisance de la capacité de l'évacuateur de crues. Par conséquent, l'ICOLD (Comité International des grands Barrages) a recommandé la réadaptation d'un grand nombre d'évacuateurs de crues pour assurer la sécurité des barrages. Par conséquent, les ingénieurs de conception des barrages doivent choisir des crues de conception de plus grandes périodes de retour. Ceci a pour résultat des évacuateurs de crues de largeur plus importantes qui dépasse la largeur des déversoirs existants, ce qui conduit à la construction de nouveaux évacuateurs de crues qui auront comme conséquence un coût de réalisation trop élevé.

Afin de réduire le coût des évacuateurs de crues des nouveaux barrages et rendre possible le remodelage des évacuateurs de crues des barrages existants, les ingénieurs de conception des barrages tentent de réduire les dimensions globales de l'évacuateur de crues et de simplifier sa construction, sans affecter le degré de sécurité exigé. La solution qui répond à ces exigences est la conception d'un évacuateur en labyrinthe caractérisé par une crête à axe brisé en plan qui est bien convenu pour des cas où la largeur du déversoir est limitée par la topographie du terrain pour les nouveaux barrages ou par la largeur du déversoir existant en cas de réadaptation d'un évacuateur de crues existant. Le concept implique un ouvrage où la longueur de crête est développée par une configuration en ligne brisée qui engendre une crête plus longue que la largeur du déversoir.

Le déversoir en labyrinthe est caractérisé par une grande capacité d'évacuation de débit sous une charge relativement faible contrairement aux déversoirs rectilignes. Cet avantage inclut le faible coût de réalisation et de maintenance en comparaison avec les déversoirs rectilignes et une exploitation plus fiable comparée à celle des déversoirs vannés. Bien que le déversoir en labyrinthe ait une large application pour les barrages en terre, sa conception pour les barrages poids reste un inconvénient.

Une nouvelle forme de déversoir non rectiligne baptisée Piano Keys Weir (P.K. Weir) a été développée par Hydroscope-France en collaboration avec le Laboratoire Aménagements Hydrauliques et Environnement de l'Université de BISKRA (ALGERIE).

Ce nouveau type de déversoir a l'avantage d'être appliqué aux barrages en terre et sur des sections réduites de barrages poids existants ou nouveaux. Le P.K. Weir permet l'évacuation des débits spécifiques jusqu'à $100 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$, en multipliant au moins par trois le débit d'un déversoir Creager, sa construction est simple et facile et peut être réalisé par des ressources locales de chaque pays.

Le P.K. Weir réduira considérablement le coût de la plupart des nouveaux barrages et permettra d'améliorer à la fois, la capacité d'évacuation de l'évacuateur de crues et la capacité de stockage de la retenue des barrages existants.

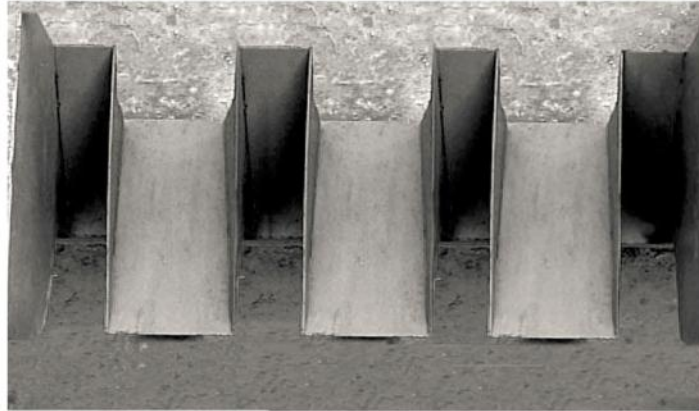


Photo 7 : Déversoir en clés de piano (P.K. Weir)

II.2 - CONFIGURATION GEOMETRIQUE DU P.K.WEIR :

Sur la base des essais préliminaires sur des modèles réduits physiques la forme géométrique du P.K. Weir a été définie par :

- Une disposition rectangulaire des alvéoles quelque peu semblable aux formes de Clefs de Piano, ce qui explique le nom de Déversoir en Clefs de Piano (P.K. Weir)
- Un radier incliné des alvéoles amont et aval, ce qui favorise l'utilisation des porte-à-faux.
- Une longueur réduite de la base grâce à l'utilisation des porte-à-faux.
- Une largeur réduite des éléments grâce à la forme rectangulaire.
- Une surface réduite des murs latéraux.

La variation de la forme en plan du déversoir est possible, cependant, la forme la plus avantageuse de point de vue facilité de construction correspond à la forme symétrique rectangulaire en plan (Fig.8).

La configuration d'une telle forme est définie par la hauteur (H), la largeur des alvéoles amont et aval (a et b), la longueur des porte-à-faux (c et d), la largeur d'un cycle (W) et du nombre de cycles (n).

Ainsi, le rendement du P.K. Weir sera une fonction des paramètres sans dimensions suivants : h/H ,

W/H , L/W , a/b , d/c et n . Ces paramètres dérivent directement de la géométrie du P.K.Weir et de la charge d'exploitation, ils sont donc d'importance principale.

Le rendement du P.K.Weir peut être aussi affecté par les paramètres d'importance secondaire résultant des détails de construction, comme la forme d'entrée sous les porte-à-faux, la section de la crête et la présence des corps flottants.

Une couverture systématique de l'effet des différents paramètres d'importance principale et des paramètres d'importance secondaires a été réalisée par voie expérimentale.

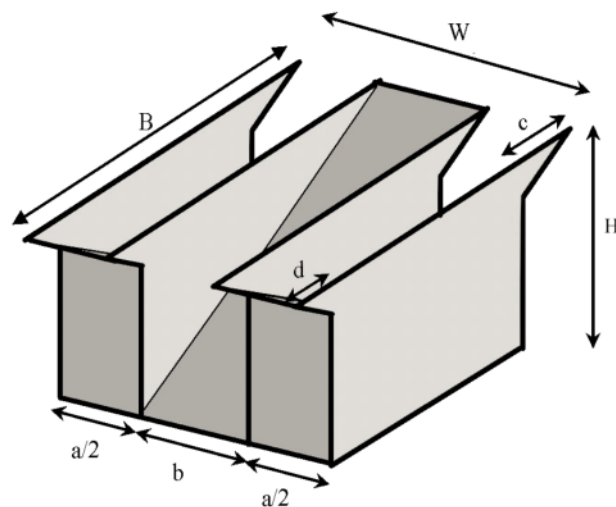


Figure8 : Schéma d'un élément du déversoir en clefs de Piano
(P.K.Weir)

H : hauteur maximale du P.K.Weir

B : longueur d'une paroi latérale

a : largeur de l'alvéole amont

b : largeur de l'alvéole aval

c : longueur du porte-à-faux amont

d : longueur du porte-à-faux aval

W : largeur du déversoir

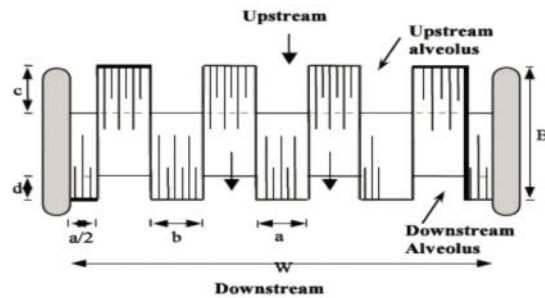


Figure9 : Vue en plan du déversoir en clefs de Piano

II.3 -Mode d'écoulement sur le P.K.Weir :

L'écoulement sur le P.K.Weir est tout à fait différent de celui d'un déversoir en labyrinthe, il se caractérise par deux nappes déversantes, la première sous forme d'un jet du fond qui s'écoule le long du radier incliné de l'alvéole aval et la deuxième sous forme d'un écran plus ou moins mince selon la charge sur le déversoir. La deuxième nappe qui est superficielle favorise l'aération du déversoir à cause de la présence des porte-à-faux (Photo 8).



