

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Ecole Nationale Polytechnique

Département d'Hydraulique

***MEMOIRE DE MASTER EN
HYDRAULIQUE***

Thème :

***Impact du choix du déversoir sur
l'évacuation de la crue***

Réalisé par :

M^r KHEDIMALLAH.Seyf el islam

Dirigé par :

M^r MOULOUDI . Yahia

Promotion 2015

ملخص :

حاولنا من خلال هذه المدكرة المتواضعة للماستر تسليط الضوء على مصرفات المياه كما أبرزنا دورها في سلامة الأبنية الهيدروليكية في إشارة إلى أنواع مختلفة منها واكسسواراتها. أيضا ناقشنا التصميم الهيدروليكي لها وظواهر الفيضانات وكيفية تقييم معدلاتها و اختتم العمل من خلال معالجة الآثار المترتبة على اختيار مصرف المياه على الهيكل الهيدروليكي.
الكلمات المفتاحية : فيضان, سد , مصرف المياه

Résumé :

Nous avons essayé à travers ce modeste travail de master de projeter la lumière sur les déversoirs tout en mentionnant leur rôle déterminant dans la sécurité de l'ouvrage hydraulique et tout en faisant allusion aux différents types de déversoirs et leurs accessoires. Nous avons également abordé la conception hydrauliques des déversoirs ainsi que les phénomènes de crues et comment évaluer leurs débits et nous avons conclu le travail en traitant l'impact du choix du déversoir sur l'ouvrage hydraulique.

Mots clés : déversoir, crue, barrage

Abstract :

We tried through this modest master working to shed light on the weirs while mentioning their role in the safety of the hydraulic structure and while referring to different types of weirs and accessories. We also discussed the hydraulic design of the weirs and flood phenomena and how to assess their rates and we concluded the work by treating the impact of the choice of the weir on the hydraulic structure.

Key words: weirs, flood, dam,

Remerciements

Je tiens à exprimer toute ma gratitude envers mon promoteur Mr. MOULOUDI.Y pour le soutien, l'aide et les conseils qu'il m'a dispensé pour l'élaboration du présent mémoire de fin d'étude.

*Je remercie le président et les membres du jury qui me feront
L'honneur de juger mon travail.*

*Je voudrais aussi remercier l'ensemble des professeurs de l'école pour avoir veillé à notre
formation.*

*Un grand merci tout spécial à ma famille, à mes parents qui m'ont permis de poursuivre mes
études, à mon frère et sœur et à tous mes amis qui n'ont cessé de me soutenir et de
m'encourager tout au long de mes années d'études.*

Dédicace

Je dédie ce modeste travail en signe de respect et de reconnaissance :

A mes très chers parents pour tous leurs sacrifices consentis à mon égard pour que je réussisse.

*A mon frère Yasser et ma sœur Lyna, mes neveux et nièces, en leur souhaitant tout le
bonheur du monde.*

A toute la famille KHEDIMALLAH à travers le monde entier.

*A tous mes amis, mes camarades, mes collègues et à tout l'ensemble des étudiants de l'Ecole
Nationale Polytechnique.*

Et en fin à tous qui m'ont aidé et œuvré de près ou de loin pour l'élaboration de ce travail.

Toute ma gratitude pour ceux que je n'ai pu porter leurs noms.

Table des matières

<u>Introduction générale</u> :	1
---	---

Chapitre 01: Types des déversoirs et leurs accessoires

1 Introduction :	3
2) – Définition d'un déversoir :	3
3)- Objectifs des déversoirs :	4
4)- Types des déversoirs :	4
4-1 Déversoir de surface :	5
4-2 Déversoir en charge :	6
5)-Choix du type de déversoir :	7
6)-Critères de dimensionnement des déversoirs :	8
7)- Principaux équipements hydrauliques des déversoirs :	9
7-1 Chenal d'écoulement :	9
7-2 Coursier :	10
7-3 Bassin d'amortissement :	10
8)- Conclusions :	11

Chapitre 02: Conception hydraulique des déversoirs

1)-Introduction :	12
2)-Emplacement des déversoirs :	12
2-1 Critères morphologiques :	12
2-2 Critères liés aux enjeux :	13
2-3 Critères hydrauliques :	13
3)- Impact du déversoir sur la ligne d'eau dans la rivière en crue :	14
4)-loi de débit d'un déversoir :	14
4-1Rappel de quelques notions hydrauliques :	15
4-1-1 Notion de débit :	15
4-1-2 Notion de charge hydraulique :	15
4-2 Méthode générale de calcul du débit transitant par un seuil :	15
4-3 Définition du type de crête du seuil :	16
4-4 Régimes d'écoulement :	17
4-5 Déversoir à crête mince :	18

Table des matières

4-5-1 En écoulement dénoyé :	18
4-5-2 En écoulement noyé :	23
5-conclusion :	24

Chapitre 03: Sécurité et évacuation des crues

1 Introduction :.....	25
2 conception des évacuateurs de crue :.....	25
2.1 Composants D'un Evacuateur De Crue :.....	25
2.1.1 Section De Contrôle	26
2.1.2 Chenal Ou Galerie De L'évacuation De Crue :	26
2.1.3 Dissipateur D'énergie :	26
3 Classification Des Evacuateurs	27
3.1 Critères D'utilisation.....	27
3.2 Critère D'exploitation	27
3.3 Critères Topographique :.....	27
4 Différents Types D'évacuateurs De Crue :.....	28
4.1 Les évacuateurs de surface :	28
4.2 Les évacuateurs en charge :	28
5 Facteurs Intervenant Dans Le Choix Du Type D'évacuateur	29
5.1 La qualité des prévisions de crue :	29
5.2 La séismicité de la zone de l'aménagement ;.....	29
5.3 La durée et les degrés d'utilisation :.....	29
6 Le type de barrage :.....	30
7 Les crues :	30
7.1 Introduction :.....	30
7.2 Définition de la crue :	30
7.3 Origine de la formation des crues :	30
7.3.1 Evénements hydrométéorologiques intrinsèques ou combinés:	30
7.3.2 Embâcle ou débâcle de glace, de matériaux flottants (bois) :	30
7.4 Evaluation des débits maximaux des crues :.....	31
7.4.1 L'ANALYSE FREQUENTIELLE :	31
7.4.2 LA METHODE DU GRADEX :	32
7.4.3 LES METHODES ANALOGIQUES :	33
7.4.4 LES FORMULES EMPIRIQUES :	34

Table des matières

8	Conclusion :	35
---	--------------------	----

Chapitre 04: Déversoirs et évacuation des crues

1	Introduction :.....	36
2	sécurité et impact du déversoir sur l'ouvrage hydraulique :	36
3	déversoir et évacuation de la crue :	37
3.1	Profil du déversoir Greguer :.....	37
3.2	Etude comparative entre les différents types de déversoirs et leurs façons d'évacuer la crue :	38
4	Conclusion :	40

Chapitre 05 : Exemples pratique sur l'évacuation de la crue

1	Introduction :.....	41
2	Barrage de Bouroumi :	41
2.1	Aperçu général du barrage :.....	41
2.2	Description de l'évacuateur de crue :	42
2.2.1	Caractéristiques générales :	42
2.2.2	L'écoulement à travers le déversoir :	42
3	Le barrage de Kheddara :	43
3.1	Bref aperçu du barrage :.....	43
3.2	Description de l'évacuateur de crue :	43
3.3	Ecoulement à travers le déversoir :.....	44
4	Barrage de Tilesdit :.....	44
4.1	Bref aperçu du barrage :.....	44
4.2	Description de l'évacuateur de crue :	44
5	Conclusion :.....	45

<u>Conclusion générale</u>	46
---	----

Références bibliographique

Liste des figures

Liste des Figures

<u>Figure 1-1</u> : Evacuateur frontal.....	05
<u>Figure 1-2</u> : Différents types de Déversoir en charge.....	06
<u>Figure 1-3</u> : Nature du ressaut suivant le nombre de Froude amont.....	11
<u>Figure 2-1</u> : déversoir à crête mince en écoulement dénoyé.....	18
<u>Figure 2-2</u> : déversoir rectangulaire sans contraction latérale.....	19
<u>Figure 2-3</u> : déversoir rectangulaire avec contraction latérale.....	20
<u>Figure 2-4</u> : vue en perspective d'un déversoir triangulaire.....	21
<u>Figure 2-5</u> : coupe transversale d'un déversoir trapézoïdal.....	21
<u>Figure 2-6</u> : vue en perspective d'un déversoir labyrinthe.....	22
<u>Figure 3.1</u> : Principe de la méthode du GRADEX	33
<u>Figure 4-1</u> : profil du déversoir type Greguer.....	37

Liste des tableaux

Listes des tableaux

Tableau 2-1 : régimes d'écoulement suivant le type de crête du déversoir.....17

Tableau 4-1 : comparaison entre les différents types des déversoirs.....40

Tableau 5-1 : caractéristiques du barrage de Bouroumi.....41

Tableau 5-2 : caractéristiques du barrage de Kheddara.....43

Introduction

générale

L'utilisation des déversoirs remonte probablement au moins aux premiers grands aménagement 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 vannage, de seuils et de déversoirs pour absorber et étaler d'éventuelles crues brutales.

L'eau en déversant sur une digue en terre, acquiert une vitesse forte et érode le talus et le pied. Cette érosion se développe ensuite rapidement de manière régressive, et généralement s'ensuit une brèche qui inonde brutalement la zone réputée protégée.

Les pertes économiques sont souvent énormes. La brutalité des processus peut engendrer des pertes de vie humaines si la zone inondé est habitée ou comporte des infrastructures de transport.

Arme à double tranchant, une digue assure donc une protection pour les crues moyennes, si elle est bien construite, et constitue une source de danger pour les crues fortes si aucune disposition n'est prise.

On sait que les barrages sont pratiquement toujours équipés par de déversoir de crue, destinés à éviter la surverse sur leur crête jusqu'à des crues extrêmement rares.

Certains déversoirs peuvent sécuriser les zones protégées par les digues en limitant les conséquences en limitant en cas de surverse. D'autre déversoirs sont destinés spécialement à l'écrêtement des crues et doivent fonctionner plus fréquemment. Les objectifs de ces deux types de déversoir sont très différents, cela nous conduit à qualifier les uns de déversoir de sécurité et les autres de déversoirs de dérivation. Il existe certains ouvrages jouant les deux rôles, dans tous les cas le fonctionnement hydraulique reste le même.

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.

La rupture par surverse est la première cause de rupture pour les petits barrages en remblai. D'où l'intérêt de dimensionner le déversoir correctement et de le réaliser de façon soignée pour assurer la sécurité totale de l'ouvrage hydraulique.

Pour ce faire nous allons essayer de projeter la lumière à travers ce travail de Master sur les déversoirs tout en mentionnant leur rôle déterminant dans la sécurité de l'ouvrage hydraulique et en commençant bien entendu par le premier chapitre qui fait allusion aux différents types de déversoirs et leurs accessoires , à passer ensuite à la conception hydrauliques des déversoirs qui sera traitée dans le deuxième chapitre, le troisième chapitre sera consacré aux phénomènes de crues et en bouclant la boucle en touchant plusieurs aspects dans le quatrième chapitre avec l'impact du choix du déversoir sur l'ouvrage hydraulique

Chapitre 01 : Les
types des déversoirs
et leurs accessoires

Les types des déversoirs et leurs accessoires

1 Introduction :

L'implantation des déversoirs sur les digues n'est pas vraiment une idée nouvelle, ils sont installés depuis plusieurs siècles aussi bien sur des rivières à crue lente que sur des rivières plus torrentiels. Il est nettement clair que la présence d'un déversoir diminue la sollicitation des digues et diminue les risques de rupture en cas de forte crue. L'étude de danger autant pour un sujet neuf que pour une digue existante, pourra donc conclure que la présence des déversoirs est hautement nécessaire pour protéger les digues contre les risques de ruptures liés aux surverses, et donc les populations et les biens situés en aval.

