

République Algérienne démocratique.
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique.
Ecole nationale polytechnique.
Département d'hydraulique.



Projet de fin d'étude en vue de l'obtention d'un diplôme d'ingénieur :

Etude
des hausses fusibles
sur un déversoir.

Proposé et dirigé par :
Mr Mouloudi. Y.

Etudié par :
Melle Benouniche Naziha.

Septembre 2006.

***« Je dédie ce travail :
A mon père et ma mère qui m'ont toujours
encouragé et assisté depuis ma tendre enfance -
que Dieu les bénisse -. Ainsi qu'a mes frères et
soeurs ».***

Etude
des hausses fusibles
sur un déversoir.

Résumé :

La satisfaction des besoins en eaux se heurte à de plus en plus de difficultés ; suite à l'envasement des barrages, l'accroissement des populations et la raréfaction des nouveaux sites de construction de barrages. Or, une quantité d'eau supplémentaire par la surélévation des barrages existants s'accompagne d'une élévation du niveau des plus hautes eaux.

Pour cela, l'installation des hausses fusibles sur le déversoir d'un barrage constitue une solution intéressante. Car elle permet de stocker une quantité supplémentaire d'eau sans changement du niveau des plus hautes eaux. De plus, elles garantissent une sécurité vis-à-vis des crues.

Summary:

The satisfaction of the needs in waters comes up against more and more difficulties; following the silting up of the dams, the growth of the populations and the rarefaction of the new sites of construction of dams. However, to mobilize a quantity of supplementary water by the heightening of the existing dams comes with an elevation of the level of the highest waters.

For it, the installation of the fusegates on the spillway of a dam constitutes an interesting solution. Because it permits to stock a supplementary quantity of water without change of the level of the highest waters. Besides, they guarantee a security opposite the rises in the water level.

الملخص:

تحقيق تغطية شاملة لمختلف احتياجات المياه يواجه عدة صعوبات: توحل السدود, ارتفاع عدد السكان و ندرة المواقع لإقامة السدود. و لكن توفير كمية إضافية من المياه بزيادة ارتفاع مستوى الحد الأعلى للمياه. ولهذا, استعمال الروافع المنصهرة على مصب السد يكون حل مثير للاهتمام. لان هذه الروافع تمكن من حجز كمية إضافية من المياه بدون تغير مستوى الحد الأعلى للمياه في السد. بالإضافة, أنها تكون حماية من الفيضانات.

Mots clés : hausses fusibles, déversoir, évacuateur de crue, capacité de stockage, seuil.

Sommaire :

Introduction.....	4
Chapitre 1 :généralité.....	5
1/Problématique.....	6
1-1/La maîtrise des crues.....	6
1-2/La capacité de stockage.....	7
2/Equipement d'un seuil libre.....	7
2-1/Seuil libre.....	8
2-2/Les vannes.....	9
2-2-1/Les différents types de vannes.....	9
2-2-2/Avantages et inconvénients.....	10
2-3/Les seuils gonflables.....	11
2-3-1/Principe de fonctionnement.....	11
2-3-2/Description d'un seuil gonflé à l'eau.....	12
2-3-3/Avantage et inconvénients.....	13
2-4/Les hausses fusibles.....	13
3/Présentation des hausses fusibles.....	14
3-1/Description d'une hausse.....	14
3-2/Principe de fonctionnement.....	16
3-3/Les types de hausses.....	18
3-3-1/Les hausses à crête labyrinthe.....	18
3-3-2/Les hausses à crête rectiligne.....	20
3-4/Les avantage des hausses fusibles.....	21
3-5/Les hausses installées dans le monde.....	22
Chapitre 2 : Etude hydraulique détaillée des hausses fusibles.....	24
1/Analyse de stabilité.....	25
1-1/Principe de dimensionnement.....	25
1-1-1/Dimensionnement hydraulique.....	25
1-1-2/Dimensionnement mécanique.....	25
1-2/Efforts intervenant dans la stabilité d'une hausse.....	27
1-3/Sécurité de fonctionnement.....	31
1-3-1/Etude de stabilité.....	31

1-3-2/La sous-pression de basculement.....	32
1-4/Effets de sollicitations particulières.....	34
1-4-1/Séisme.....	34
1-4-2/Choc.....	36
1-4-3/Vagues.....	38
2/Performances hydrauliques des hausses.....	39
2-1/Caractéristiques du débit des hausses.....	40
2-2/Hauteur des hausses.....	42
2-3/L'augmentation de la capacité de stockage.....	43
2-4/Amortissement des crues.....	43
2-5/Lute contre l'envasement.....	44
2-6/Le débit aval.....	44
3/Application des hausses fusibles pour les nouveaux barrages.....	45
3-1/L'utilisation des hausses.....	45
3-2/Valorisation des seuils étroits.....	47
4/Conséquences de la modification du niveau normal de retenue.....	48
5/Evacuation des hausses basculées.....	49
6/Entretien et maintenance.....	50
Chapitre 3 : Analyse des hausses des Béni Amrane.....	51
1/But de l'analyse.....	52
2/Présentation du barrage.....	52
3/Caractéristiques du site de Béni Amrane.....	52
4/Caractéristique du barrage.....	52
5/La retenue.....	53
6/Hydrologie.....	53
7/L'utilisation des hausses fusibles.....	53
8/Caractéristiques des hausses de Béni Amrane.....	54
9/Analyse et critique des hausses de Béni Amrane.....	55
Conclusion.....	56
Références bibliographiques.....	57
Liste des abréviations.....	58
Liste des figures.....	60