Photo 8 : Ecoulement en deux nappes déversantes sur un cycle de P.K.Weir

II.3.1 Rapport de l'aspect vertical, W/H :

Le rapport d'aspect vertical qui représente la géométrie verticale peut avoir deux indications, la première reflète l'effet de la variation de la hauteur pour une largeur de cycle fixe et la seconde indique l'influence de la variation de la largeur pour une hauteur du déversoir fixe.

Les résultats des essais obtenus sur trois modèles de P.K.Weir de même largeur de cycle et de hauteur différente indiquent que le coefficient de débit est dépendant du paramètre W/H . Autrement dit, la capacité d'évacuation est dépendante de la hauteur du P.K.Weir. L'accroissement de la hauteur de 25% fait augmenter la capacité d'évacuation d'environ 6% (Fig.10).

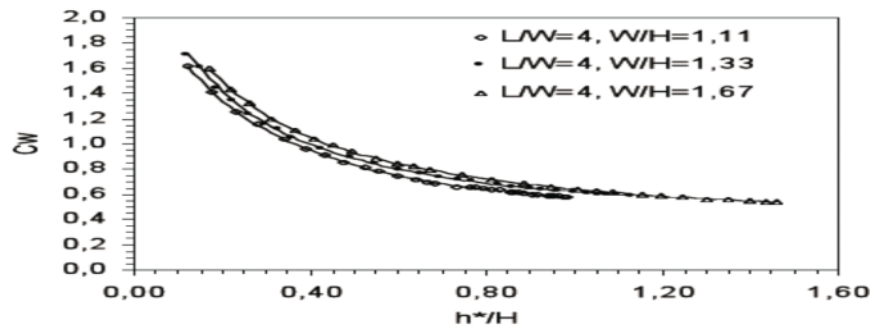


Figure10 : Coefficient de débit en fonction du rapport de l'aspect vertical W/H

II.3.2 Longueur relative, L/W :

Généralement, le ratio L/W qui exprime le rapport entre la longueur totale de la crête et la largeur du déversoir influe remarquablement sur l'écoulement.

La figure-11- montre que l'augmentation dans l'accroissement de la longueur fait augmenter la capacité d'évacuation d'une manière significative, faire augmenter le ratio L/W de deux fois cela conduit à un accroissement du coefficient de débit de plus de 50% pour les charges relatives $h^*/H < 0.4$. Cependant, l'efficacité diminue remarquablement pour les charges relatives $h^*/H > 0.6$. Le faible gain dans la capacité d'évacuation enregistré pour les grandes valeurs de L/W et h^*/H est peu probable en pratique de justifier les dépenses supplémentaires impliquées.

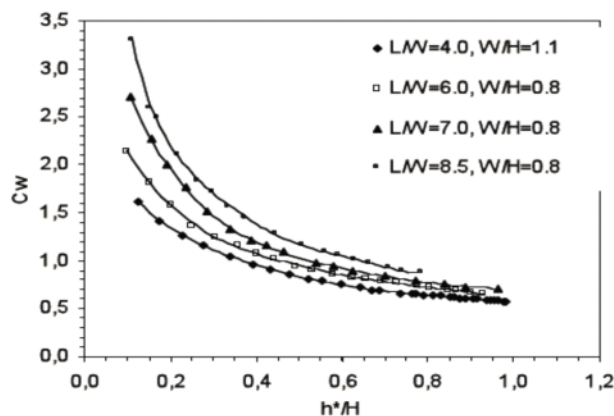


Figure 11 : Coefficient de débit en fonction du ratio L/W Largeur

II.3.3 Impact des corps flottants :

Afin de vérifier le comportement du P.K.Weir dans le cas de fonctionnement en présence des corps flottants, des essais ont été effectués dans des conditions d'encombrement extrême de l'entrée du déversoir. Pendant l'expérimentation, il a été remarqué qu'aucun blocage des corps flottants sous les porte-à-faux n'a été observé pendant la montée du niveau d'eau de la base du P.K.Weir jusqu'à la crête. Pour les faibles charges les corps flottants sont entraînés dans les alvéoles aval et reste bloqués jusqu'à une charge moyenne de l'ordre de $0.4H$. Au-delà de cette charge les corps flottants commencent à être évacués systématiquement vers l'aval.

Le graphique 12. Montre que l'impact des corps flottants se caractérise par une réduction du coefficient de débit pour des charges relatives $h^*/H < 0.5$, au-delà de cette valeur, l'écoulement redevient normal et le coefficient de débit prend des valeurs égales aux valeurs correspondant à l'écoulement libre.

L'effet des corps flottants peut réduire le débit d'environ 10 % quand la profondeur de la lame déversant est dans la gamme de 1 ou 2m (Comme pour le déversoir Creager).



Photo 9 : Fonctionnement du P.K.Weir avec encombrement de l'entrée par des corps flottants

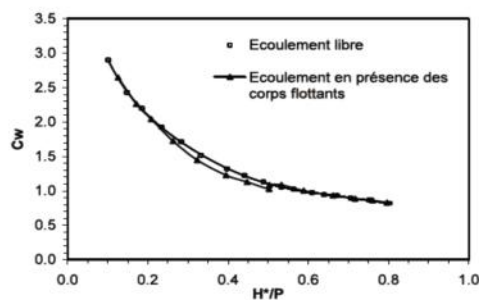


Figure 12 : Coefficient de débit en fonction de la présence des corps flottants

Cette analyse expérimentale a permis de sélectionner deux types de P.K.Weir en fonction de la performance hydraulique et du critère économique.

Le premier type de P.K.Weir (A) se caractérise par des porte-à-faux amont et aval identiques, ceci favorise l'utilisation des éléments préfabriqués en béton armé qui peuvent être utilisés pour des débits spécifiques jusqu'à $20 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ (Fig. 13).

Le second type de P.K.Weir (B) est défini par des porte-à-faux uniquement en amont, des gains importants en rendement sont d'environ 10 % par rapport au type A sont enregistrés. Les efforts structurels sont moins importants pour les grands débits spécifiques. Cela pourrait ainsi être le choix le plus attirant pour plusieurs futurs barrages (Fig.14).