Il est donc nécessaire afin d'éviter des pertes en vie humaines de prévoir sur les digues et les barrages -comme il en existe systématiquement- des déversoirs ou des parties déversantes. L'implantation de ces déversoirs est considérée comme étant la solution technique à privilégier pour éviter la rupture lors d'une surverse, en cas d'évènement dépassant en intensité la crue de protection.

Simple dans son principe, le concept de déversoir se heurte cependant à des difficultés techniques qu'il ne faut pas négliger lors de la conception de tels ouvrage[2]

2) – Définition d'un déversoir :

Un déversoir fait transiter de l'eau d'un espace vers un autre. S'il débite de la rivière vers la vallée, c'est un déversoir de dérivation. Le débit dans la rivière décroît de l'amont vers l'aval du déversoir. S'il débite au contraire de la vallée vers la rivière – cas moins fréquent – c'est un déversoir de restitution ou bien réservoir. Le débit dans la rivière décroît de l'amont vers l'aval du déversoir.

Un déversoir sur une digue se présente comme une échancrure généralement longue revêtu en matériau résistant au déversement, par exemple en maçonnerie, en béton, en gabions, en enrochement bétonnés.

Donc en termes plus claires nous allons dire que Les déversoirs de crue sont des ouvrages annexes aux barrages, qui permettent la restitution des débits de crues excédentaires (non stockés dans le réservoir) à l'aval du barrage.

Les types des déversoirs et leurs accessoires

D'une importance primordiale pour la sécurité du barrage, les déversoirs doivent être en mesure d'empêcher le débordement de l'eau par-dessus la digue et l'apparition de phénomènes d'érosion à l'aval de la digue dans la zone de rejet dans l'oued.[4]

3)- Objectifs des déversoirs :

La conception des déversoirs dans un système d'endiguement peut répondre à plusieurs objectifs :

- L'objectif le plus évident pour un déversoir est de protéger la digue sur laquelle il est implanté contre les dommages pouvant résulter d'une surverse en section courante de l'ouvrage.
- Limiter pendant les submersions progressives les dommages occasionnés aux enjeux protégés ainsi qu'à la digue elle-même par les écoulements rapides de submersion.
- A l'échelle du cours d'eau les déversoirs peuvent avoir pour fonction d'abaisser la ligne d'eau en crue dans certaines parties du cours d'eau en inondant volontairement certains casiers avant d'autres
- En termes de réduction des crues, un déversoir aura plusieurs effets tant sur l'aval qu'à l'amont. Sur l'aval en soustrayant une partie du débit de la crue et de son volume, il s'agit probablement là de l'effet le plus incontestable et le plus efficace. Quant à l'amont si l'écoulement de la crue est de type fluvial le déversoir aura un impact en termes d'abaissement de la ligne d'eau en crue.

4)- Types des déversoirs :

Les déversoirs peuvent être groupés en deux principaux types : les déversoirs de surface et les déversoirs en charge.

Les types des déversoirs et leurs accessoires

4-1 Déversoir de surface :

Il s'agit du type le plus communément utilisé et aussi le plus fiable. L'évacuateur de surface débute par un seuil. Ce seuil dans un chenal à faible pente qui amène l'eau à l'aval de la digue. L'eau emprunte ensuite le coursier dont la pente permet de rattraper la différence de cote entre le niveau de la retenue et celui de l'oued à l'aval. Le coursier aboutit soit directement dans l'oued (différence de cote faible), soit dans un bassin d'amortissement (cas de forte pente).

L'évacuateur de surface est placé selon les cas (Figure I-1) :

- déversoir **latéral** : latéralement à l'axe du barrage sur une rive
- déversoir **frontal** : parallèlement à l'axe du barrage

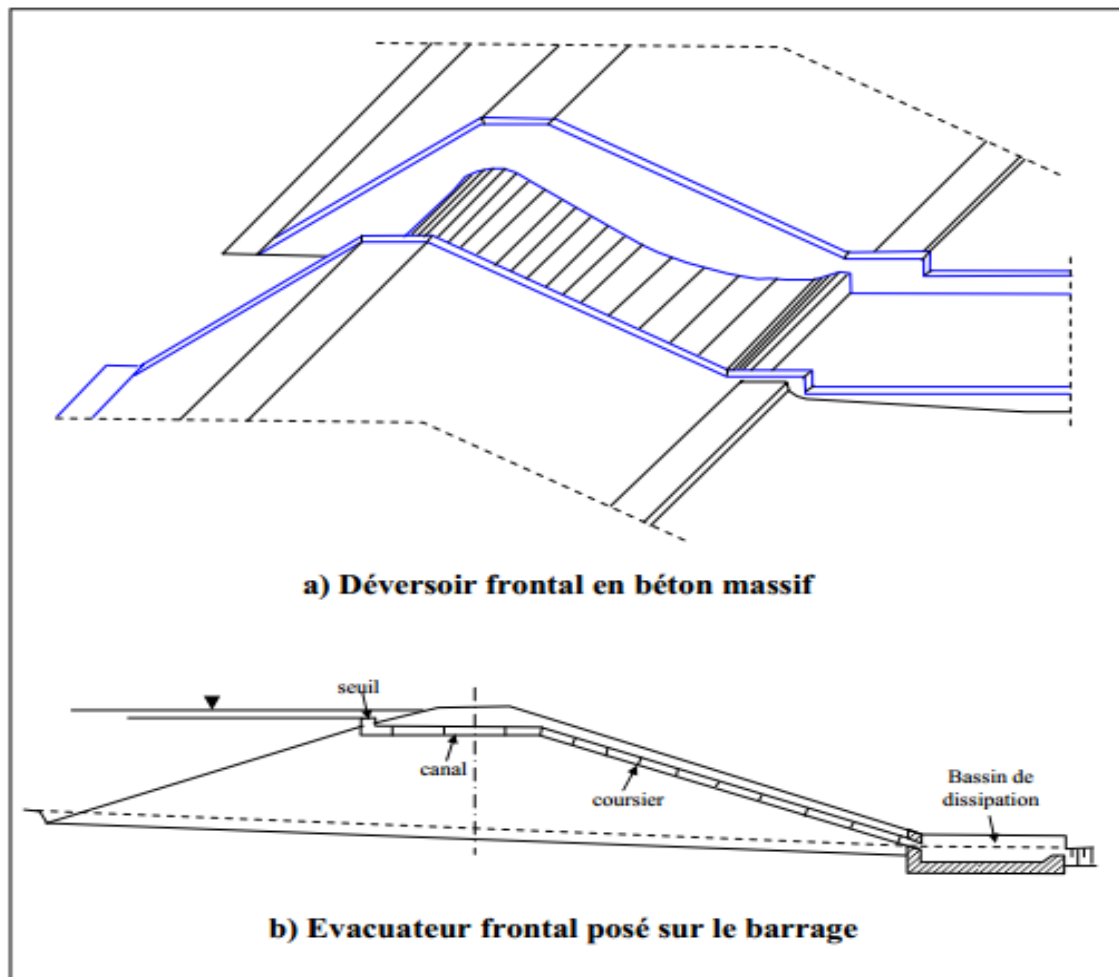


Figure 1-1 : Evacuateur frontal

Les types des déversoirs et leurs accessoires

Le déversoir du type latéral est adopté dans le cas où la pente du versant est faible. Ce type d'ouvrage repose directement sur le sol et n'est donc soumis à des tassements sous l'effet du massif du barrage. Si la pente du versant est forte, un déversoir latéral conduit à des déblais importants et un déversoir frontal est alors préférable. Ce type de déversoir est également utilisé dans le cas de débit évacué très important conduisant à une longueur du seuil très importante. Lorsque la hauteur du barrage est de 10 à 15 m, le déversoir frontal est construit avec un massif en béton, tandis que pour des hauteurs inférieures, l'ouvrage peut être réalisé directement sur le couronnement du remblai, en modifiant le profil en travers de celui-ci et en protégeant le canal contre l'érosion.[4]

4-2 Déversoir en charge :

Ils peuvent être du type puits ou type siphon

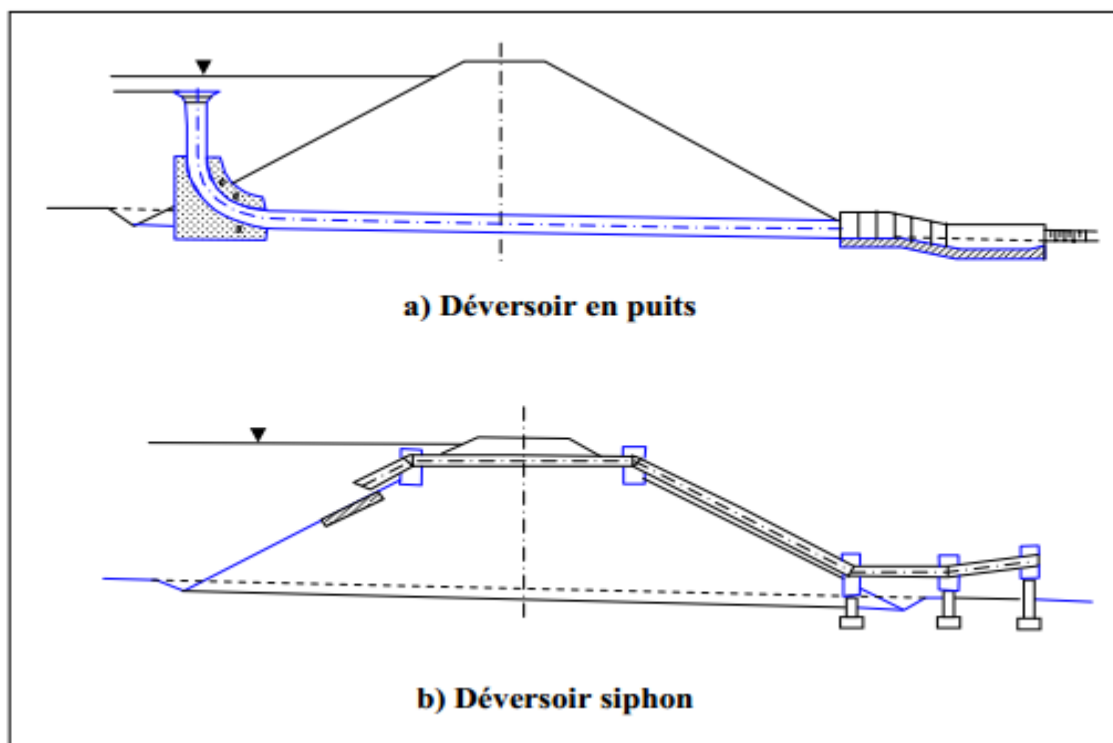


Figure 1-2 : Différents types de Déversoir en charge

Les types des déversoirs et leurs accessoires

L'évacuateur en puit est un ouvrage en béton de forme circulaire. Il évacue l'eau par chute verticale dans la conduite enterrée débouchant à l'aval de la digue dans un bassin de dissipation. Le puit peut servir également de tour de prise d'eau. La conduite d'évacuation joue le rôle de conduite de vidange.

L'évacuateur en siphon est constitué d'une simple conduite qui fonctionne par aspiration. Cette conduite peut être incorporée dans la digue ou, de préférence, posée dans une tranchée latérale creusée dans la berge. Des grilles installées à l'entrée de l'évacuateur permettent d'éviter l'obstruction par les corps flottants.