Introduction :

Les barrages réservoirs jouent un rôle déterminant dans l'équilibre socio-économique d'un pays. Cependant, ils sont confrontés à deux problèmes fondamentaux. Le premier problème est la maîtrise des crues par la conception d'évacuateurs laissant passer sans risque de submersion, les crues exceptionnelles dont la période de retour est inférieure à une valeur limite. Celle-ci est déterminée pour éviter la rupture du barrage. Le second problème se rapporte à la perte de la capacité de stockage suite à l'envasement du barrage.

La tentation de rehausser le niveau du seuil permet combler la perte de la capacité de stockage. Mais elle engendre une diminution de la sécurité de l'évacuation des crues. Cette rehausse modifie le niveau des plus hautes eaux et remet en cause la stabilité du barrage. De plus, l'évolution des méthodes d'estimation des crues de projet conduit dans plusieurs cas à l'augmentation de celle-ci.

Devant cette problématique, l'équipement des déversoirs par des hausses effaçables lors des crues peut résoudre ces problèmes. Ces éléments permettent un gain de stockage et assurent le passage des crues. Comme un fusible, elles fonctionnent par tout ou rien et elles doivent être remplacées après qu'elles aient remplie leur rôle.

L'originalité de ce dispositif est liée aux conditions de stabilité et basculement du fait que les hausses sont des éléments autostables. Mais aussi à la forme labyrinthe de la crête, qui permet d'allonger la lame déversante et par la même d'augmenter le coefficient de débit.

Chapitre1 :
Généralités.

1/Problématique

Les barrages sont des ouvrages hydrauliques qui permettent la régulation des cours d'eau ou la disponibilité d'une réserve d'eau. Mais généralement, pendant leur exploitation ils sont confrontés à plusieurs problèmes : l'envasement, l'accroissement de demande en eau, la non-conformité de la de crue projet dans le cas où l'information hydrologique est insuffisante,...etc. Et de plus en plus, il y a raréfaction des sites de construction de nouveaux barrages.

Dans ce contexte, la surélévation des barrages existants est une solution intéressante, lorsqu'elle est techniquement réalisable c.a.d la stabilité du barrage n'est pas mise en jeu. Spécialement, si elle n'entraîne pas de contestations sociales.

1-1/La maîtrise des crues

Un facteur important de sécurité d'un barrage est la possibilité d'évacuer les crues exceptionnelles sans mettre en danger l'ouvrage. La qualité des études de conception et des travaux de construction, ainsi que la fiabilité de fonctionnement de l'évacuateur de crue, sont autant d'éléments essentiels pour la sécurité du barrage et des populations à l'aval.

Le Bulletin CIGB N° 82 [2] (Commission Internationale des Grands Barrages) indique que 34 à 41 % des ruptures de barrages ont eu pour cause une capacité d'évacuation insuffisante. Ces chiffres montrent à quel point la détermination de la crue de projet est entachée d'incertitude.

Les conséquences d'une défaillance de l'évacuateur ou de son exploitation sont la cause principale des ruptures de barrages. Pour les barrages en terre et en enrochement, c'est la submersion de la digue qui a été la cause principale des ruptures; pour les barrages en maçonnerie, l'insuffisance de la capacité d'évacuation a été la cause principale de rupture. Dans les cas de rupture par submersion, on a pu mettre en évidence des problèmes d'évacuateur (capacité insuffisante, mauvais fonctionnement pendant le passage d'une crue, défauts de conception,...etc.).

1-2/La capacité de stockage

Un des moyens les plus efficaces de gestion des ressources en eau pour répondre aux besoins humains est la construction de barrages en vue du stockage et d'une

distribution ultérieure de l'eau. Mais ces derniers trouvent leurs capacité utile de stockage diminuée suite à l'envasement au fil des ans.

Les barrages équipés d'un évacuateur de crues à surface libre nécessitent une revanche pour leur bon fonctionnement aux moments des crues et leurs capacité de stockage est déterminée par la hauteur de l'évacuateur des crues. Cette revanche est comprise entre le niveau normal de retenue et le niveau des plus hautes eaux et représente généralement 20% à 50% de la capacité de stockage.