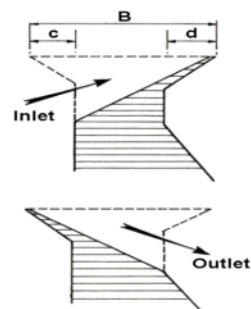


Figure 13:P.K. Weir (Type A)

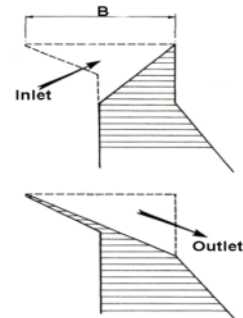


Figure14:P.K. Weir (Type B)

II.4 - EXEMPLE D'APPLICATION DU P.K.WEIR POUR DES BARRAGES ALGERIENS :

Deux exemples d'application du P.K.Weir à des cas réels de barrage ont été effectués. Le premier correspond à l'accroissement de la capacité de la retenue du barrage ZitAmba (SKIKDA) et le second exemple correspondant à la fois à l'accroissement de la capacité de la retenue et à l'augmentation de la capacité d'évacuation de l'évacuateur de crues du barrage Ain Zada (Bordj Bou Arreridj).

II.4.1 Barrage ZitAmba :

Le barrage de ZitAmba est situé à la wilaya de Skikda (Algérie). Cette région est caractérisée par le développement intensif de l'industrie et de l'agriculture, ce qui entraîne une augmentation considérable de consommation en eau. Les travaux de construction du barrage ont été achevés en novembre 2000.

- Les caractéristiques principales du barrage sont :

Apport annuel moyen $50 \text{ Hm}^3/\text{an}$

Côte du niveau normal de la retenue : 86

Côte du niveau maximum de la retenue : 91

Côte du niveau mort de la retenue 62

Capacité totale de la retenue 120Hm³

Cote de la crête 92

Hauteur du barrage : 47.5m

Longueur en crête : 640m

Largeur en crête : 10m

L'évacuateur de crues est implanté sur la rive droite de la vallée, il est prévu pour évacuer la crue maximale de 1094m³/s, sous une charge d'eau sur le seuil du déversoir de 5m. Le déversoir existant est de type Creager de hauteur de pelle 3m, le seuil est callé à la cote 86 qui correspond au NNR.

Le déversoir est raccordé en aval à un coursier convergent de 125m de longueur avec une pente du radier de 22,4%. Le coursier se termine par un saut de ski.

Pour compenser une partie de la capacité de la retenue perdue suite à l'envasement, la solution de surélévation du seuil de déversoir peut être rentable.

Une surélévation du seuil de 2.5m permettra une augmentation la capacité de la retenue de 22 mm³ et réduira en conséquence la charge sur le seuil de déversoir à 2.5m.

Le choix d'un P.K.Weir pour la surélévation du seuil peut être une solution rentable. Le débit spécifique étant de 21.88 m³/s, le P.K.Weir de Type (A) avec des porte-à-faux symétriques correspondra à la solution la plus économique.

H	B	W	a	b	c	d	Wt	n	L/W	W/H
m	m	m	m	m	m	m	m	/	/	/
5.7	17	4.54	2.27	2.27	5.68	5.68	50	11	8.5	0.8

Tableau 2 : Caractéristique géométrique du P.K.Weir

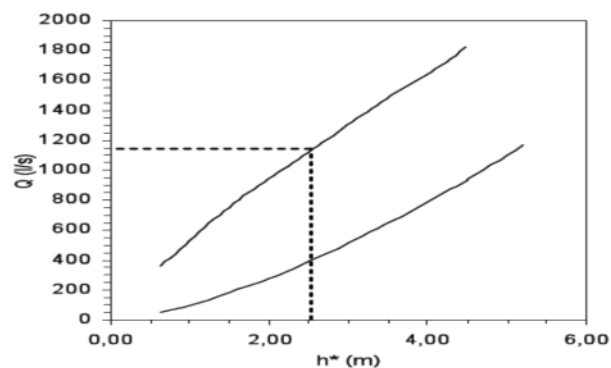


Figure 15 : Courbe de débit du déversoir du barrage ZitAmba

Pour une charge de 2.5m sur le seuil du P.K.Weir le débit évacué sera de $1132\text{m}^3/\text{s}$. Cette solution conduit à un abaissement du seuil existant de 3.2m pour permettre la construction d'un P.K.Weir de hauteur 5.7m.

II.4.2 Barrage Ain Zada :

Le barrage Ain Zada situé dans la wilaya de Bordj Bou Arreridj (Algérie) est destiné à l'alimentation en eau potable des villes environnantes. Il a été construit pendant la période 1981- 1983 et sa mise en eau était en 1985.

Les principales caractéristiques de ce barrage sont :

- Digue en enrochement avec un noyau en argile.
- Capacité de la retenue 125Hm^3 à la côte 855.
- Niveau maximum de la retenue (NPHE) 864.2, qui correspond à une capacité égale à 240Hm^3 .
- Volume mort 15Hm^3 , à la côte 838.
- Largeur de la crête du barrage 7m.
- Longueur de la crête 688m.

L'évacuateur de crue est situé à distance de la digue sur la rive droite du barrage dans un ravin naturel. Il comprend un déversoir de type Creager de 75m de longueur, dont le niveau du seuil est à la côte 855.

Le déversoir se déverse dans un coursier rectangulaire convergent de longueur 185m, dont la largeur passe de 75 m en amont à 45 m en aval.

Le coursier de pente constante 8.4 % fait 180 m de long et se termine par un saut de ski.

L'évacuateur de crues est conçu pour évacuer un débit de $4400\text{m}^3/\text{s}$ sous une lame d'eau de 9.2 m correspondant à la côte 864.2. Le barrage Ain Zada est prévu pour satisfaire les besoin en eau des villes de Sétif, Bordj Bou Arreridj et El Eulma jusqu'à l'horizon 2010. Les besoins croissants en eau pour les trois Villes dépassent la quantité d'eau planifiée.

Pour combler partiellement une partie du déficit, il est recommandé d'exploiter le volume d'eau déversé qui est estimé à $27\text{Mm}^3/\text{an}$. L'exploitation de ce volume demande l'accroissement de la capacité de la retenue.

L'augmentation de l'espace du réservoir peut être obtenu par la surélévation du seuil du déversoir existant, tout en assurant un degré de sécurité d'évacuation des crues et de maintenir le même niveau des plus hautes eaux. Ce choix paraît être rentable et faisable étant donné que la rénovation se limite seulement au déversoir.

La surélévation du seuil du déversoir de 3.0m permet d'augmenter la capacité de la retenue de 41mm³ et réduit la charge sur le seuil du déversoir à 6.2m, le niveau maximum de la retenue étant le même que celui avant la surélévation.