5)-Choix du type de déversoir :

Le choix entre un déversoir de surface et un déversoir en charge dépend :

- de l'importance des débits à évacuer
- de la dénivellation entre la cote des plus hautes eaux et celle du lit de l'oued dans la zone de rejet des eaux à l'aval,
- de la nature des terrains traversés par l'ouvrage, en particulier par le canal ou coursier (rendant nécessaire ou pas le revêtement).

Dans tous les cas, il est recommandé de concevoir l'évacuateur de crues le plus simplement possible afin de circonscrire les coûts dans les limites raisonnables.

Il faut noter que les déversoirs en charge ont, par rapport aux déversoirs de surface :

- une marge de sécurité beaucoup moins grande, due aux variations du débit en fonction de la charge nettement moins élevée ($H^{1/2}$ et $H^{3/2}$).
- Un coût de réalisation plus élevé.

Les types des déversoirs et leurs accessoires

6)-Critères de dimensionnement des déversoirs :

Pour l'étude des déversoirs d'un barrage en général et d'une retenue collinaire en particulier, il faut en premier lieu :

- établir la crue maximale à prendre en compte
- évaluer, au plan économique, l'opportunité d'évacuer en aval du barrage la totalité du débit de crue au moyen d'ouvrages de déversement appropriés.

Il aussi possible, en augmentant la revanche de manière appropriée, d'écrêter le débit de pointe et dimensionner le déversoir pour un débit de crues bien inférieur, sans qu'il ait à craindre une submersion de la digue.

Au cas où la morphologie de la retenue ne serait pas favorable et le débit de crue pas bien défini, la construction d'un réservoir aux dimensions adéquates pourrait constituer une contrainte si sérieuse que la réalisation d'un barrage dans la section considérée ne puisse être envisagée.

Le dimensionnement hydraulique et structurel des déversoirs exige une analyse approfondie des caractéristiques et du fonctionnement des différents ouvrages. Dans les paragraphes suivants nous présentons les principaux critères de base pour l'étude et le calcul hydraulique des déversoirs les plus couramment employés.[4]

Les types des déversoirs et leurs accessoires

7)- Principaux équipements hydrauliques des déversoirs :

La capacité d'évacuation est contrôlée par le déversoir situé dans la partie amont de l'évacuateur. Les parties aval (chenal, coursier, ...) doivent être conçues pour évacuer le débit du déversoir sans perturber le régime d'écoulement.

Le débit du déversoir est fonction de la charge sur le seuil et du profil de la crête. Le profil Creaguer est généralement adopté puisqu'il conduit à une lame déversante qui adhère à la forme de ce profil

7-1 Chenal d'écoulement :

Le chenal d'écoulement se situe à l'aval immédiat du déversoir, il doit posséder une pente suffisamment faible ($J_0 < J_c$) pour assurer un écoulement fluvial.

La forme rectangulaire est généralement la plus adaptée pour le chenal. L'écoulement dans ce chenal n'est généralement pas uniforme, car le chenal est trop court. Il s'établit un ressaut, juste à l'aval du déversoir, qui conduit à un écoulement fluvial.

Le passage en écoulement torrentiel au niveau du coursier est assuré par le rétrécissement formé généralement au niveau du changement de pente. Pour vérifier que l'écoulement est bien fluvial à l'aval du déversoir, la condition suivante doit être satisfaite :

$$h_0 > h_c$$

Avec :

h_0 : profondeur normale en écoulement uniforme;

h_c : profondeur critique

Les types des déversoirs et leurs accessoires

7-2 Coursier :

Le coursier fait suite au chenal d'écoulement et permet de conduire l'eau au talweg. Pour assurer de bonnes conditions à l'écoulement, il est conseillé de le construire en béton avec une section rectangulaire dans les barrages collinaires.

Les courants qui aboutissent au pied d'un coursier (ainsi que ceux qui s'écoulent dans une conduite d'évacuation) ont une vitesse élevée. Mais ils doivent rejoindre le cours d'eau à une vitesse très inférieure, l'énergie en excès doit être dissipée.

C'est sur ce critère que se basent les bassins d'amortissement à ressaut hydraulique, tandis que les bassins à auge se bornent à déplacer le courant plus en aval et à une distance assurant la sécurité de la digue contre des phénomènes d'érosion.

7-3 Bassin d'amortissement :

Dans les bassins à ressaut hydraulique, l'énergie dissipée peut être exprimée en fonction du nombre de Froude au niveau de la section initiale du ressaut (Fr_1). Le meilleur intervalle du nombre de Froude qui assure une dissipation d'énergie élevée et la régularité du courant aval est celui compris entre 4.5 et 9 (ressaut stable).

Pour des faibles valeurs de Fr_1 , le ressaut est dit fort. Il est appelé faible ou oscillant pour des grandes valeurs de Fr_1 . Ces valeurs entraînent la formation des ondulations dans le courant aval ou à des tourbillons instables voire à une dissipation d'énergie quasiment nulle.[1]

La figure ci-dessous montre la nature du ressaut suivant le nombre de Froude.

Les types des déversoirs et leurs accessoires

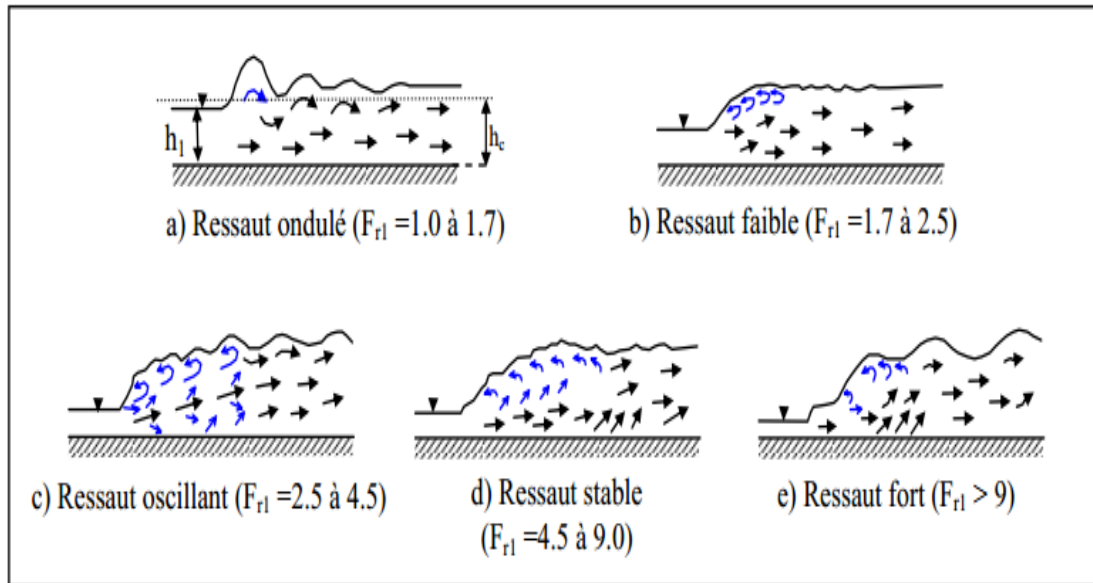


Figure 1-3 : Nature du ressaut suivant le nombre de Froude amont.

8)- Conclusions :

Pour conclure cette partie sur les déversoirs, notons qu'il n'y a pas de solution type. Pour un même projet, différentes solutions doivent être étudiées et comparées entre elles sur les plans techniques, sécurité de l'ouvrage, économique et facilité de mise en œuvre.

Il faut également rappeler les principaux facteurs qui peuvent influencer sur le coût de l'évacuateur de crues :

- la résistance des sols à l'érosion qui conditionne la nécessité ou non du revêtement
- les caractéristiques des déblais du chenal qui permettent leur utilisation pour la construction de la digue. Cet élément conditionne en grande partie le coût de l'évacuateur parce qu'il permet la meilleure utilisation des produits des excavations
- la simplicité de la conception.
- la topographie du site.

CHAPITRE 02 :

Conception

hydraulique des

déversoirs

1)-Introduction :

Il est hautement clair que pour les rivières nous sommes amenés à recommander que l'implantation d'un ou plusieurs déversoirs soit considérée comme étant la solution de base pour faire transiter de l'eau pendant les crues afin de protéger l'ouvrage dans lequel ils sont inscrits et les populations ainsi que leurs biens qui se situent en aval.

Donc le calcul et les mesures doivent se faire très efficacement tant pour la mise en œuvre des déversoirs que pour leur gestion. Par voie de conséquence une conception hydraulique qui tient compte de tous les aspects s'avère inéluctable pour qu'il ne soit pas lui-même une cause de péril de la digue et bien entendu afin de garantir la sécurité de l'ouvrage tout entier et assurer tout naturellement une bonne efficacité de l'écrêtement de la crue.

Ce chapitre a pour but de décrire le fonctionnement hydraulique des singularités de type « déversoir » et de recenser l'ensemble des travaux qui leur a été consacré, formules de débit notamment, afin de faciliter la compréhension de l'utilisation de ces ouvrages et de leur dimensionnement, ainsi que l'évaluation de leurs impacts.[2]

2)-Emplacement des déversoirs :

L'emplacement du déversoir au sein de la digue peut être dicté par des considérations géomorphologique, des considérations d'occupation des lieux en face du débouché ou par des considérations hydrauliques.

2-1 Critères morphologiques :

Les conditions géomorphologiques imposent d'éviter de positionner un déversoir dans une partie convexe du cours d'eau, pour éviter les dépôts solides qui viendraient compromettre le bon fonctionnement du déversoir. Il reste donc *et priori* les parties rectilignes et les parties concaves.

Les parties concaves présentent l'avantage de limiter très fortement la dérivation d'un débit solide vers l'ouvrage de dérivation, grâce au courant hélicoïdal se formant dans les coudes, et dû à la force centrifuge, qui explique aussi le dévers de la ligne

Conception hydraulique des déversoirs

d'eau transversale. Sur les rivières à fort transport solide, c'est la rive qui sera préférée, mais qui entraînera des protections de berge plus importantes qu'en 1 tronçon rectiligne pour éviter le contournement.

L'implantation dans un secteur où il y a eu des brèches peut s'avérer intéressante. Elle est plus facilement acceptée par les riverains, et cela revient à protéger la digue contre la surverse dans un tronçon où elle est la plus sensible.

L'implantation en tronçon rectiligne reste une solution envisageable, ne serait-ce que parce que ce peut être la seule solution que le site réserve. C'est en particulier le cas lorsque l'on est amené à faire deux déversoirs en face à face.

2-2 Critères liés aux enjeux :

Pour des raisons évidentes, on évitera de positionner le déversoir en face d'enjeux importants qui auraient à souffrir de déversements peu amortis. Cette condition peut être très contraignante dans des zones densément occupées qui ne pourraient pas facilement accueillir un déversoir de grande longueur. On pourra alors être amené à prévoir plusieurs déversoirs de longueur moyenne ou bien un déversoir unique mais dont la débitance par mètre est élevée (déversoir mobile, ou fusible ou labyrinthe).

2-3 Critères hydrauliques :

Le sujet n'est pas si simple : il faut s'intéresser à l'écoulement de la rivière vers le déversoir, à l'écoulement au-delà du déversoir dans la zone de réception et à l'écoulement dans la rivière, influencé par le débit dérivé.

Le premier point est de s'assurer que l'implantation autorise un bon écoulement de la rivière vers le déversoir, même si la végétation de l'espace entre le cours d'eau et la digue vient à se développer. On est en effet dans des situations hydrauliques où la lame d'eau dans ce secteur est forcément faible et donc très fortement influencée par l'état de surface. De plus, dans l'espace endigué, le transport solide en suspension reste confiné entre les deux digues, et à la décrue une se dépose sur les francs bords qui

Conception hydraulique des déversoirs

se surélèvent peu à peu.