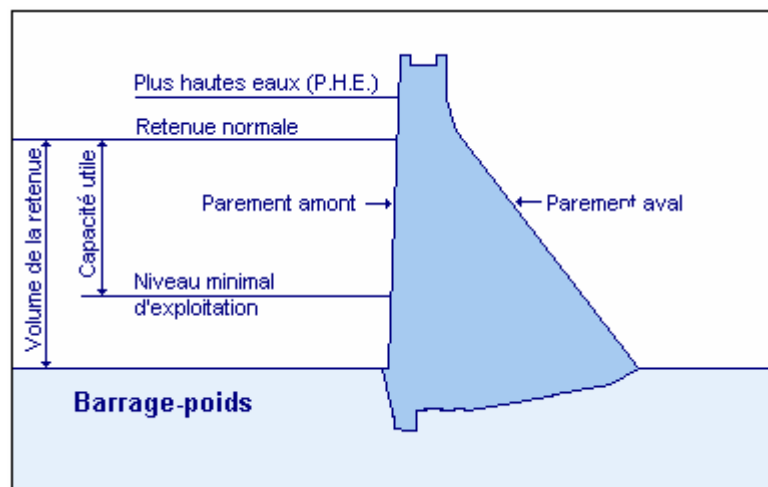


Figure (1-1) : Coupe transversale d'un barrage poids.

2/Équipement d'un seuil libre

L'évacuateur de crues doit faire passer la crue de projet sans mettre en danger le barrage et sans provoquer des conditions à l'aval qui seraient plus dangereuses que celles existant avant la construction du barrage.

L'équipement du seuil libre permet de valoriser la tranche du plan d'eau comprise entre le niveau normal de retenu et le niveau des plus hautes eaux. Soit pour accroître la ressource en eau, sans diminuer la sécurité vis-à-vis des crues. Soit pour accroître la sécurité vis-à-vis des crues à niveau de retenue identique.

Trois dispositifs sont envisageables :

- L'installation d'organes mobiles.
- La mise en place de boudins gonflables.
- La pose de hausses fusibles.

2-1/Seuil libre

Un évacuateur à seuil libre est, sans conteste, l'ouvrage le plus sûr. En effet, il est moins exposé à l'obstruction par des corps flottants et, sans parties mécaniques, il n'y a pas de possibilité d'erreur humaine dans l'exploitation et réduit l'entretien au minimum. Mais il nécessite une grande longueur de seuil, donc une grande largeur de coursier contribuant à l'augmentation du coût du projet.

2-2/Les vannes

2-2-1/Les différents types de vannes

➤ Vannes levantes verticales

Il s'agit généralement de vannes wagon (sauf pour les petits barrages, parfois équipés de vannes à glissières).

Pour les évacuateurs de surface des grands barrages, ces vannes nécessitent une superstructure assez importante, et généralement un portique de manoeuvre et de manutention pour l'entretien.

Ces vannes sont capables de couper le plein débit. Elles sont équipées d'une barre d'étanchéité sur le bord inférieur et d'étanchéités en "note de musique" sur les bords latéraux.

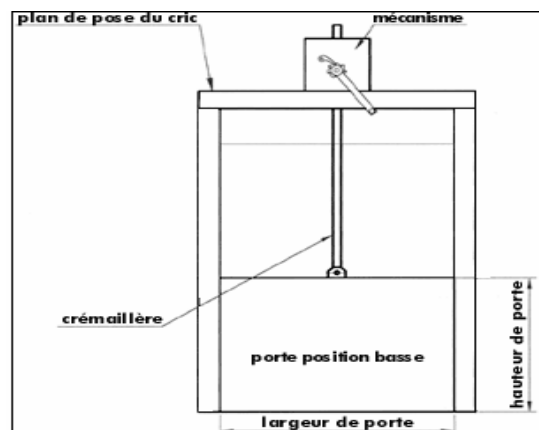


Figure (1-2) : Schéma d'une vanne levante verticale.

➤ Vannes segment et secteur

La vanne segment et secteur sont le type le plus répandu. En effet, leurs coût de fabrication est moindre.

Elle est caractérisée par la forme de sa tôle bordée en secteur de cylindre. Cette particularité a pour conséquence de transmettre tous les efforts de poussée

hydraulique radialement et donc de faire passer les résultantes de forces par l'axe de rotation de l'ensemble. En clair, l'effort de manoeuvre de cette vanne ne dépend que très peu de la pression hydraulique que l'on applique à sa surface.

De plus, les conditions d'écoulement sont améliorées par rapport à la vanne wagon, compte tenu de l'absence de rainures. Elle est équipée d'une barre d'étanchéité rigide sur le bord inférieur et d'étanchéités glissantes en "note de musique" sur les bords verticaux.

Il est généralement déconseillé de laisser déverser par-dessus une grande vanne segment. En effet, pour un débit important, on risque de voir apparaître de fortes vibrations, mettant en danger la tenue mécanique de la vanne. S'il y a un risque d'accumulation de corps solides à l'amont de la vanne, on peut prévoir un volet mobile au sommet de la vanne segment pour évacuer ces matériaux.