Le choix du P.K.Weir pour la surélévation paraît être une solution efficace pour augmenter à la fois la capacité de la retenue et la capacité du déversoir. Le débit spécifique étant important (58.67 m³/s/m), la solution la plus adéquate correspond au P.K.Weir de type (B) qui se caractérise par une capacité qui peut aller jusqu'à 100 m³/s/m.

H	B	W	a	b	c	d	Wt	n	L/W	W/H
m	m	m	m	m	m	m	m	/	/	/
9.0	18	7.2	3.6	3.6	9.0	0.0	75	10.4	6	0.8

Tableau 3 : Caractéristique géométrique du P.K.Weir

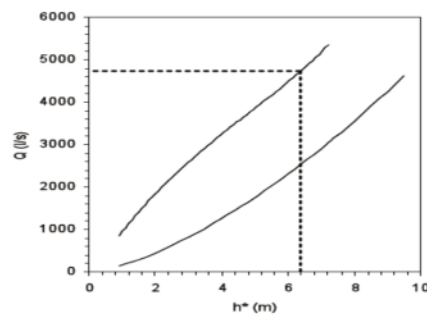


Figure 16 : Courbe de débit du déversoir du barrage Ain Zada

Pour une charge de 6.2m sur le seuil du P.K.Weir le débit évacué sera de 4650m³/s, soit un accroissement de la capacité d'évacuation de 250 m³/s. Par conséquent le seuil du déversoir existant doit être abaissé de 6.0m pour permettre la construction d'un P.K.Weir de hauteur 9.0m.

II.5 - CONCLUSIONS :

Le déversoir en clés de piano (P.K.Weir) représente une solution efficace pour l'accroissement de la capacité de stockage et/ou la capacité d'évacuation des crues de la plupart des barrages existants. Il peut être une solution économique pour les évacuateurs de crues des nouveaux barrages. Ce nouveau type de déversoir se caractérise par :

- Sa simple configuration géométrique qui permet l'utilisation des éléments préfabriqués,
- Son fonctionnement est similaire aux déversoirs à écoulement libre mais beaucoup plus efficace,

- Multiplie au moins par quatre le débit spécifique d'un déversoir standard,
- Permet l'évacuation des débits spécifiques jusqu'à $100 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$.
- Réduit considérablement le coût de la plupart des nouveaux barrages et garanti leur sécurité.
- Augmente le stockage de beaucoup de réservoirs existants pour un coût dans la gamme de 5 cents \$ US par m^3 dans la plupart des pays en voie de développement et vingt cents \$ US dans des pays industrialisés.
- Améliorer la prévention des crues pour beaucoup de barrages existants.
- Augmenter la capacité déversant de beaucoup de barrages existants avec $0,5 \text{ m}^3$ de béton armé par m^3/s supplémentaire.

Deux exemples d'application de P.K. Weir pour des barrages algériens ont montré que ce type de déversoir représente une solution efficace pour augmenter la capacité de stockage de la retenue et accroître la capacité d'évacuation des crues.

CHAPITRE III : DÉVERSOIR SIPHON

III.1- INTRODUCTION :

Les processus hydrauliques sur le Heyn siphon peuvent être enquêtés avec l'unité accessoire HM 160.36 siphon évacuateur de crues. Observations précises de «Processus de démarrage» et les phénomènes de surtension qui produisent à la fin de l'action de siphon peuvent être réalisés. Soupape de ventilation montée au sommet du siphon permet une comparaison précise doit être faite entre la siphonner l'action et le déversoir de trop-plein normal. En outre, des mesures quantitatives de la circulation la capacité de débit du siphon et son coefficient de trop-plein peut être déterminée. Le plexiglas matériau garantit une très bonne vue de tous les processus de flux. Le siphon évacuateur HM 160.36 est conçu pour une installation dans le canal d'écoulement modulaire HM 160 et peut être monté et démonté très facilement. Les domaines suivants sont couverts par le siphon déversoir HM 160.36 en combinaison avec le canal d'écoulement modulaire HM 160:

- _ Méthode de fonctionnement d'un déversoir à siphon
- _ Coefficients d'écoulement et le taux d'un déversoir à siphon d'écoulement
- _ Flux de tuyaux
- _ Processus de cavitation à débordement et siphon déversoirs

III.2- Unit description :

L'unité HM 160.36 siphon évacuateur de crues est le modèle un déversoir de Heyn et présente une installation de ventilation sur le haut. Il est conçu pour une installation dans le flux modulaire canalisé HM 160.

III.2.1-Components :

La livraison de la HM 160.36 comprend les éléments individuels suivants:

- _ siphon barrage transparent (1) en plexiglass avec valve d'aération (2)
- _ Vis à six pans creux à tête M8 (3)
- _ Le tuyau d'étanchéité (4)

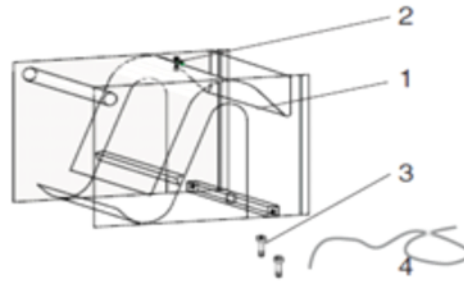


Figure 17 : Components

III.2.2 - Assemblée :

- Appuyez sur le déversoir de siphon (1) dans le canal de du côté de l'entrée (attention à la direction) et fixer au lit du canal avec la vis à six pans creux à tête M8 (3). Le siphon déversoir peut être fixé dans différentes positions.
- Sceller le déversoir de siphon sur les côtés en poussant un tuyau en plastique raccourci appropriée (4) dans les rainures longitudinales (5).
- Lors du montage, vous devez vous assurer que le les surfaces latérales du déversoir à siphon sont pas rayé.

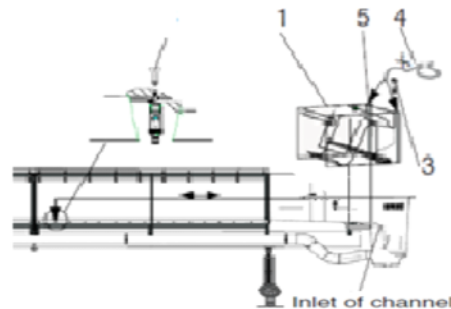


Figure 18 : Assemblée

Important:

Effectuer le montage et le démontage uniquement lorsque le canal est vide, de sorte que chuté des vis ou des éléments similaires ne peuvent être rincés à l' sortie.

III.3 - sécurité :

Dans tous les cas, il est essentiel de prévenir vis et autres petites pièces d'être rincé en l'ouverture de sortie du canal d'écoulement HM 160 par de l'eau. Ce serait détruire la pompe centrifuge. Par conséquent, toujours suivre les consignes de sécurité ci-dessous:

- _ Montage et le démontage du déversoir à siphon ne peut être effectuée lorsque l'eau a évacuée.
- _ Après l'assemblage ne laissez pas d'outils dans le canal de flux.
- _ Raccords de canaux toujours sécurisées en toute sécurité afin pour prévenir les dommages.
- _ Le déversoir à siphon est constitué de plexiglas fragiles ce qui n'est pas anti-rayures. Par conséquent, faire pas utiliser de produits de nettoyage abrasifs pour nettoyer-il.