D'un autre côté, le déversoir, lorsqu'il commence à entrer en jeu, crée un matelas d'eau amortisseur, cela conduit à privilégier un emplacement qui permet la formation de ce matelas tout le long du pied de digue, avant que celle-ci ne vienne à être submergée.

3)- Impact du déversoir sur la ligne d'eau dans la rivière en crue :

Vers l'aval, quel que soit le régime, le débit dans la rivière est diminué du débit dérivé et la ligne d'eau est moins haute sur une assez grande distance, en théorie jusqu'à la mer, ou jusqu'à ce que le débit dérivé rejoigne à nouveau le cours d'eau.

Vers l'amont, si le régime est fluvial, il y a un abaissement de la ligne d'eau par effet de remous. Cet effet diminue peu à peu vers l'amont, car les pertes de charges tout au long du cours d'eau «diluent» le bénéfice de l'abaissement aval.

Lorsque le débit dérivé est important et si l'écoulement est fluvial mais rapide, il y a possibilité de passage en torrentiel au droit du seuil avec formation d'un ressaut. Cette situation peu stable n'est pas souhaitée, elle peut se produire lorsque le seuil est long et présente un creux relatif important.

Si le régime est torrentiel, il n'y a pas d'abaissement amont, car un tel écoulement est piloté par l'amont. En outre, le débit dérivé est faible dans ce cas, mais cette situation n'est pas habituellement rencontrée pour les déversoirs en rivière.[2]

4)-loi de débit d'un déversoir :

Un déversoir est un ouvrage hydraulique permettant de contrôler ou de mesurer le débit s'écoulant au-dessus de l'ouvrage. Il contracte plus ou moins la section d'écoulement et peut permettre de stopper les érosions régressives (évolution de la rivière à l'aval de ponts ou de digues), de stabiliser la rivière ou de relever la ligne d'eau (éventuellement pour l'alimentation de canaux en dérivation).

Conception hydraulique des déversoirs

4-1 Rappel de quelques notions hydrauliques :

4-1-1 Notion de débit :

$Q = V \cdot S$, le débit est fonction de la vitesse moyenne de l'écoulement et de la section mouillée.

4-1-2 Notion de charge hydraulique :

Elle est donnée par la formule suivante :

$$H = Z + \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

La charge hydraulique sur une verticale de l'écoulement est fonction de la cote sur cette verticale, de la pression P à la surface de l'écoulement et de la vitesse V moyenne sur la section. Cette relation est connue sous le nom d'équation de Bernoulli. A la surface libre, la pression, égale à la pression atmosphérique, est constante et négligeable. La charge hydraulique s'exprime donc :

$$H = Z + \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

4-2 Méthode générale de calcul du débit transitant par un seuil :

Lors de l'étude d'un écoulement au passage d'une singularité, la détermination du débit, de la cote amont ou du coefficient de débit de l'ouvrage obéissent à la méthode de calcul décrite ci-après :

- a)-1 ère étape : détermination du type de crête
- b)-2ème étape : détermination du type d'écoulement noyé ou dénoyé
- c)-3ème étape : choix et utilisation de la formule de débit adéquate

A un type de crête du déversoir et un régime d'écoulement, correspond un certain nombre de formules permettant de calculer le débit transitant au-dessus du seuil.

Conception hydraulique des déversoirs

4-3 Définition du type de crête du seuil :

Le type de seuil est relatif à l'écoulement au droit de l'ouvrage. En effet, plus l'épaisseur de la crête du seuil est négligeable devant la hauteur d'eau amont au-dessus de celui-ci, plus le seuil paraît transparent vis-à-vis de l'écoulement et donc plus la crête du seuil paraît mince.

A l'inverse, plus la ligne d'eau amont se rapproche de la crête du seuil, plus la largeur du seuil paraît grande vis-à-vis de l'épaisseur de la lame d'eau qui y transite et donc plus la crête du seuil paraît épaisse.

Un déversoir en rivière appartient ainsi à l'une des trois catégories suivantes :

- seuil à crête mince
- seuil à crête épaisse
- seuil à crête non définie

Afin de déterminer le type de seuil étudié, les conditions suivantes doivent être vérifiées :

Si $c < H_1/2$ alors le seuil est à crête mince

Si $c > 2H_1/3$ alors le seuil est à crête épaisse

C : La longueur du déversoir

H_1 : la charge déversante amont

Conception hydraulique des déversoirs

4-4 Régimes d'écoulement :

L'écoulement réagit de manière différente suivant le type de crête de l'ouvrage défini dans l'étape précédente. Pour une singularité à crête mince, l'écoulement peut être de trois types, tandis que pour une singularité à crête épaisse, l'écoulement ne peut être que de deux types :

Tableau 2-1 : Régimes d'écoulement suivant le type de crête du déversoir

Déversoir à crête mince	Déversoir à crête épaisse
écoulement noyé	écoulement noyé
écoulement noyé en dessous	écoulement dénoyé
écoulement dénoyé	

Un écoulement est dit « dénoyé » lorsque le niveau d'eau amont est indépendant du niveau d'eau aval. L'écoulement est fluvial à l'amont du seuil, passe en régime torrentiel au droit de l'ouvrage et se raccorde à l'écoulement fluvial en aval soit par un ressaut en dissipant l'énergie par des mouvements très turbulents avec des instabilités à la surface, soit en chute libre.

Un écoulement est dit « noyé en dessous » exclusivement dans le cas de seuils à crête mince, lorsque la cote d'eau aval est inférieure à la cote de crête du seuil et que la hauteur d'eau amont (par rapport au seuil) est supérieure à la hauteur d'eau aval (par rapport au seuil).

Un écoulement est dit « noyé » lorsque le niveau d'eau aval influence le niveau d'eau amont. A débit constant, l'écoulement reste fluvial d'amont en aval, même au passage du seuil. Il se produit une surélévation en amont du seuil au-dessus de la hauteur normale (exhaussement), puis une accélération au droit du seuil, traduit par un abaissement de la ligne d'eau.[1]

Conception hydraulique des déversoirs

Remarque :

La différence entre un écoulement noyé et un écoulement dénoyé se traduit par le passage de l'écoulement par une hauteur critique en un point de la ligne d'eau ou sur une certaine distance.

4-5 Déversoir à crête mince :

4-5-1 En écoulement dénoyé :

Le débit Q s'exprime donc en fonction de la largeur d'écoulement L , de la hauteur d'eau amont au-dessus de la crête du seuil h_1 , d'un coefficient de débit μ et d'un coefficient C_v prenant en compte le terme de vitesse à l'amont du déversoir. Pour certains cas particuliers, notamment de par la forme du déversoir (triangulaire, circulaire,...), d'autres paramètres entrent en compte, tels que l'angle d'ouverture de l'échancrure du déversoir triangulaire ou le diamètre du déversoir circulaire, par exemple.

Pour une singularité dite à crête mince, définie par l'épaisseur de sa crête, en écoulement dénoyé, le niveau aval n'influence pas le niveau amont et la formule générale suivante est utilisée :

$$Q = \mu C_v L (h_1)^{3/2} \sqrt{2g}$$

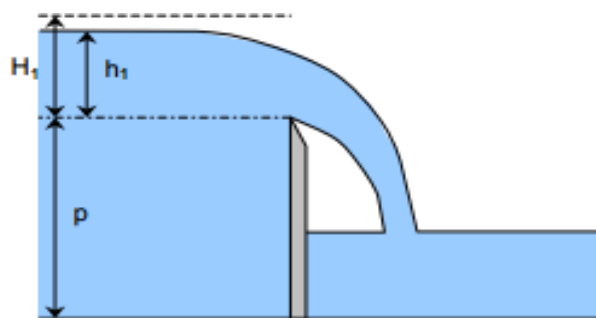


Figure 2-1 : Coupe longitudinale d'un déversoir à crête mince en écoulement dénoyé.

Conception hydraulique des déversoirs

4-5-1-1 Déversoir rectangulaire sans contraction latérale

Un déversoir rectangulaire est dit « sans contraction latérale » lorsque la largeur d'écoulement sur le déversoir (L) est égale à la largeur d'écoulement (B) en amont du déversoir.[1]

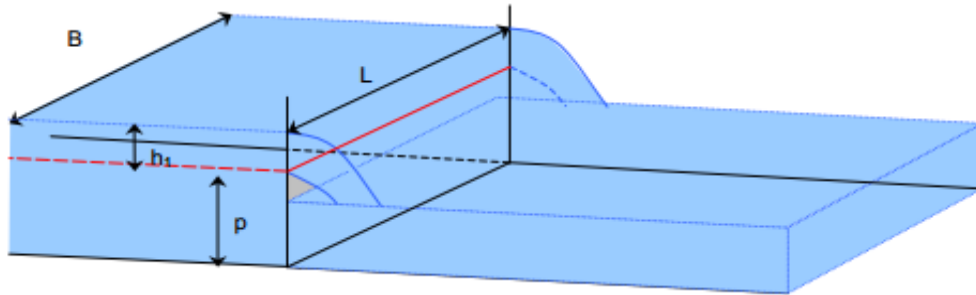


Figure 2-2 : Vue en perspective d'un déversoir rectangulaire sans contraction latérale

La formule du débit est donnée par l'équation suivante :

$$Q = \mu C_v L (h_e)^{3/2} \sqrt{2g}$$

avec

h_e la hauteur d'eau effective telle que :
 $h_e = h_1 + K_h = h_1 + 0.001$ ($K_h \sim 1$ mm)

$$h_e^3 = h_1^3 + K_h^3 = h_1^3 + 0.001$$
 ($K_h^3 \sim 1$ mm)

4-5-1-2 Déversoir rectangulaire avec contraction latérale :

Un déversoir rectangulaire est dit « avec contraction latérale » lorsque la largeur du canal B est supérieure à la largeur d'écoulement L du déversoir.

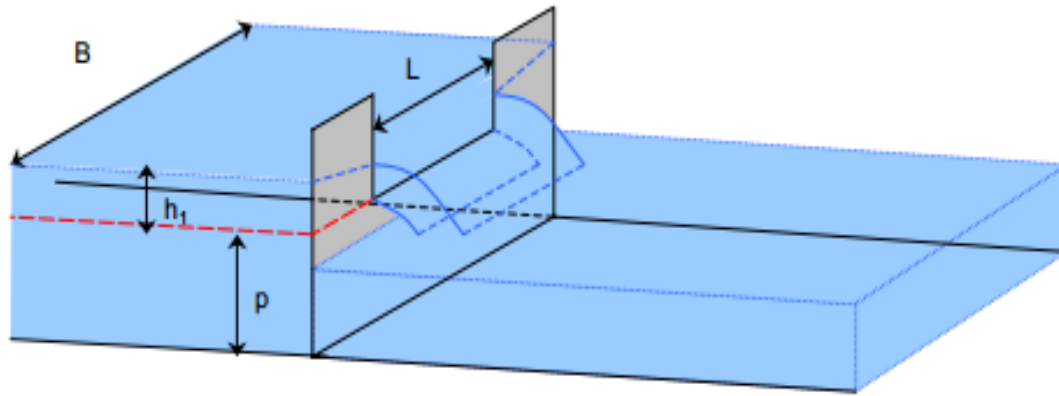


Figure 2-3 : Vue en perspective d'un déversoir rectangulaire avec contraction latérale

La formule du débit est donnée par la formule suivante :

$$Q = \mu C_v L_e (h_e)^{3/2} \sqrt{2g}$$

avec
 h_e la hauteur d'eau effective telle que :
 $h_e = h_1 + K_h = h_1 + 0.001$ ($K_h \sim 1$ mm)
 L_e : la largeur effective telle que : $L_e = L + K_l$

$$K_l = 1 \text{ mm}$$

4-5-1-3 Déversoir à échancrure triangulaire :

Ce type de déversoir comporte une pelle dont l'échancrure en forme de V est symétrique par rapport à l'axe du canal (la bissectrice est verticale). Il est généralement appelé le déversoir de Thomson.