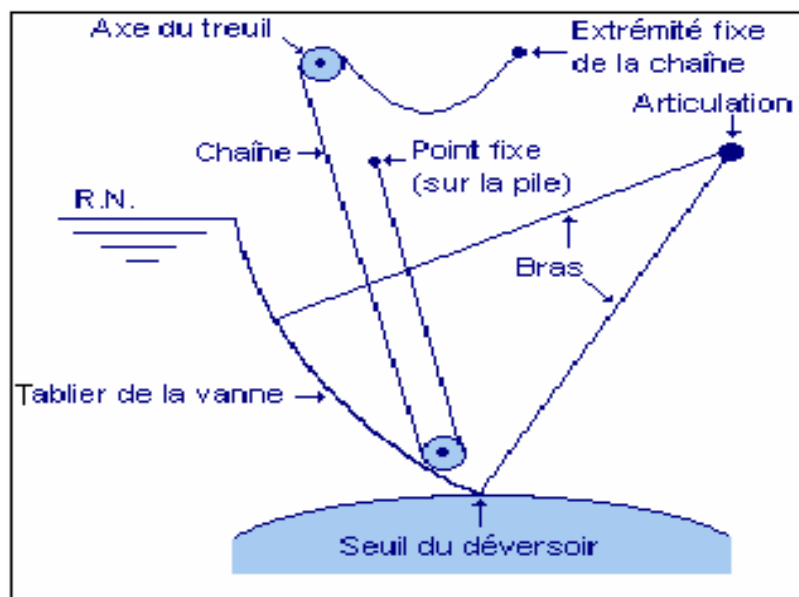


Figure (1-3) : Schéma d'une vanne segment.

➤ **Vannes clapet**

Les vannes clapet équipant les évacuateurs de surface assurent le réglage fin du niveau de la retenue lorsque la hauteur de la nappe déversante est relativement faible.

L'étanchéité du bord inférieur est continue, celles des bords latéraux sont du type glissant.

La vanne clapet est excellente lorsqu'il y a risque d'accumulation d'une grande quantité de corps solides côté amont, car ces matériaux passent facilement par-dessus la vanne.

L'organe de manœuvre peut être du type cric, treuil ou vérin hydraulique... Celui-ci est manuel ou motorisé à commande manuelle, semi-automatique ou automatique.

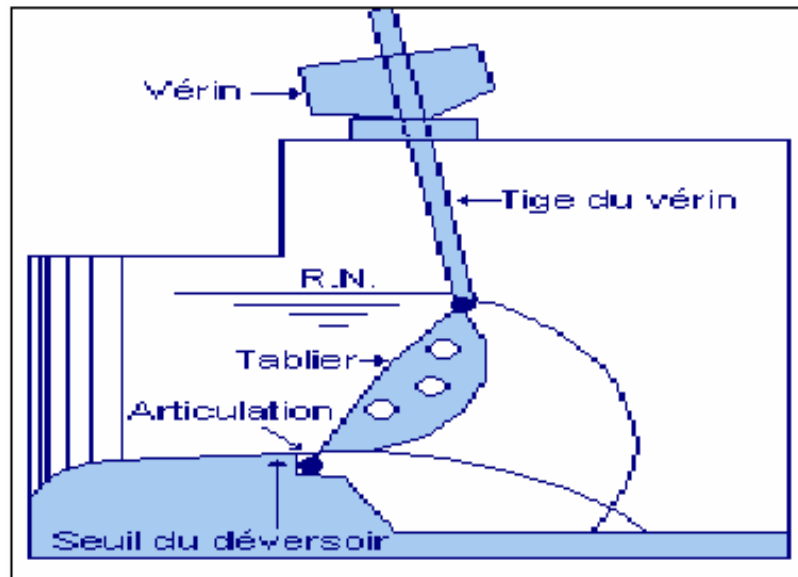


Figure (1-4) : Schéma d'une vanne clapet.

2-2-2/Avantages et inconvénients

L'évacuateur vanné donnant plus de souplesse d'exploitation qu'un seuil libre. De plus, le coût total plus faible que pour un déversoir à seuil libre pour un débit équivalent. Cette souplesse d'exploitation se traduit par la possibilité d'intégrer une stratégie de passage des crues exceptionnelles en limitant les lâchées pour ne pas dépasser le débit au-delà duquel il y aurait des inondations à l'aval.

La fiabilité du fonctionnement des vannes est impérative pour assurer la sécurité du barrage lors du passage des crues exceptionnelles. En général, il y a deux causes principales de défaillance de fonctionnement :

- Soit l'exploitant tarde à ouvrir les vannes ou omet de les ouvrir, alors même que ces vannes sont en bon état de fonctionnement.

- Soit la manoeuvre est impossible par suite de désordres affectant la vanne elle-même (Vices de conception, désordres dus au vieillissement), ou de panne d'un ou de plusieurs éléments de l'équipement de commande.