III.4 - CONCLUSIONS :

Dans le présent travail expérimental, en utilisant deux modèles physiques de déversoir siphon avec différentes croix section, le coefficient de décharge en deux parties a été étudié.

Les expériences montrent que le coefficient de décharge en siphon déversoir avec une section transversale circulaire est plus élevé que section rectangulaire que celui-ci est meilleur et plus adapté à l'épuisement rapide de l'eau du réservoir.

CHAPITRE IV : DÉVERSOIR D'ORAGE

IV.1 - Définition :

Généralement, on désigne par le terme « déversoir » des ouvrages de dérivation conçus pour les flux et limiter le débit dirigé par temps de pluie vers l'aval du réseau et donc vers la STEU. Ce terme générique de déversoir peut être précisé par différents aspects, comme par exemple Valiron (1995) ou Chocat (1997) :

- « Sur un réseau unitaire, on désigne par déversoir d'orage l'ensemble du dispositif dont la fonction est d'évacuer vers le milieu naturel les pointes de ruissellement de manière à décharger le réseau aval » (Valiron 1995), « Une deuxième fonction du déversoir est d'assurer un partage des flux polluants entre le milieu naturel et le collecteur aval »,
- « Le déversoir d'orage est un ouvrage permettant le rejet direct d'une partie des effluents au milieu naturel lorsque le débit à l'amont dépasse une certaine valeur. Les déversoirs d'orage sont généralement installés sur les réseaux unitaires dans le but de limiter les apports au réseau aval et en particulier dans la STEU en cas de pluie ». (Chocat 1997).

Un déversoir d'orage est donc un ouvrage de contrôle permettant une régulation hydraulique des effluents en réseau d'assainissement (Figure 22). Il dérive une partie des effluents lorsque le débit à l'amont dépasse une certaine valeur que l'on appelle "débit de référence". Le débit dérivé peut sortir complètement du système d'assainissement, soit y être réinjecté après stockage dans le bassin.

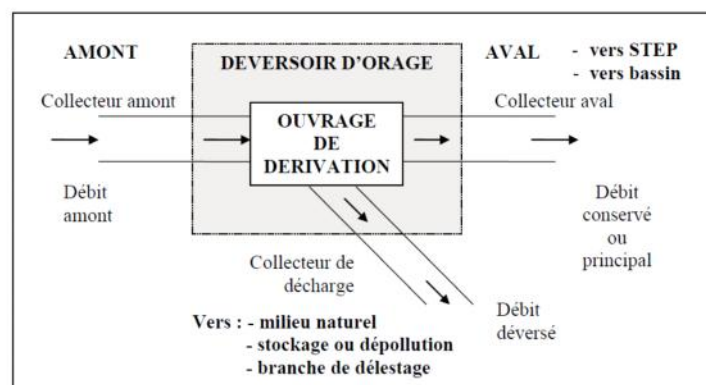


Figure 22 : Schéma de principe du déversoir d'orage

On appelle seuil, également déversoir, un ouvrage de contrôle bien qu'il soit souvent utilisé pour la mesure de débit. La différence avec un déversoir **d'orage** réside dans le fait que le seuil n'a pas la fonction de partage de débit puisqu'il n'a pas de conduite de dérivation.

De plus, un seuil cherche à contrôler une hauteur d'eau à l'amont de l'ouvrage pour un débit amont donné alors qu'un déversoir cherche à contrôler un débit aval conservé quelle que soit la hauteur d'eau à l'amont.

Afin de montrer la complexité du fonctionnement de ces ouvrages, la Photo11 représente un déversoir d'orage latéral en cours de déversement. On constate qu'il déverse un peu à l'amont et beaucoup à l'aval de la crête alors qu'en partie centrale, il n'y a pas de déversement. Aux deux tiers de la crête déversant, on a une élévation rapide de la ligne d'eau qui représente un ressaut hydraulique.

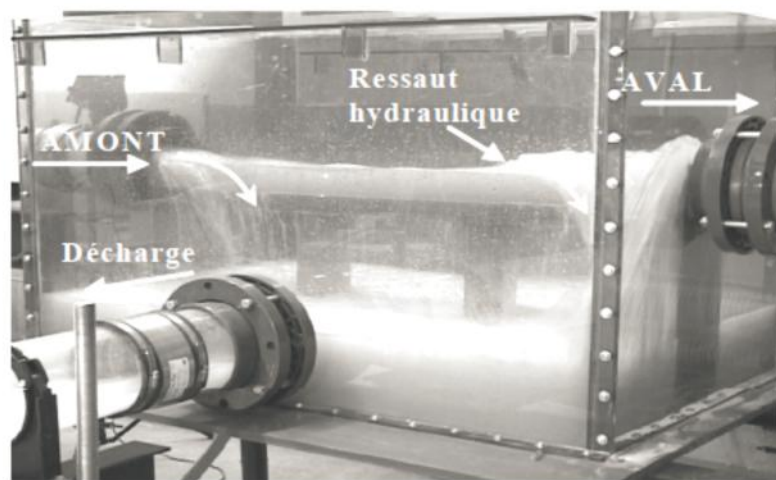


Photo11 : Fonctionnement d'un déversoir d'orage latéral

L'étude en laboratoire [Buyer, 2001] a montré que, pour les déversoirs latéraux, le ressaut hydraulique est souvent présent soit au droit de la crête déversant, soit dans les conduites amont ou aval de l'ouvrage.

La Photo12 représente un autre déversoir latéral en cours de fonctionnement. D'un point de vue hydraulique, dès qu'il y a déversement, la conduite aval est en charge. Dans ce type d'ouvrage, il y a souvent une réduction de section entre la conduite d'entrée (amont) et la conduite aval, cela se traduit par un entonnement. L'effet de cet entonnement et de la mise en charge de la conduite aval génèrent une élévation importante de la ligne d'eau à l'aval de la crête déversant.

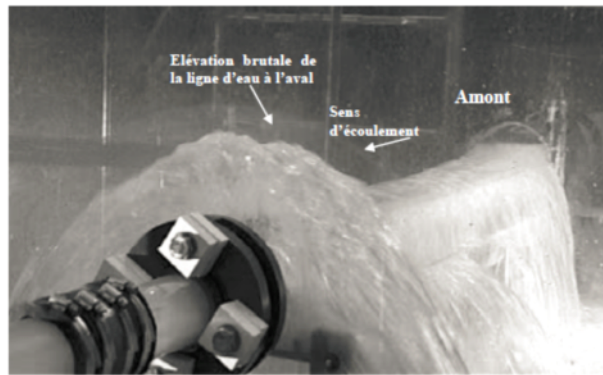


Photo12 : Fonctionnement d'un déversoir latéral avec entonnement

IV. 2 – Fonctions :

L'utilisation de déversoirs et de seuil pour réguler les écoulements n'est pas une découverte récente ; leur usage remonte à une époque lointaine. Les romains déjà avaient développé des systèmes similaires à ceux d'aujourd'hui.