Pour les déversoirs triangulaires à parois minces en écoulement dénoyé, quelques formulations pour le cas particulier de l'angle droit (90°), ainsi que la formule de KINDSVATER recommandée par l'Association Internationale de Normalisation dans le cas général, sont disponibles.[1]

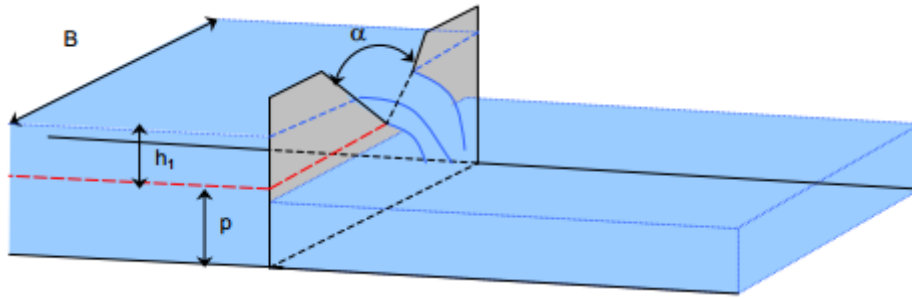


Figure 2-4 : Vue en perspective d'un déversoir triangulaire

La formule du débit est donnée par la formule suivante :

$$Q = 0,303 h_1^{2,48} \sqrt{2g} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

4-5-1-4 Déversoir trapézoïdal :

Si l'échancrure du déversoir a la forme d'un trapèze isocèle évasé vers le haut, le débit s'écoulant au travers de cette section trapézoïdale peut être déterminé par une formule ne dépendant pas du coefficient de débit.

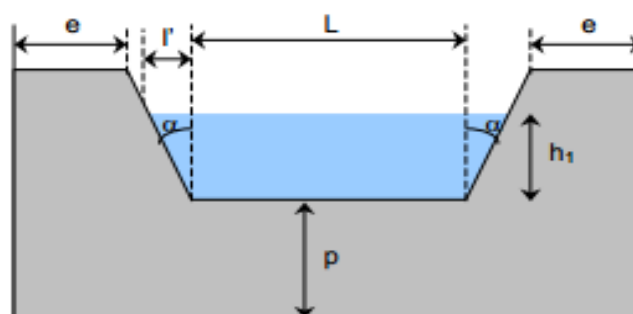


Figure 2-5 : Coupe transversale d'un déversoir trapézoïdal

Conception hydraulique des déversoirs

La formule du débit est donnée par l'équation suivante :

$$Q = 1,32 h_1^{3,47} \operatorname{tg} \alpha + 1,69 L^{1,02} h_1^{1,47}$$

avec
L : la largeur de la petite base du trapèze
 α : l'angle entre la verticale et le côté du trapèze

4-5-1-5 Déversoir labyrinthe :

Ce type de déversoir permet d'augmenter la longueur de la crête du déversoir. De ce fait, la capacité de débit en est augmentée. La capacité du déversoir est fonction de la longueur totale de la crête, de la longueur effective et du coefficient de crête. Le coefficient de crête dépend de la longueur totale de la crête, de la hauteur du déversoir, de son épaisseur, de la forme de la crête, du sommet de la crête et de l'angle des côtés du déversoir.[1]

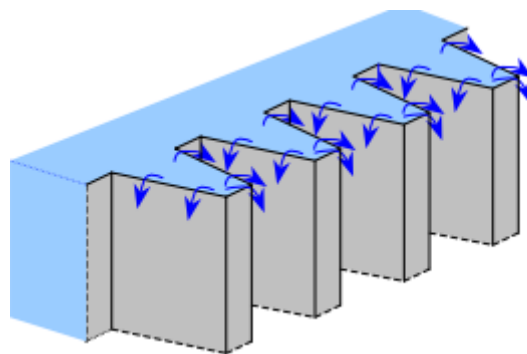


Figure 2-6 : Vue en perspective d'un déversoir labyrinthe.

La formule du débit est donnée par l'équation suivante :

Conception hydraulique des déversoirs

$$Q = \mu L (h_1)^{3/2} \sqrt{2g}$$

avec
L largeur effective de la crête : $L = 2 \cdot N \cdot (D_1 + L_1)$
N : nombre de cycles (multiple de 4)
Limites d'application :
 $C \leq D_1 \leq 2 \cdot C$ et $h_1 / p < 0,9$

4-5-2 En écoulement noyé :

La plupart des déversoirs sont conçus pour fonctionner en régime dénoyé, de sorte que le débit soit proportionnel à la hauteur d'eau amont au-dessus du déversoir.

Cependant, quelques déversoirs peuvent fonctionner en écoulement « noyé » ou « noyé en dessous », le niveau en aval interfère alors avec l'écoulement au-dessus du déversoir.

Pour ce type de situation, la littérature n'est pas très abondante en ce qui concerne la valeur du coefficient de réduction dû au noyage du déversoir. Le peu de formules qui existent est donné à titre indicatif, puisqu'un déversoir à crête mince est expressément conçu pour fonctionner en régime dénoyé.[1]

La formule du débit est donnée par :

$$Q = \mu_1 L C_v (h_1)^{3/2} \sqrt{2g}$$

avec
 $\mu_1 = K \mu$

Tel que :

$$K = 0.878 + 0.128 \cdot p/h_1$$

Conception hydraulique des déversoirs

5-conclusion :

Donc le calcul et les mesures doivent se faire très efficacement tant pour la mise en œuvre des déversoirs que pour leur gestion. Par voie de conséquence une conception hydraulique qui tient compte de tous les aspects s'avère inéluctable pour qu'il ne soit pas lui-même une cause de péril de la digue et bien entendu afin de garantir la sécurité de l'ouvrage tout entier et assurer tout naturellement une bonne efficacité de l'écrêtement de la crue.

CHAPITRE 03

Sécurité et

évacuation des

crues

1 Introduction :

La submersion d'un barrage au passage d'une forte crue est toujours un phénomène particulièrement dangereux. Une grande proportion des accidents de rupture survenus à des barrages ont eu pour origine des surverses provenant de crues qui dépassaient les possibilités du dispositif d'évacuation.

Les contraintes de la réalisation des évacuateurs de crue se résument dans la topographie, la géologie, pérennité souhaitée de l'ouvrage, la sécurité aval et encore plus le facteur écologique qui représente l'intégration au sens large de l'ouvrage au site choisi.

2 conception des évacuateurs de crue :

L'évacuateur de crue est un ouvrage destiné à l'évacuation de la crue de projet afin d'éviter la submersion du barrage qui peut conduire à sa destruction et ceci de la manière la plus économique et la plus sûre que possible.

Par conséquent il doit nous assurer :

- Une évacuation suffisante afin que le passage de la crue n'entraîne pas la submersion de l'ouvrage de retenue (surtout si celui-ci est en terre) ;
- La sécurité de l'ouvrage d'évacuation ;
- La sécurité des aménagements ;

2.1 Composants D'un Evacuateur De Crue :

Pour distinguer les différents évacuateurs de crue, il est nécessaire de définir les parties qui composent celle-ci :

- Une section de contrôle du débit, à l'amont ;
- Un chenal ou une galerie dans lequel le débit s'écoule d'amont en aval ;
- Un dissipateur d'énergie à l'aval ; Dans certains cas, s'y ajoutent :
- Un canal d'amenée entre le réservoir et la section de contrôle du débit ;
- Un chenal de fuite ou de restitution, à l'aval du dissipateur ;

Ces composantes peuvent être prendre les formes les plus variées.

2.1.1 Section De Contrôle

Le contrôle du débit est le plus souvent assuré par un déversoir, soit un déversoir à écoulement libre, avec ou sans vanne, soit un déversoir noyé.

Un autre débit de contrôle peut être assuré par un orifice (évacuateur de fond ou demi-fond mais parfois aussi pour les évacuateurs de surface).

On rencontre également le cas de l'évacuation des crues par conduits en charge (évacuateur par galerie de fond) ou en dépression (évacuateur en siphon)

2.1.2 Chenal Ou Galerie De L'évacuation De Crue :

L'élément hydraulique qui conduit le débit de crue de section de contrôle en amont, à la ravière à l'aval, présente des formes variées. Ces formes dépendent surtout du type de barrage et de la topographie de la vallée.

Dans le cas des barrages poids en béton, des barrages poids voûtes et des barrages contrefort, c'est un coursier à forte pente qui prolonge le déversoir, et qui s'appuie sur le parement aval, sur un contrefort ou même la centrale au pied de barrage.

2.1.3 Dissipateur D'énergie :

Il constitue un des éléments essentiels de l'évacuateur. Le dissipateur d'énergie se réalise par frottements et chocs, soit un contact liquide-structure, liquide-liquide ou liquide air. Les principaux types sont :

- Bassin de dissipation à ressaut hydraulique.
- Bassin de réception d'un jet libre.
- Dissipation au sein même d'un coursier, par dents de dissipation ou blocs brise-charge.
- Passage du débit dans des organes dissipateur (vannes à jet creux....)[3]

3 Classification Des Evacuateurs

Pour chaque projet, les évacuateurs constituent, un ouvrage original dépendant de tellement de paramètres différents, qu'il est difficile de classer ce type d'ouvrage. Cependant certains critères peuvent être proposés :

3.1 Critères D'utilisation

On distingue suivant la fréquence de fonctionnement et le degré de protection des parties constituants d'évacuateur :

- Les évacuateurs de services : déversant régulièrement
- Les évacuateurs auxiliaires : conçus pour des crues plus rares
- Les évacuateurs de secours : conçus pour évacuer une crue exceptionnelle avec un minimum de danger

3.2 Critère D'exploitation

Suivant le degré de contrôle des débits évacués on distingue :

- Les évacuateurs avec vanne : permettent un réglage du débit ou contrôle de celui-ci
- Les évacuateurs à déversement libre ou évacuateurs libres : qui fonctionnent dès que l'eau atteint le niveau du seuil.

3.3 Critères Topographique :

La topographie et le type de barrage imposent souvent le type d'évacuation :

- Les évacuations incorporées dans le barrage (barrage voûte, poids et contrefort), soient de surface ou de fond.
- Evacuateur de rives, construit à côté du barrage et creusé la rive de la vallée.
- Evacuateur de col : est construit en un point bas du périmètre de retenue.[3]

4 Différents Types D'évacuateurs De Crue :

Suivant leur type de fonctionnement hydraulique, les évacuateurs de crue peuvent être classés en deux grandes catégories :

- les évacuateurs en charge ;
- les évacuateurs de surface ;

4.1 Les évacuateurs de surface :

les évacuateurs de surface conduisent à des écoulements à surface libre avec une accélération continue depuis un seuil de contrôle placé à une côte très voisine du niveau normal de retenue, celui-ci débite dans un chenal dont l'axe peut être parallèle au seuil (entonnement latéral), ou perpendiculaire au seuil (entonnement frontal) ; le chenal ne sert qu'à contourner le sommet du barrage donc sa longueur est faible, sa pente est faible et le régime est fluvial, il amène l'eau au coursier qui commence en général par un convergent provoquant une singularité et changeant le régime d'écoulement en torrentiel, La forte pente du coursier permet de rattraper la différence de niveau entre la retenue et le lit de la rivière à l'aval et aboutit dans un ouvrage de restitution qui transforme l'énergie mécanique en énergie de turbulence.