Afin d'assurer la fiabilité de fonctionnement des évacuateurs de crue vannés, un programme régulier d'inspection et d'entretien des évacuateurs et des vannes est d'une nécessité absolue. Donnant existence à des frais de maintenance qui progressent dans le temps.

2-3/Les seuils gonflables

Inventé et breveté en 1947 par le professeur français MESNAGER. Ce procédé permettrait de gagner en hauteur sans nuire à la sécurité du barrage.

2-3-1/Principe de fonctionnement

Le principe de base consiste à s'opposer à la poussée de l'eau par une membrane fixée sur le seuil et gonflée à l'air ou à l'eau. Cette membrane résiste à la poussée de l'eau, sans fléchir grâce à la contre pression maintenue à l'intérieur. Mais lorsque le niveau du plan d'eau tend à s'élever, l'accroissement de la poussée de l'eau dégonfle partiellement ou totalement la membrane pour permettre le passage de grands débits.

Donc l'abaissement du seuil lors des crues se fait automatiquement; par contre la remise à niveau du seuil nécessite une source d'énergie électrique ou mécanique.

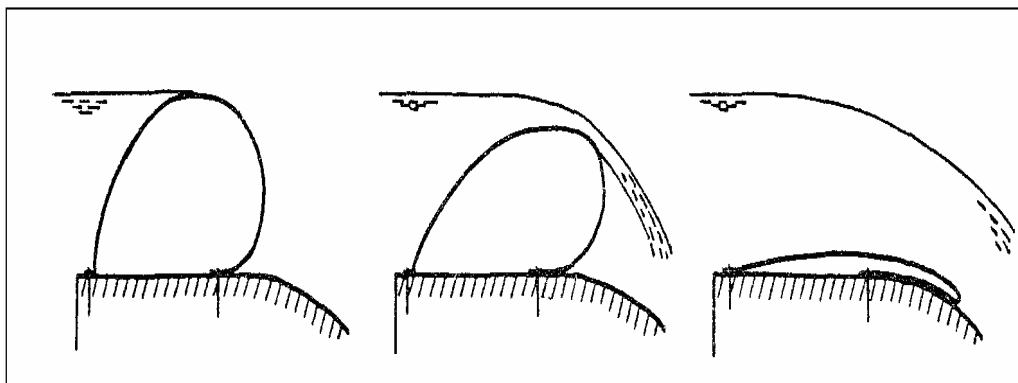


Figure (1-5) : Fonctionnement d'un seuil gonflable.

2-3-2/Description d'un seuil gonflé à l'eau :

La membrane est constituée d'un matériau élastomère renforcé par une armature à la fois souple et résistante. Elle est repliée en forme de boudin et fixée à un radier horizontal en béton et aux deux bajoyers. L'enveloppe ainsi formée est reliée à un puits placé sur l'une des rives. Le puits est alimenté en eau de manière à créer une charge Q à l'intérieur de la membrane supérieure de 30% à 50% à la charge P correspondant au plan d'eau normal rehaussé.

Lorsque le niveau de l'eau tend à augmenter à l'amont cause l'accroissement de la poussée P :

*pour des charges $P < Q$: on a un déversement sur le seuil sans que celui-ci se dégonfle.

*pour des charges $P > Q$: le seuil se dégonfle progressivement sous l'effet de la poussée P en expulsant l'eau du puits par sur verse.

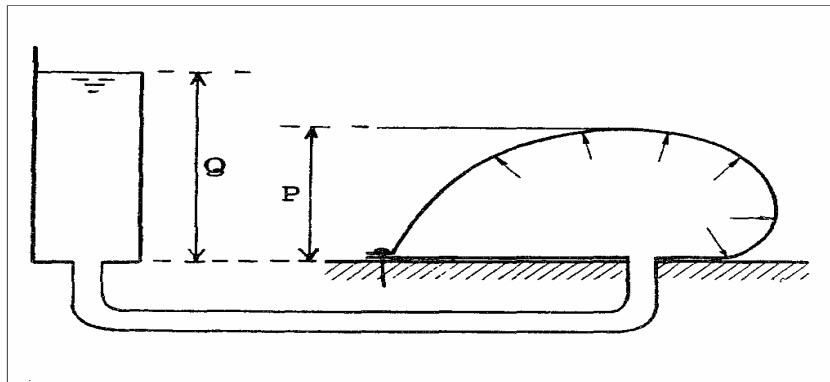


Figure (1-6) : Principe d'un seuil gonfler à l'eau.

2-3-3/Avantages et inconvénients

Ce système résiste bien aux corps flottants. En effet, à leur arrivée sur la crête, ils provoquent une pression localisée qui dégonfle légèrement la membrane une encoche en V se forme où la vitesse augmente ce qui expulse le corps flottant vers l'aval.