Au Moyen Age, l'utilisation de l'énergie hydraulique avait été rendue possible grâce à l'usage de la roue hydraulique. Des seuils maintenaient alors le niveau d'eau nécessaire au fonctionnement des roues des moulins : ce fut l'une des premières utilisations répandues de cette forme de mécanisation. Le débit régulé par le seuil et utilisé pour l'irrigation ou le fonctionnement des moulins pouvait facilement être modifié par l'ajout ou la suppression de planches sur le seuil de l'ouvrage.

Une pratique similaire a été utilisée pour les déversoirs d'orage des réseaux d'assainissement. A l'origine, comme son nom l'indique, le déversoir d'orage comportait généralement un seuil déversant calé au-dessus de la ligne d'eau aval du débit de temps sec maximum. Les déversoirs d'orage conçus il y a plus d'un siècle en même temps que les réseaux unitaires d'assainissement, avaient pour objet de rejeter à la rivière les débits que les collecteurs de l'aval ne pouvaient pas véhiculer, de façon à éviter les débordements du réseau. Ils devaient donc laisser passer le débit de pointe de temps sec et évacuer à la rivière les apports dépassant deux à trois fois le débit moyen de temps sec suivant le dimensionnement donné au système.

Depuis les années 1970, après la mise en évidence de la pollution des eaux de ruissellement, une fonction supplémentaire leur a été assignée : celle d'envoyer à l'aval vers la station d'épuration le maximum de pollution et si possible tous les flottants. Cette prise de conscience s'est traduite

également au niveau des textes réglementaires, où l'on trouve de nombreux articles faisant référence aux déversoirs d'orage.

Un déversoir d'orage doit donc assurer quatre fonctions principales :

- laisser transiter le débit des eaux usées de temps sec sans surverse et sans trop faire chuter la vitesse de l'écoulement afin de limiter la décantation des matières en suspension présentes dans l'effluent,
- laisser transiter les eaux usées et celles de petites pluies (niveau 1 au sens Certu, 2003) sans surverse jusqu'au débit de référence, c'est à dire le débit maximal admis à l'aval,
- déverser le débit excédentaire de pluie (au-delà du débit de référence) sans mise en charge et décantation dans la conduite amont et sans surcharge excessive de débit dans le réseau à l'aval,
- Empêcher l'entrée d'eau en provenance du milieu naturel.

Dans tous les cas, le Déversoir d'Orage (DO) est constitué d'un ouvrage de dérivation recevant les eaux d'un collecteur amont, les renvoyant au collecteur aval et dirigeant le "trop plein" vers un collecteur de décharge. Les déversements peuvent se faire vers des bassins d'orage ou de dépollution. Mais ils se font le plus souvent directement vers le milieu naturel (cours d'eau et plans d'eau), exceptions faites des bras morts de cours d'eau, des canaux, et, avec des conditions particulières, dans le domaine public maritime.

IV.2.1 : Courbe de fonctionnement :

Le comportement hydraulique d'un déversoir peut être caractérisé par la courbe de fonctionnement représentée à la Figure 23.

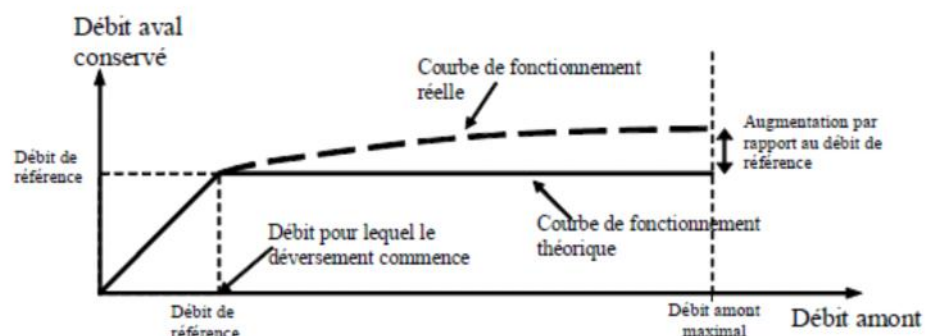


Figure 23 : Principe de fonctionnement hydraulique du déversoir d'orage

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 23, 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. 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 :

$$\% \text{ d'augmentation du débit aval} = \frac{\text{Débit aval conservé} - \text{Débit de référence}}{\text{Débit de référence}} \times 100 \quad (2.1.1)$$

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].

Plus on sera exigeant sur le pourcentage d'augmentation du débit aval conservé (par exemple 10% d'augmentation par rapport au débit de référence), plus il sera difficile de déterminer un déversoir répondant aux critères de fonctionnement. Dans certains cas, il faudra même prévoir une automatisation coûteuse (exemple : vanne mobile asservie à une mesure de hauteur d'eau), alors qu'en acceptant un pourcentage légèrement plus important (20 à 30%), le choix du déversoir peut être sans automatisme et donc plus économique.

IV.2.2. Principe de dimensionnement :

Le dimensionnement d'un tel ouvrage commence par le choix du débit de référence et du débit amont maximal en fonction des objectifs de protection (du milieu naturel, de la ville contre l'inondation...) qui doivent être assurés par le réseau d'assainissement.

Au débit de référence, on dimensionne la géométrie de l'ouvrage de telle sorte qu'il n'y ait pas de déversement. Ce calcul se fait en fonction des pentes et des formes des sections des canalisations en amont, en aval et au niveau du déversoir. Dans le cas des déversoirs à seuil, on dimensionne la hauteur de crête. Si le déversoir dispose d'un entonnement, celui-ci va influencer la hauteur de crête.

Au débit amont maximal, on dimensionne la partie déversant. Dans le cas des déversoirs à seuil, c'est la longueur de la crête et le nombre de crêtes que l'on évalue de telle sorte que l'augmentation du débit aval soit au maximum de 20 à 40% du débit de référence. Dans le cas où l'on a une diminution de sections entre les conduites amont et aval, la longueur du déversoir influence l'angle d'entonnement.

On constate donc que l'entonnement, la longueur et le nombre de crêtes sont les variables à choisir pour le dimensionnement d'un déversoir latéral ; la hauteur de crête étant quant à elle fixée par le débit de référence en relation avec les conditions d'écoulement dans la conduite aval. De plus, il arrive que l'on mette en place un dispositif limitant le débit passant vers le collecteur aval. Dans ce cas, l'objectif est de pouvoir modifier facilement par la suite le débit de référence. Ce dispositif peut être fixe (section réduite, masque,...) ou mobile (vanne, seuil gonflable,...).

IV.2.3. Principe de diagnostic :

L'ouvrage existant, sa géométrie (hauteur et longueur de crête, pente amont et aval...) est donc connu. On calcule alors, dans un premier temps, le débit de référence et le débit amont maximal.