4.2 Les évacuateurs en charge :

L'eau transite en aval par une galerie de gros diamètres disposée sous le barrage ou latéralement sur l'une des rives, cette conduite est alimentée par un puits ou par un déversoir à crête circulaire appelé tulipe qui peut être monté sur une tour. Ce type fonctionne comme un déversoir tant qu'il est dénoyé, dès qu'il devient noyé, il fonctionne comme un orifice à veine moulée. Les évacuateurs de fond et de demi-fond fonctionnent en charge, leur débit est presque toujours contrôlé par une vanne placée à l'extrémité aval, ils sont utilisés pour évacuer les grands débits à faible charge, parfois pour éliminer les sédiments, se sont donc des vidanges plutôt que des évacuateurs.

5 Facteurs Intervenant Dans Le Choix Du Type D'évacuateur

Outre l'importance du risque en termes de vies humaines et le coût de construction, les facteurs principaux à considérer dans le choix de l'évacuateur le plus approprié à un projet donné, sont les suivant[4] :

5.1 La qualité des prévisions de crue :

Le bon sens conduit à ne pas faire dépendre étroitement l'existence du barrage d'une erreur par défaut relativement faible sur la crue de projet. Autrement dit, la capacité nominale de l'évacuateur devrait augmenter rapidement s'il arrivait que ce niveau soit dépassé accidentellement par suite d'une sou-évacuation de la crue de projet.

5.2 La séismicité de la zone de l'aménagement ;

Le degré de séismicité de la zone d'aménagement et les doutes qu'on peut entretenir sur la qualité de l'exploitation concernent principalement le problème de savoir si l'installation de vannes est judicieuse ou non.

5.3 La durée et les degrés d'utilisation :

La dégradation par cavitation et abrasion dépendent de la durée cumulée de fonctionnement de l'évacuateur et de l'importance des débits transités à chaque utilisation. Toutes choses égales par ailleurs, elles s'accélèrent avec la durée de fonctionnement.

6 Le type de barrage :

Il est possible d'incorporer tout ou une partie des évacuateurs de crue aux barrages en béton, ce qui souvent procure une économie substantielle et permet de restituer le flot déversant directement dans le lit principal suivant l'axe longitudinal de la vallée. Les barrages en remblai exigent des évacuateurs séparés pour lesquels la réorientation du flot déversant à l'aval de l'ouvrage pose parfois un problème difficile.

7 Les crues :

7.1 Introduction :

L'intérêt économique de la prédétermination des crues d'un cours d'eau, en un point donnée, est évident en raison des effets destructifs bien connus de ces catastrophes hydrologiques et de la nécessité de calculer certains ouvrages d'art. Les dimensions des évacuateurs de crues de barrage, la hauteur de digue de protection contre l'inondation sont essentiellement déterminées par la maximum probable de la crue auquel ces ouvrage faire face.

7.2 Définition de la crue :

On appelle crue l'élévation du niveau d'un cours d'eau provoqué par les pluies ou par la fonte des neiges qui peuvent entraîner des submersions et des inondations plus ou moins destructrices.

7.3 Origine de la formation des crues :

Plusieurs origines des crues sont possibles issues de différentes situations:

7.3.1 Evénements hydrométéorologiques intrinsèques ou combinés:

Précipitations extraordinaires (liquides ou solides) en intensité et/ou en durée. Fonte extraordinaire de neige ou de glace (due à des températures tout aussi extraordinaires), ou fonte "normale" mais combinée avec d'autres événements (précipitations).

7.3.2 Embâcle ou débâcle de glace, de matériaux flottants (bois) :

Les crues d'embâcle ou de débâcle de glace sont provoquées par le dégel printanier dans les régions où les cours d'eau gèlent durant l'hiver. Cette situation est caractéristique des régions froides comme la Sibérie ou le Canada mais est également possible en Suisse. Le dégel entraîne la mise en mouvement de blocs de glace qui peuvent s'accumuler au droit d'un obstacle. La retenue ainsi formée peut entraîner d'une part une

élévation du niveau de l'eau à l'amont et des inondations par débordement. D'autre part, il est possible que la retenue se rompe brusquement, impliquant une crue brutale.

La crue est caractérisée par :

- Son débit maximum instantané.
- Sa durée.
- Le volume total écoulé.
- La vitesse d'écoulement.
- L'hydrogramme de crue.
- La fréquence d'apparition.

Les crues qui nous intéressent sont la crue de projet, qui représente la crue maximale que l'ouvrage d'évacuation doit évacuer en toute sécurité qui correspond à la crue millénaire. La crue qui apparaît une fois tous les mille ans, ce débit maximum constitue le paramètre de base pour le dimensionnement des ouvrages d'évacuation.

7.4 Evaluation des débits maximaux des crues :

Il existe plusieurs méthodes pour la recherche du débit maximum de crue, au niveau technique elles doivent être adaptées essentiellement aux mesures et aux informations disponibles, au niveau de leur degré de développement et indirectement, à celui de leur coût, elles doivent prendre également en considération l'importance des aménagements à mettre en place et/ou celle des valeurs socio-économiques des biens que l'on souhaite protéger. De manière générale, les méthodes de calculs utilisées se répartissent comme suit, fonction surtout des données disponibles dans la zone où l'on souhaite procéder à leur application :

7.4.1 L'ANALYSE FREQUENTIELLE :

Cette méthode se base sur le principe de l'ajustement d'une série d'observations à une loi de distribution statistique connue. Après quoi, il convient d'en vérifier son adéquation. Il est alors possible d'en extraire des résultats relatifs à des phénomènes rares et très rarement observé. Les étapes à suivre sont les suivantes :

- L'échantillonnage : l'échantillon sera constitué de débit max instantané de chaque

année, on obtient donc un échantillon q_i où i varie de 1 à N (nombre d'année).

- Vérification des hypothèses d'indépendance, stationnarité et d'homogénéité de l'échantillon.
- Classement de l'échantillon par ordre de grandeur décroissante ou croissante.
- Attribution à chacune des observations une fréquence expérimentale $F(Q) = (i - 0,5)/N$
- Reporter les points expérimentaux sur un papier de la loi d'ajustement.
- Déterminer les paramètres de la droite d'ajustement.
- Estimer les débits de crue en utilisant la droite d'ajustement.[2]

7.4.2 LA METHODE DU GRADEX :

La méthode du gradex permet de déterminer les débits de crues exceptionnelles à partir des données pluviométriques qui sont généralement disponible sur des périodes plus longues. Il faut néanmoins, disposer d'une série de débits longue d'au moins 10 ans pour être en mesure d'appliquer cette méthode. Elle est développée par EDF depuis 1966. Elle est applicable aux bassins versants de 0 à 5000 km² dont le temps de concentration, de ruissellement ou d'écoulement rapide est de 1 h à 4 jours.

- Les crues fortes sont provoquées par des pluies fortes.
- Les pluies maximales et les débits correspondants (débits maximaux) suivent une même loi de distribution statistique - On peut supposer que la capacité de rétention d'un bassin

Versant à une limite, autrement dit à partir d'une pluie d'une certaine fréquence tombée sur le bassin versant, toute quantité d'eau supplémentaire précipitée s'écoule intégralement.[2]

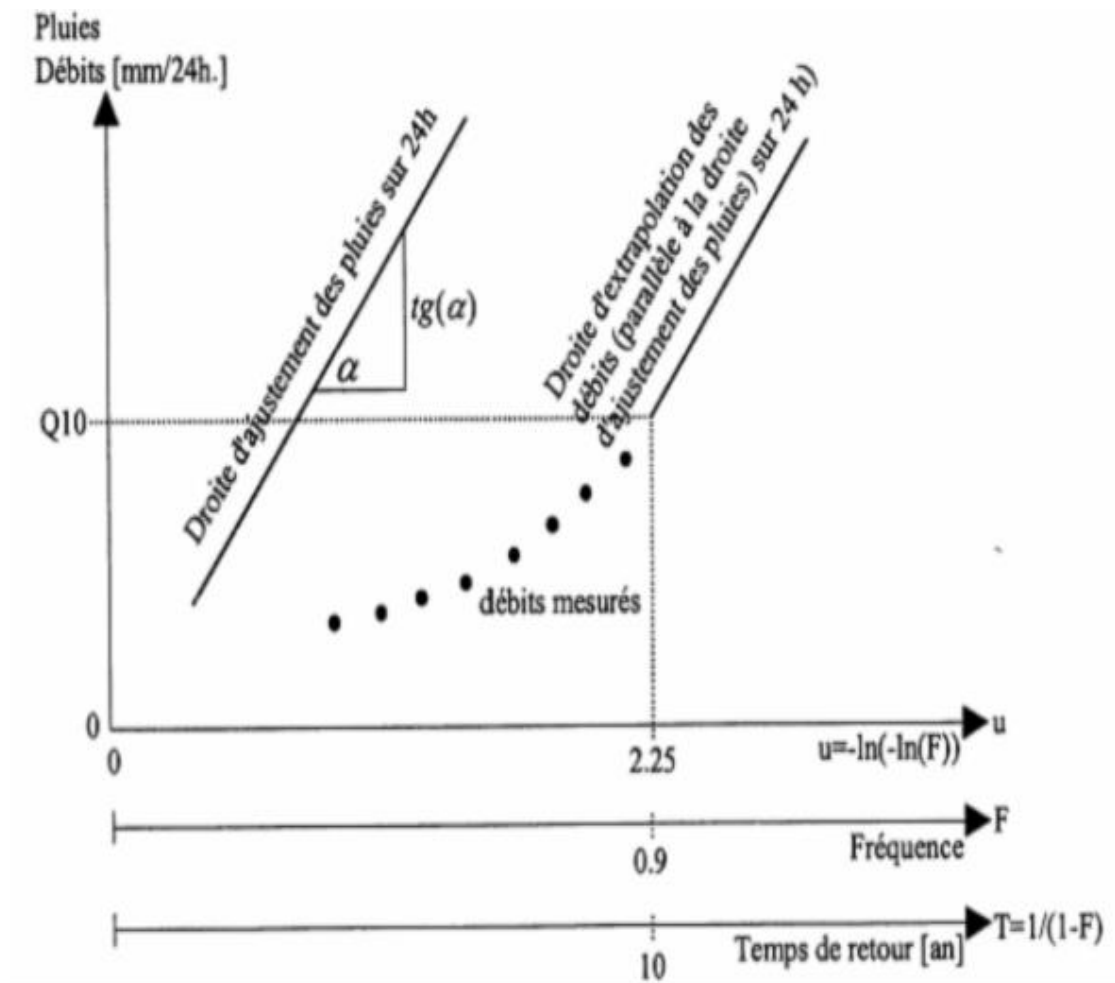


Figure 3.1 : Principe de la méthode du GRADEX basé Sur une distribution de Gumbel

7.4.3 LES METHODES ANALOGIQUES :

Lorsque l'on ne dispose d'aucune donnée hydrométéorologique sur la zone dans laquelle on souhaite déterminer des crues, il est possible de procéder à une étude hydrologique sur un ou plusieurs autres bassins analogues et pour lesquels on dispose de mesures, Les résultats issus de telles études peuvent être alors transposés sur le bassin initial, moyennant des règles de transfert à établir. Celles-ci doivent être

Sécurité et évacuation des crues

déterminées cas par cas, utilisant souvent un coefficient de transfert lié au rapport des surfaces contributives de chaque bassin considéré.