Mais malgré plusieurs décennies d'expérimentation. Ce système n'a pas apporté de solution totalement satisfaisante du fait que la membrane se dégrade très rapidement en perdant ses propriétés élastiques, nécessitant ainsi un remplacement fréquent. Cette membrane est sujet à de fréquentes alternances d'immersion et d'exposition aux ultra violets en fonction des fluctuations du niveau d'eau dans le réservoir. Et aussi elle peut être endommagée par vandalisme.

De plus de tels seuils ont une hauteur généralement 1,5 m à 3 m ce qui rend le système peu économique.

2-4/Les hausses fusibles

Ce système est inventé en 1989 par LEMPERIERE à fin d'augmenter le volume utile de la retenue, la capacité de l'évacuateur ou les deux en même temps.

Le principe des hausses fusibles est d'allier les avantages d'un seuil vanné a ceux d'un seuil libre. Ce système est constitué d'éléments jointifs et indépendants disposés sur le seuil libre du déversoir de manière à former un écran étanche, augmentant ainsi la capacité du barrage.

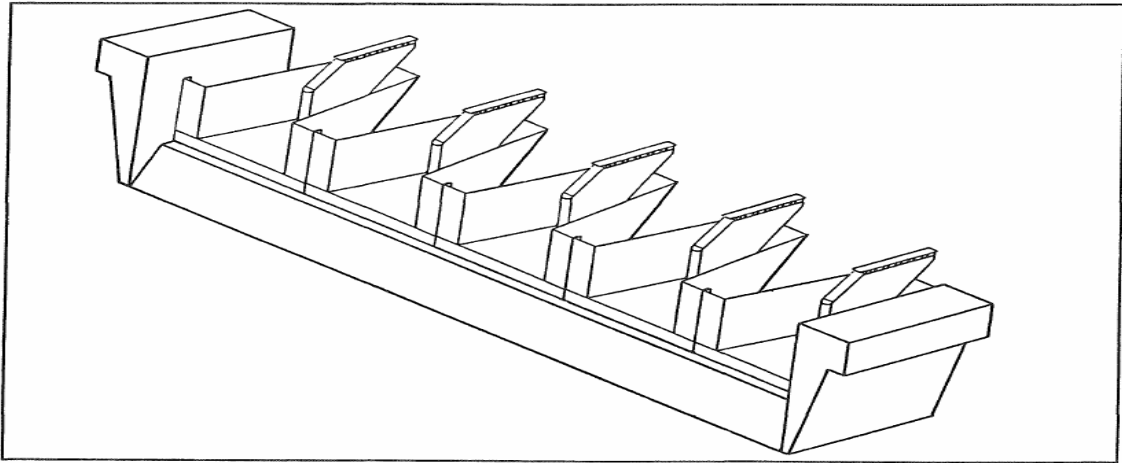


Figure (1-7) : Seuil rehaussé par des hausses fusibles.

3/Présentation des hausses fusibles

3-1/Description d'une hausse

Chaque hausse est constituée de trois parties : La partie hausse, la chambre de mise en pression au contact du seuil, l'entonnoir ou puits d'alimentation et le lest. Chacune de ces parties peut avoir une configuration différente en fonction de sa destination.

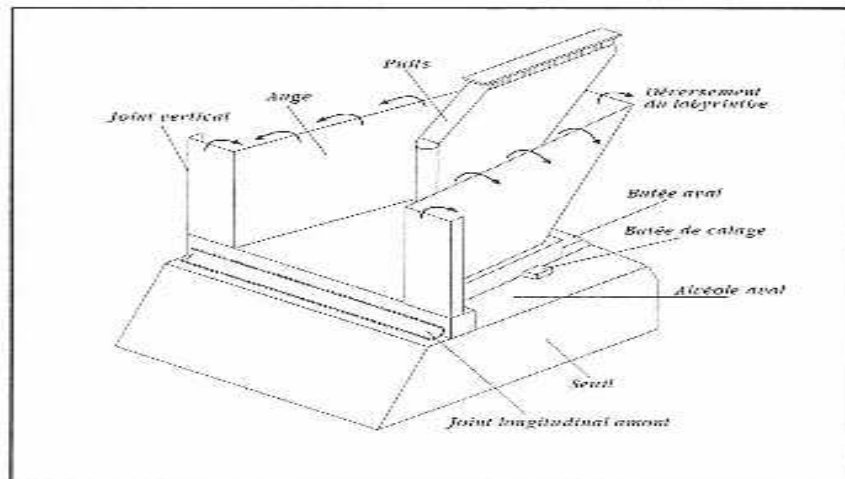


Figure (1-8) : Vue depuis l'amont d'une hausse.

- **Le puits**

Le puits d'alimentation est généralement solidaire de la hausse et construit en acier mais dans le cas de fortes crues, son fût est alors construit en béton afin d'éviter les vibrations. Sa partie supérieure est évasée, l'embouchure est protégée par des barreaux et surmontée d'un chapeau. Et sa partie inférieure est en communication avec la chambre de mise en pression. La position du puits par rapport à la hausse et le profil de son embouchure sont adaptés à la forme de la ligne d'eau.