Dans un deuxième temps, on trace la courbe de fonctionnement de l'ouvrage et on détermine ainsi l'augmentation du débit aval par rapport au débit de référence quand l'ouvrage est soumis au débit amont maximal.

On compare ensuite le débit de référence et le pourcentage d'augmentation du débit aval conservé dans le réseau par rapport aux objectifs de l'ouvrage.

Remarque :

La connaissance de la courbe de fonctionnement d'un déversoir est une étape préalable au diagnostic d'un réseau d'assainissement. Le comportement hydraulique des déversoirs étant caractérisé, on peut ensuite simuler l'ensemble du réseau afin de connaître par exemple, les fréquences de déversement, les volumes déversés,...

IV.3 : Composition des ouvrages annexes :

IV.3.1 : Ouvrages à l'intérieur du déversoir :

La Figure 6 schématise l'ensemble des ouvrages annexes que l'on peut trouver dans un déversoir.

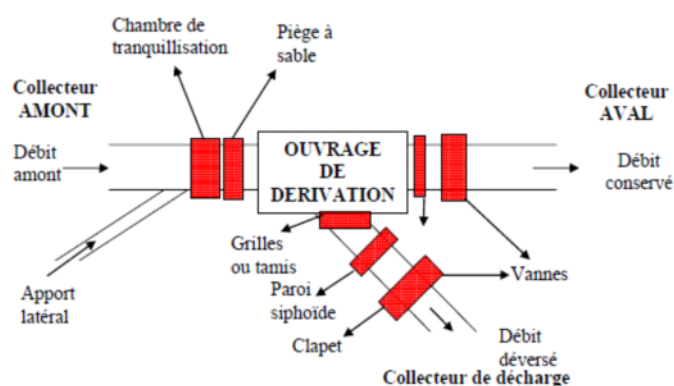


Figure 24: Conception détaillée d'un déversoir d'orage

Les grilles ont pour but de piéger les gros solides ($\varnothing > 6 \text{ mm}$) 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 râtelier 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 siphonide 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 eaux provenant du milieu naturel dans le réseau d'assainissement neutralisant alors l'ouvrage. Dans certains cas, on remplace la vanne par un clapet anti-retour.

IV.3.2. Déversoirs associés aux bassins :

Le déversoir d'orage peut jouer le rôle d'écrêteur 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:

Le bassin de transit à connexion directe (Figure 25) : 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).

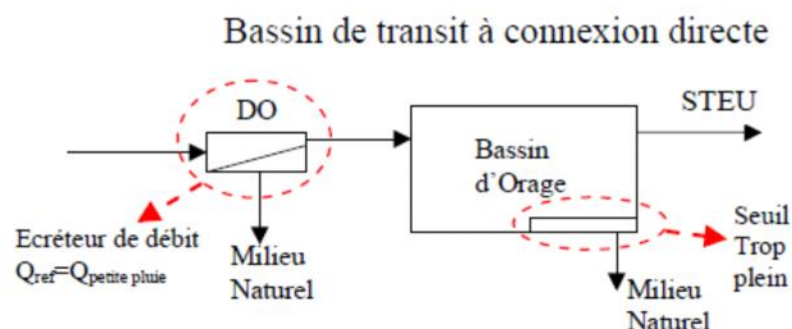


Figure 25 : Rôle des DO dans le fonctionnement d'un bassin de transit à connexion directe

Le bassin de transit à connexion latérale (Figure 26) : 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.

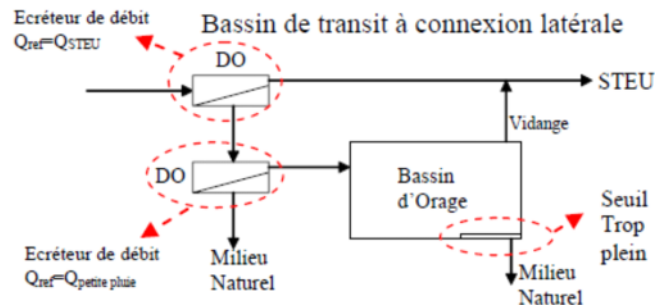


Figure 26 : Rôle des DO dans le fonctionnement d'un bassin de transit à connexion latérale

Le bassin piège à connexion directe (Figure 27) : 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.

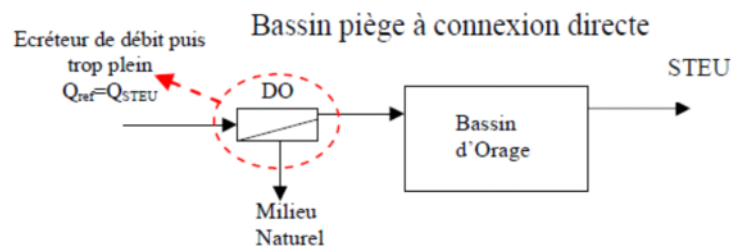


Figure 27 : Rôle des DO dans le fonctionnement d'un bassin piège à connexion directe

Le bassin piège à connexion latérale (Figure 28) : 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.

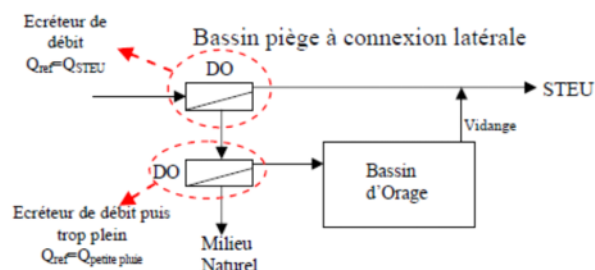


Figure 28 : Rôle des DO dans le fonctionnement d'un bassin piège à connexion latérale

IV.4 : Contraintes influençant le fonctionnement des déversoirs d'orage :

Les déversoirs d'orage sont souvent construits sur des systèmes unitaires, à proximité d'un milieu récepteur. Le choix d'un déversoir d'orage résulte d'un compromis fait au moment de la réalisation ou de la rénovation du réseau unitaire selon quatre types de contraintes (Tableau 4) :

Contraintes	
Physiques (géométrie + hydraulique)	Topographie : pente, bassins hydrographiques, existence d'exutoires naturels, etc. Occupation du sol : densité de l'habitat et des activités, voirie, sous-sol, etc. Ouvrages hydrauliques proches du DO (bassin, station de pompage...)
Environnementales	Protection du milieu naturel contre les pollutions. Protections des riverains contre les pollutions diverses (santé, odeurs, bruit...). Variations du niveau d'eau du milieu naturel.
Economiques	Coût des collecteurs vis-à-vis du coût du déversoir et de ses ouvrages annexes.
Gestion	Mode de gestion : statique, dynamique (ouvrages mobiles). Facilités d'exploitation : accès, nettoyage, entretien...

Tableau 4 : Ensemble des contraintes pour le choix d'un DO

Certaines de ces contraintes ne peuvent pas varier, comme la topographie, et d'autres évoluent avec l'urbanisation et l'économie, mais la priorité doit être donnée à la sécurité et à l'environnement comme le justifie la réglementation.