7.4.4 LES FORMULES EMPIRIQUES :

Celles-ci sont de diverse nature, fonction du type de données disponibles sur l'ensemble du bassin versant concerné par l'estimation des crues. Il y a plusieurs on peut citer parmi ces formules :

7.4.4.1 Formule de Mallet-Gautier :

$$Q = 2. K. \log(1 + a.P) . \frac{A}{\sqrt{2}} . \sqrt{1 + 4. \log T - \log A}$$

Où : Q : débit maximum à la période T (m³/s)

P : pluie moyenne sur le bassin (mm)

A : aire du bassin (km²)

L : longueur de thalweg principal (km)

T : période de retour adopté en année

a : coefficient topographique qui varie de 20 à 30

K : coefficient géomorphologique lié à la pente du bassin versant $0,7 \leq K \leq 3$.

7.4.4.2 Formule de Samie :

$$Q_{\max} = \frac{P_{J \max} \cdot A \cdot C \cdot K \cdot 10}{3600 \cdot 24}$$

Où : PJmax : pluie maximale journalière (mm)

A : aire du bassin (km²)

K : coefficient d'amortissement de la crue

C : coefficient de ruissellement en fonction de la période donnée

8 Conclusion :

Le choix d'une méthode particulière d'estimation des crues de projet reste un des aspects les plus critiques dans la phase de dimensionnement d'un ouvrage. Malheureusement, les critères ou recommandations dans ce domaine sont très limités voire inexistantes. Avec tous les critères qu'on a fait au-dessus, il n'en reste pas moins que la décision finale comportera inévitablement une large part d'intuition et de subjectivité fonction de l'expérience du projeteur. Comme critère général, nous pouvons souligner que la méthode choisie devrait être, dans la mesure du possible, dérivée à partir d'observations sur le site ou dans son voisinage immédiat. A l'extrême, il faudrait compter sur des applications montrant clairement les aptitudes de la technique choisie à reproduire le comportement statistique des variables d'intérêt.

Le choix d'une méthode d'estimation des crues de projet devrait tenir compte des facteurs suivants:

- Les hypothèses de bases et leurs fondements théoriques sont-ils applicables au bassin versant considéré?
- Quelles données (type, qualité et longueur d'enregistrement) sont disponibles pour la calibration d'un modèle ou l'éventuelle adaptation d'une formule plus simple?
- Quelles sont les variables de dimensionnement pertinentes (débit de pointe, hydrogramme complet de crue, séries continues de hauteurs d'eau?)

CHAPITRE 04

Déversoir et

évacuation des

crues

1 Introduction :

Il est tout à fait clair et nettement indéniable que le choix ou bien l'étude du choix du déversoir constitue une étape très importante et très délicate et extrêmement sensible parce que le déversoir est considéré comme étant une organe de haute importance pour la sécurité et la pérennité de l'ouvrage hydraulique. Donc il est de lumineuse évidence qu'il faut faire très attention lors de la phase de sa conception, il faut également mener études approfondies et minutieuses afin de bien choisir le type de déversoir qui soit le plus approprié et le plus convenable pour assurer la sécurité de l'ouvrage hydraulique sur lequel il est implanté.

2 sécurité et impact du déversoir sur l'ouvrage hydraulique :

Le déversoir d'une digue étant un élément fondamental pour sa sécurité ou pour l'efficacité de l'écrêtement, il ne doit pas lui-même devenir une cause de péril de la digue.

Le premier sujet est celui du contact entre le corps de digue en terre et l'ouvrage déversant constitué d'un autre matériau, béton, enrochement bétonné, gabions... C'est le même sujet que pour les évacuateurs de barrage, celui de la limitation des circulations d'eau au contact des deux matériaux et de la prévention d'une évolution en érosion de contact susceptible d'aboutir à un renard. Ce sujet toujours important l'est encore plus lorsque le matériau de revêtement des ouvrages est perméable, c'est le cas des gabions ou des enrochements libres.

Le second sujet est celui de la résistance du matériau constitutif du déversoir face aux sollicitations provoquées par le déversement de l'eau (et parfois aussi de corps flottants). Lorsque le matériau est du béton armé, ce critère de résistance du matériau est relativement facilement respecté dans le domaine des digues, ou les lames déversantes sont toujours modérées. Cet argument a justement conduit les concepteurs à faire appel à des matériaux plus économiques, tels que les enrochements liés au béton ou les gabions.

Dans ce cas, même dans le domaine des digues, le critère de l'épaisseur de la lame déversante devient un critère à prendre en Compte dans le dimensionnement pour éviter des dégradations ou des déformations excessives des matériaux.[2]

3 déversoir et évacuation de la crue :

3.1 Profil du déversoir Greguer :

Le déversoir de type Greguer est le plus répandu de par le monde. Il s'adapte mieux à la lame d'eau déversante.

Le débit est contrôlé par le déversoir situé à l'amont de l'évacuateur. Pour qu'il soit ainsi, les parties à l'aval (chenal, coursier...) doivent être conçues pour évacuer le débit du déversoir sans perturber l'écoulement de celui-ci, tel que cet écoulement soit dénoyé. La surface de déversement peut être construite à l'aide des coordonnées de Greguer pour une charge d'eau de 1 m.

Le profil de GREAGER correspond à un coefficient de sécurité de 10% par rapport à la charge, son coefficient de débit est de 0,49 pour la charge H correspondante à l'équation du profil

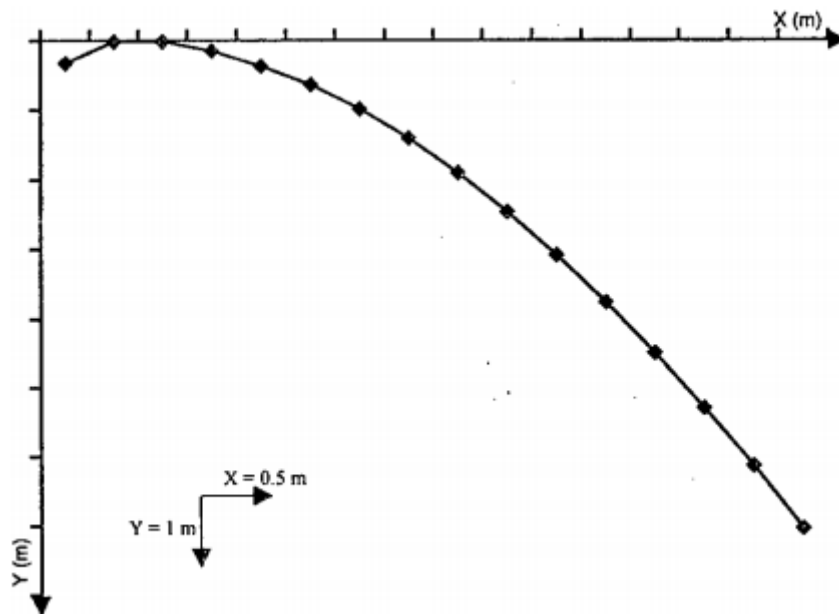


Figure 4-1 : Profil du déversoir type Greguer.

3.2 Etude comparative entre les différents types de déversoirs et leurs façons d'évacuer la crue :

Après faire la présentation des différents types des déversoirs ainsi que les lois de débits qui régissent le transit d'eau, nous bouclons la boucle en faisant une étude comparative entre les différents types des déversoirs et leurs manières d'évacuer la crue en développant les choses suivantes :

a)- Dans le cas d'une forte crue il est préférable que l'évacuateur de crues soit à surface libre car son débit croît comme la puissance de $3/2$ de sa charge. Si le plan d'eau s'élève exceptionnellement au-dessus du niveau de plus hautes eaux en empiétant sur la revanche, on dispose d'une marge de sécurité beaucoup plus importante que dans le cas d'une évacuation en charge comme un pertuis par exemple dont le débit ne varie qu'en fonction de la puissance $1/2$ de la charge, c'est pour cela ce type d'évacuateur est préférable dans le cas des crues faibles.

Un évacuateur de surface est placé selon le cas, sur l'une des rives ou au centre du barrage (évacuateur central) pour le cas d'un barrage en béton.

b)- En général, on cherche à placer l'évacuateur dans une zone dégagée où la pente du versant est faible, ce qui diminue le volume des terrassements. On peut alors réaliser un évacuateur à seuil frontal. C'est la meilleure disposition du point de vue hydraulique.

c)- Si les versants à fortes pentes, ce qui conduit à des volumes de déblais importants, il est alors préférable d'utiliser un déversoir à seuil latéral dont l'emprise dans le sens transversal de la vallée est beaucoup moins important.

d)- Si la lame d'eau déversé est importante et les conditions du site ne permettent que de faire un seuil frontal qui n'est pas capable d'évacuer cette lame d'eau, on peut augmenter la longueur du seuil par la conception soit d'un seuil à bec de canard soit un seuil labyrinthe pour augmenter la capacité d'évacuation des crues et diminuer la lame déversante[2].

Déversoirs et évacuation des crues

e)- La solution du déversoir central est intéressante dans le cas des vallées à versants en fortes pentes et lorsque un débit à évacuer est important. Mais pour un barrage en terre c'est ne pas le cas, si difficile de mettre l'évacuateur sur l'une des rives du barrage la meilleur solution c'est d'implanter un évacuateur puits ou une tulipe dans la cuvette du barrage pour l'évacuation de la crue. Si la crue est importante, on peut mettre plusieurs puits à différentes hauteurs.

f)- Parfois lorsque la crue à évacuer est importante et les conditions topographiques ne permettent pas d'allonger le seuil, il est intéressant d'implanter un évacuateur tulipe dans la cuvette du barrage avec une déférence hauteur par rapport le seuil libre pour augmenter la capacité d'évacuation [2].

g)- Après le déversoir il y a toujours un coursier qui conduit l'eau au thalweg, il est fortement conseillé de lui donner une section rectangulaire ce qui assure un écoulement régulier. En générale l'expérience montre que la forme la plus économique correspond à une largeur égale à deux fois le tirant d'eau. Par contre pour un barrage en béton, il n'y a pas de coursier, juste en bas du déversoir un bec déviateur (saut de ski) installé pour relancer l'eau vers le haut suivant un angle θ en générale de l'ordre de 35° à 45° et le jet retombe dans une cuvette de dissipation à distance.

h)- Pour les barrages en béton de petites hauteurs il est économique de ne pas faire de coursier et de déverser directement la crue dans un bassin de plongée renferment un matelas d'eau qui forme un excellent dissipateur et débouchant directement dans un chenal à faible pente conduisant à la rivière.

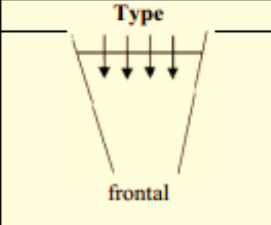
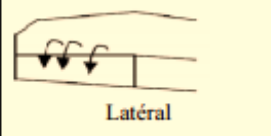
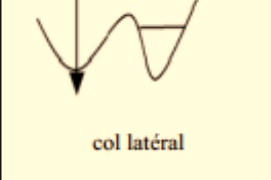
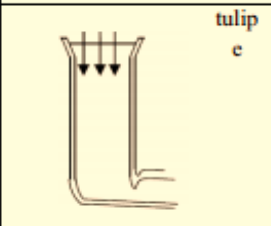
i)- Pour les barrages en terre, la dissipation de l'énergie lors de la crue se fait par un bassin à ressaut avec une longueur bien déterminée en fonction du nombre de Froude et la hauteur de chute qui fait réduire la vitesse à une valeur compatible avec la stabilité des berges en aval.[2]

Déversoirs et évacuation des crues

j)- Un déversoir labyrinthe est conçu pour évacuer des débits de crue à faible charge (de l'ordre de 1 m). De ce fait, Cet ouvrage est inadapté pour des débits importants.