- **La chambre de mise en pression**

La chambre de mise en pression est solidaire à la hausse, sa base est construite en béton ou en acier. Elle est en contact en aval avec deux butées en béton ancrées dans le seuil et un dispositif d'étanchéité l'isole du réservoir amont. Exceptionnellement, la forme de la chambre peut être adaptée à la forme du seuil Greager afin d'éviter les problèmes de dérasement.

Elle comporte des purges afin d'éviter la mise en pression accidentelle de la chambre due au eaux de fuites à partir du réservoir. La section des purges est nettement inférieure à celle du puits d'alimentation de façon à provoquer à coup sûr la sous pression en cas de déversement dans le puits.

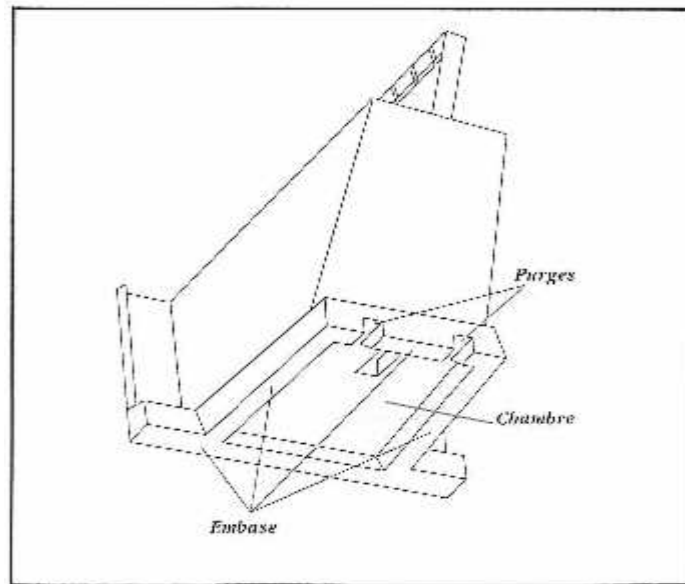


Figure (1-9) : Vue de dessous d'une hausse.

- **Le lest**

Par conception, l'équilibre général des hausses est assuré d'une part de la forme de celle-ci et d'autre part de la nature des matériaux qui la constituent. Donc, le lest sert à compléter cet équilibre et à ajuster la pression régnant dans la chambre au moment du basculement de chaque hausse. Il permet en particulier de différencier le comportement de chaque hausse. Il est constitué suivant les cas, de blocs de béton, d'acier, ou de fonte.

3-2/Principe de fonctionnement

Selon le niveau d'eau dans le réservoir, les éléments de rehausse fonctionnent comme un barrage, un déversoir ou un fusible. Ce système fonctionne rien que sous l'action de l'eau n'utilisant ni énergie ni dispositif mécanique.

Lorsque le niveau d'eau est inférieur ou égal au niveau d'arase des hausses, celles-ci fonctionnent comme un barrage et chaque élément est autostable.

Pour les crues modérées, le niveau d'eau s'élève au-dessus de la cote d'arase des hausses, celles-ci fonctionnent comme un déversoir à seuil libre.

Par contre, lors des crues exceptionnelles, l'augmentation du niveau d'eau dans la retenue atteint un niveau à partir duquel l'eau pénètre dans le puits pour s'accumuler dans la chambre, créant ainsi une forte pression qui déstabilise la hausse et la

fait basculer. Le terme « fusible » ne doit pas induire en erreur : les hausses commencent à basculer seulement dans le cas de crues à très faible probabilité d'occurrence.

Les hausses fusibles sont des éléments indépendants entre eux, le basculement d'une hausse n'induit pas forcément le basculement d'une autre hausse. Les niveaux de basculement des hausses sont réglés à différentes hauteurs, de manière à ce que l'effacement des hausses soit progressif, à mesure que les hausses basculent, la brèche par laquelle l'eau peut s'échapper s'accroît, soulageant le barrage d'un déversement excessif qui pourrait l'endommager. De plus, le basculement progressif permet d'atténuer l'effet des crues très exceptionnelles.

La fréquence de basculement peut être ajustée en fonction d'un optimum économique reliant les gains de stockage au déficit d'exploitation en cas de basculement d'une ou de plusieurs hausses.