La topographie impose les grandes lignes du réseau dans chaque bassin d'apport de la ville et est tributaire des exutoires naturels que l'urbanisation ne peut effacer. Dans les zones plates, il faut parfois adjoindre à certains déversoirs des exutoires qui peuvent être très longs et très coûteux. Dans certains cas, un pompage d'exhaure est nécessaire afin de soulager le réseau en temps de pluie alors que le milieu naturel est en crue. Cela revient à pomper dans la conduite de décharge afin de pouvoir évacuer le débit déversé vers le milieu récepteur en crue.

La topographie est le paramètre qui influence le plus le choix du type de déversoir à construire. En effet, les régimes hydrauliques se développent essentiellement en fonction des pentes du site. En fonction du régime fluvial ou torrentiel certains déversoirs peuvent créer de graves dysfonctionnements tels que les mises en charges du réseau d'assainissement, à l'amont ou à l'aval de l'ouvrage suivant le cas.

VI.5 : Conclusion :

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. Cette maîtrise du fonctionnement hydraulique des déversoirs s'avère donc une étape incontournable.

Conclusion Générale :

Lorsque le niveau normal du réservoir de retenue est atteint, des déversoirs sont prévus pour garantir le non-dépassement de ce niveau. Ils doivent laisser passer sans dommage les plus grosses crues. Ainsi, on les appelle parfois des évacuateurs de crues. Un déversoir est donc nécessaire pour évacuer le surplus du débit sans risquer d'endommager le barrage, la centrale électrique ou le lit de la rivière en aval du barrage. Le type le plus courant de déversoir est le dégorgeoir. Pour permettre une utilisation maximale du volume de la réserve, des vannes mobiles sont parfois installées au-dessus de la crête (sommet du barrage), afin de réguler le surplus. Dans les barrages, comme celui du Mississippi, les déversoirs de crues ont une telle importance que le dégorgeoir occupe la largeur entière du barrage, et la structure globale apparaît comme une succession de piles verticales, supportant des vannes mobiles. La glissière, autre type de dégorgeoir, est un large chenal à pente douce en béton, construit généralement aux extrémités d'un barrage de remblai de hauteur moyenne.

Le type de déversoir dépend parfois de la topographie du site sur lequel le barrage est construit. Dans les vallées étroites, par exemple, les parois des barrages sont généralement trop escarpées pour qu'on puisse y installer des déversoirs de type dégorgeoir. Le barrage Hoover, sur le fleuve Colorado, aux États-Unis, est équipé d'un déversoir en forme de puits. Les puits déversoirs sont adaptés aux barrages dans des zones de drainage restreint, où les inondations sont rarissimes. Dans ces déversoirs, un puits vertical en amont du barrage évacue l'eau du réservoir lorsque le niveau est trop haut. Le puits vertical est raccordé à un conduit horizontal, en travers du barrage, qui mène à la rivière située plus bas.

Bibliographies:

ABE 325, Purdue University. « Conservation structures », Soil and Water Conservation Engineering,
<http://cobweb.ecn.purdue.edu/~abe325>

Collectif 2007. Évaluation des débits de pointe pour les petits bassins versants agricoles du Québec
http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/EvaluationDebitsPointe_FR_web.pdf
(dernière consultation le 17 juin 2009)

Edwards Ken. Rectangular and trapézoïdal open channel design calculation. LMNO Engineering,
Research and Software, Ltd, home page, 7860, Angel Ridge road, Athens, Ohio USA
<http://www.lmnoeng.com/index.shtml> (dernière consultation le 20 avril 2009)

MAPAQ 1990. Normes de conception et d'exécution pour les travaux de conservation et gestion du sol
et de l'eau ; chapitre 9

OMAFRA 1989. L'érosion du sol – causes et effets.
<http://www.omafr.gov.on.ca/french/engineer/facts/89-064.htm> (dernière consultation le 20 avril 2009)

OMAFRA 1997. Planification et entretien des ouvrages de lutte contre l'érosion.
<http://www.omafr.gov.on.ca/french/engineer/facts/97-016.htm> (dernière consultation le 20 avril 2009)

OMAFRA 1999. Construction de chutes en gabions le long d'un cours d'eau.
<http://www.omafr.gov.on.ca/french/engineer/facts/99-050.htm> (dernière consultation le 20 avril 2009)

Blanc, P. & Lempérière, F. 2001. Labyrinth spillways have a promising future. The international
journal of Hydropower & Dams Issue Four.

Lempérière, F. 2000. More cost data may help to optimize spillways. The international journal of
Hydropower and Dams. Issue four.

Lempérière, F., Ouamane, A. 2003. The piano keys weir: a new cost-effective solution for spillways.
The international journal of Hydropower and Dams volume ten, issue Five.

Ouamane, A. Lempérière, F. 2006. Nouvelle conception de déversoir pour l'accroissement de la capacité des retenues des barrages. Colloque International sur la Protection et la préservation des ressources en eau. Blida. Algérie

DUPONT J.M., 1996, Modélisation et étude bibliographique des déversoirs d'orage, 3^{ème} année de l'Ecole Polytechnique de Paris.

BEZIAT A., 1997, Classification et typologie des déversoirs d'orage, Mastère Eau Potable et Assainissement (ENGEES).

RIVASSEAU V., 1998, Modélisation tridimensionnelle des déversoirs d'orage, D.E.A. Mécanique et Ingénierie et 3^{ème} année ENGEES.

BUYER M., 1999, Elaboration d'un outil de simulation hydraulique des réseaux d'assainissement, D.E.A. mécanique et Ingénierie ULP de Strasbourg.

FRANCOIS M., 2000, Modélisation 1D des déversoirs d'orage, 4^{ème} année technologique ENGEES.
HAM S., 2000, Schéma TVD et modélisation des réseaux d'assainissement, maîtrise de mathématiques appliquées ULP de Strasbourg.

FLAMENT S., 2001, Modélisation 1D et calage des déversoirs d'orages, diplôme d'ingénieur de l'ENGEES.

CHARDON L., 2000, Mise au point d'un algorithme de mesure de surface d'eau en lumière structurée, Maîtrise de Mathématiques option Ingénierie ULP de Strasbourg.

ROLLET D., 2002, Instrumentation des déversoirs d'orage : mise en place de l'auto surveillance à Sélestat, diplôme d'ingénieur de l'ENGEES.

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'ULP : soutenue le 5 décembre 2002, Université Louis Pasteur de Strasbourg.

LABEYRIE B., STELS C., VIARD E., 2003, Etude des déversoirs latéraux : Validation du logiciel Déversoir et étude comparative des formules et modèles existants, Licence Professionnelle "Eau et Environnement" ENGEES-ULP.

GALLIN Y., 2003, Mise au point d'un nouveau mode d'instrumentation des déversoirs d'orage : application au site de Sélestat, diplôme d'ingénieur de l'ENGEES.