Nous avons récapitulé nos résultats sous forme du tableau suivant

Tableau 4-1 : Comparaison entre les différents types des déversoirs:

Type	écoulement	avantages	inconvénients	gamme
 <p style="text-align: center;">frontal</p>	Surface libre noyée ou dénoyée	<ul style="list-style-type: none"> → Très sûr. → Facile à réaliser sur un barrage en béton. → Facile à calculer. → Pas d'exigences topographiques ou géologiques. 	<ul style="list-style-type: none"> → Coût élevé. → Difficile à réaliser sur un barrage en terre. → Difficile à modifier sauf si le système est l'évacuation mineure ou majeure. 	<ul style="list-style-type: none"> → Peut être conçu en évacuateur mineur-majeur. → Mieux adapté aux barrages Béton.
 <p style="text-align: center;">Latéral</p>	Surface libre noyée ou dénoyée	<ul style="list-style-type: none"> → Bon rendement. → Moins coûteux que le frontal. → Facile à réaliser en côte de digue. 	<ul style="list-style-type: none"> → Attention à la saturation. → Difficile à calculer. → Difficile à modifier. 	<ul style="list-style-type: none"> → Toute, surtout pour les barrages en terre ou en enrochement
 <p style="text-align: center;">col latéral</p>	Surface libre dénoyée	<ul style="list-style-type: none"> → sûr, s'il n'y a pas de risque de déversement sur la digue. → Réalisation très simple par une protection souple. → Calcul facile. 	<ul style="list-style-type: none"> → Opportunité topographique. → Entretien bien suivi. 	<ul style="list-style-type: none"> → Tout (question de site)
 <p style="text-align: center;">tulip e</p>	Surface libre dénoyée ou en charge	<ul style="list-style-type: none"> → Bon fonctionnement avec forte chute → Assez coûteux si en liaison avec la vidange → Aucune exigence 	<ul style="list-style-type: none"> → attention à la saturation. Problème de vibration. → prévoir des protections anti-voûtes. Bien assurer la liaison digue-conduite. 	<ul style="list-style-type: none"> → Tulipe pour les fortes chutes (barrage en béton). → Moins pour les faibles chutes

4 Conclusion :

Nous avons vu que La submersion d'un barrage au passage d'une forte crue est toujours un phénomène particulièrement dangereux. Une grande proportion des accidents de rupture survenus à des barrages ont eu pour origine des sur verses provenant de crues qui dépassaient les possibilités du dispositif d'évacuation. Donc il faut bien choisir le type de déversoir qui soit le plus approprié et le plus convenable pour assurer la sécurité de l'ouvrage hydraulique sur lequel il est implanté.

Chapitre 05 :
Exemples pratiques
sur l'évacuation de
la crue

1 Introduction :

Nous allons essayer de faire expliciter la thématique posée dans notre sujet de master en donnant des exemples concrets sur l'évacuation de la crue et nous avons pu avoir accès à trois exemples qui sont le barrage de Bouroumi et le barrage de Kheddara et le barrage de Tilesdit et nous avons pu aboutir aux résultats qui seront développés dans ce qui suit.

2 Barrage de Bouroumi :

2.1 Aperçu général du barrage :



Photo 1: Barrage de Bouroumi

Le barrage de Bouroumi est situé dans la Wilaya de Blida, sur l'Oued Bouroumi. L'ouvrage est destiné à l'alimentation en eau potable de Hammam Regha et Boumedfaa, et à l'irrigation de l'Ouest de la Mitidja et depuis peu de temps au transfert des eaux du barrage GHRIB pour l'alimentation complémentaire d'Alger Sud. Le bassin versant du site, s'étend sur une superficie 215 km². Il dispose d'une capacité de 181.86 millions de m³.

Tableau 5-1 : caractéristiques du barrage de Bouroumi

Nom	Wilaya	Capacité (Hm3)	Hauteur (m)	Destination
Bouroumi	blida	181	100	AEP-IRR

2.2 Description de l'évacuateur de crue :

2.2.1 Caractéristiques générales :

Le système d'évacuation des crues adopté pour le barrage de Bouroumi consiste en deux évacuateurs presque identiques présentant tous deux un seuil libre calé à 323.23 m NGA déterminant ainsi le niveau normal de la retenue.

Les deux déversoirs sont placés sur la rive gauche.

Chacun se compose de :

- 1- D'une tour haute de 23 m environ, de 6 m de diamètre couronnée d'un seuil déversant et surmonté du block reniflard qui dépasse les plus hautes eaux
- 2- D'une galerie souterraine quai-horizontale Bétonné de 6 m de diamètre intérieur et longue de 200 m
- 3- Dun coursier assurant la chute du flot jusqu'à l'ouvrage disperseur aval et se présentant comme un canal rectangulaire de 130 m de longueur pour chaque évacuateur de crue.
- 4- Un ouvrage dissipateur type cuillère assurant la projection du jet dans l'oued

2.2.2 L'écoulement à travers le déversoir :

Le déversoir du barrage de Bouroumi est du type seuil libre avec un débit évacuable de 323 m³/s pour chaque évacuateur, la montée du plan d'eau de 323 à 327 m NGA a offert au barrage de Bouroumi une capacité d'amortissement de 25.6 m³ et c'est ce qui assure au final au barrage une bonne protection contre d'éventuelles crues exceptionnelles.

3 Le barrage de Kheddara :

3.1 Bref aperçu du barrage :

Le barrage de Keddara est situé dans la Wilaya de Boumerdes, à 8 kms au sud de Boudouaou et à 35 kms à l'est d'Alger. Il fait partie de l'aménagement Isser-Keddara destiné à satisfaire les besoins en eau potable des agglomérations algéroises et d'une grande partie de la ville de Boumerdes. Sa retenue est alimentée par les apports des oueds Keddara, El Haad et par la galerie de transfert provenant du barrage du Hamiz

Le barrage dispose d'une capacité de de 142.39 millions de m³, il se remplit principalement du transfert par pompage des apports de Béni Amrane, de ceux du Hamiz ainsi que de ces apports propres.

Tableau 5-2 : caractéristiques du barrage de Kheddara

Nom	Wilaya	Capacité (Hm ³)	Hauteur (m)	Destination
Keddara	boumerdes	142	108	AEP

3.2 Description de l'évacuateur de crue :

Le système d'évacuation des crues adopté pour le barrage de Kheddara est doté des caractéristiques suivantes :

- 1- Déversoir de type labyrinthe de longueur suivi d'un coursier et d'un bassin d'amortissement.
- 2- Cote du fond Horizontal du canal d'accès à l'évacuateur est de 141 m
- 3- Distance entre les murs parallèles qui limitent latéralement le seuil en labyrinthe est de 19 m.
- 4- Cote de la crête du seuil déversant est de 145 m.
- 5- La contre pente du canal de liaison à l'Oued est de 25%.

3.3 Ecoulement à travers le déversoir :

Le seuil déversoir du barrage de Kheddara est du type labyrinthe. Ce seuil, de paroi mince, a l'avantage face à une solution rectiligne de permettre une longueur de déversement plus grande pour la même largeur frontale, dont un débit effluent supérieur pour une charge hydraulique similaire. Le positionnement du seuil est frontal face à l'écoulement. Evacuant un débit maximal estimé à $250 \text{ m}^3/\text{s}$ et de période de retour 5000 ans.

4 Barrage de Tilesdit :

4.1 Bref aperçu du barrage :

L'aménagement de TILSEDIT est implanté sur Oued Eddous, à l'exutoire d'un bassin versant de 843 km^2 avec un apport annuel régularisable de 83 hm^3 .

Le barrage de TILES DIT est situé au milieu de la partie septentrionale de l'Algérie à 18 km à l'est de la ville de Bouira et à 4 km de la route nationale n° 5 reliant Alger et Constantine.

Le barrage de TILES DIT est implanté dans une région à vocation agricole, la construction du barrage a permis de mobiliser un volume de 83 hm^3 , il permet de répondre à la double destination: l'alimentation en eau potable et industrielle (23 hm^3) des agglomérations de la Wilaya de Bouira et d'autre part à l'irrigation (50 hm^3) de la plaine de Sahel.

4.2 Description de l'évacuateur de crue :

L'évacuateur de crue est situé sur la rive droite de L'oued sur une pente relativement douce il est composé d'un déversoir polygonal de l'ouvrage de transition et du saut de ski. Le déversoir polygonal est réalisé en béton armé avec une inclinaison longitudinale de 0.03, la largeur du front de la venue d'eau est de 90m

Alors que la longueur du déversoir est de 115 m. La cote du seuil de l'arrête du déversoir est de 454 m. Le coursier large de 40 m avec une pente de 0.08, alos que sa

Longueur est de 100 m

5 **Conclusion :**

Nous avons fait un tour d'horizon sur différents types de barrages à citer le barrage de Bouroumi ; le barrage de Kheddara et le barrage de Tilesdit qui sont considérés comme étant des grands barrages de l'Algérie et nous avons pu faire allusion aux différents types d'évacuateurs de crue qui y sont associés tout en mentionnant et citant des informations explicatives sur ces évacuateurs .

D'après ces informations explicatives sur ces évacuateurs de crue qui sont tous à surface libre pour les trois barrages nous avons tiré les conclusions suivantes concernant le choix de l'organe de déversement et son impact sur l'évacuation de la crue :

- 1- Fonctionnement systématique
- 2- Y'a pas risque de bouchage
- 3- Accélérer l'évacuation de la crue par le biais du coursier (rapide)

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de ce mémoire de master consiste à présenter les différents types des déversoirs ainsi que leurs conception hydraulique et leurs comportements vis-à-vis les crues en vue de savoir l'impact du choix de déversoir sur l'évacuation des crues.

On sait très bien que la conception des déversoirs reste toujours une étape délicate et déterminante car ça fait intervenir maints facteurs à la fois géologiques, topographiques, et même hydrauliques afin d'évacuer sereinement la crue.

Nous avons vu que La submersion d'un barrage au passage d'une forte crue est toujours un phénomène particulièrement dangereux. Une grande proportion des accidents de rupture survenus à des barrages ont eu pour origine des sur verses provenant de crues qui dépassaient les possibilités du dispositif d'évacuation.

Par voie de conséquence, La maîtrise des crues est généralement assurée par l'équipement du barrage par un évacuateur de crues qui assure le passage des crues sans incident. Mais parfois malheureusement durant l'exploitation il apparaît que la capacité d'évacuation est insuffisante en raison que ces ouvrages sont conçus avec de manque d'information (des courtes séries hydrologiques), ou avec des méthodes anciennes.

Donc au final il faut qu'il y'ait une vigilance scientifique accompagnées par des études approfondies et minutieuses afin de bien choisir le type de déversoir qui soit le plus approprié et le plus convenable pour assurer la sécurité de l'ouvrage hydraulique sur lequel il est implanté.

On laissera le soin aux membres de jury afin d'apprécier les résultats et d'y porter des critiques objectives afin de développer et d'améliorer ce genre d'étude.

Références bibliographiques :

- [1] Centre d'étude techniques maritimes et fluviales Notice sur les déversoirs ; 2005
- [2] DEGOUTTE ; Les déversoirs sur digues fluviales ; 2012
- [3] Kamaalel et Zahafsa ; Ouvrages hydrauliques , version Mai 2012
- [4] MOULODI. Y ; Polycopie de cours des Ouvrages annexes ; ENP
- [5] MOULOUDI. Y ; Polycopie de cours des Barrages ; ENP
- [6] VALIRON. F ; guide de conception et de gestion des réseaux d'assainissement unitaire ;
1996