Le principe de fonctionnement des hausses est schématisé dans ce qui suit :

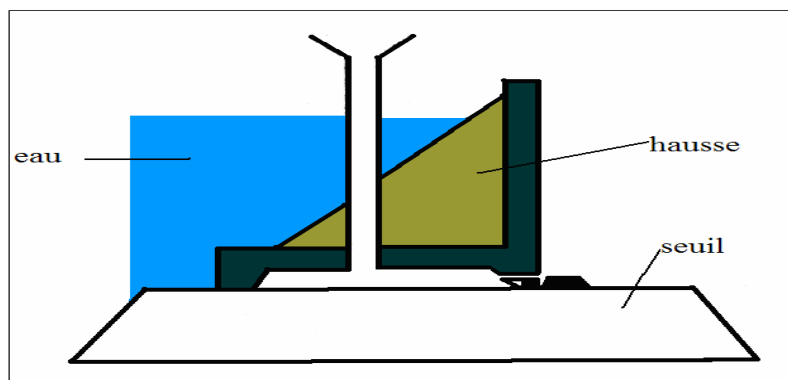


Figure (1-10) : La hausse fonctionne comme un barrage.

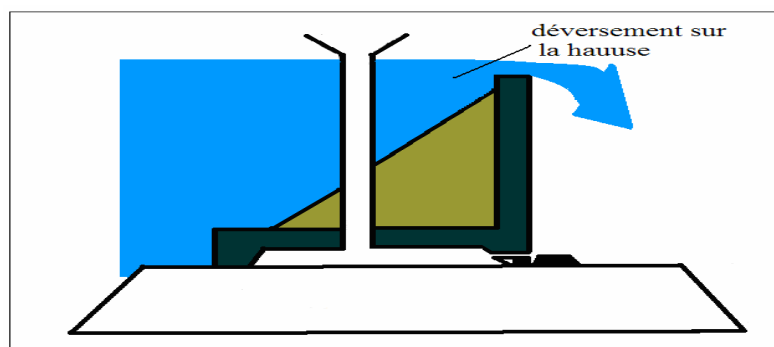


Figure (1-11) : La hausse fonctionne comme un déversoir.

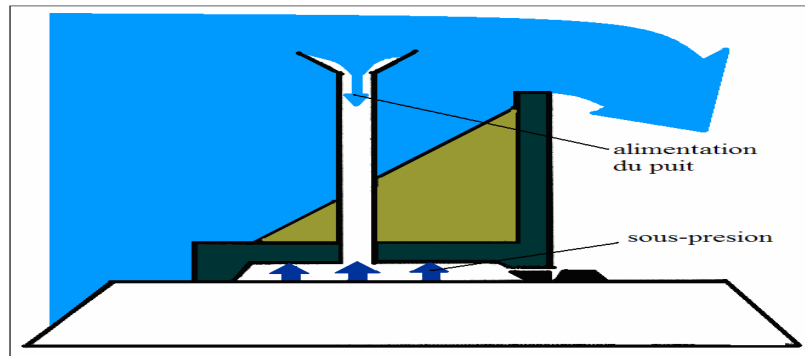


Figure (1-12) : Alimentation de la chambre de mise en pression.

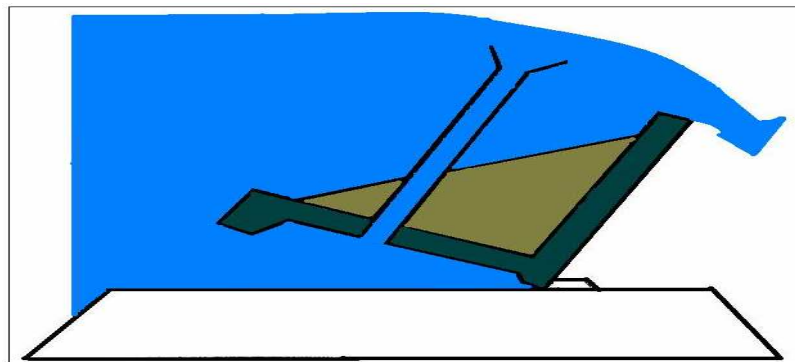


Figure (1-13) : L'eau bascule la hausse.

3-3/Les types de hausses fusibles

Divers modèles de hausses sont développés afin de répondre aux exigences spécifiques de chaque projet. Les hausses varient en hauteur, en forme, en poids ainsi qu'en matériaux de fabrication.

Caractérisées principalement par la forme de leur crête, on distingue deux types :

3-3-1/Les hausses à crête labyrinthe

La hausse est constituée d'un caisson ouvert vers l'amont dont la crête a une forme labyrinthe. Cette disposition permet l'écoulement des crues sous une hauteur de lame déversante réduite vu que la longueur déversante est augmentée.

Il existe trois modèles de hausses selon la lame déversante (faible, modérée, forte).

Les hausses labyrinthe sont fabriquées en acier ou en béton et elles peuvent être également mixtes.

Ce type de hausses est utilisé quand la hauteur de la lame déversante varie entre 30% à 140% de la hauteur de celles-ci. De plus, leurs dimensions sont standardisées

La hauteur de la hausse varie de 1,5 m à 6,5 m.

Le poids des hausses est :

- 2 t pour 2 m de hauteur d'élément.
- 15 t pour 5 m de hauteur d'élément.
- 40 t pour plus de 5 m de hauteur d'élément.

Les trois modèles standard de hausse labyrinthe sont :

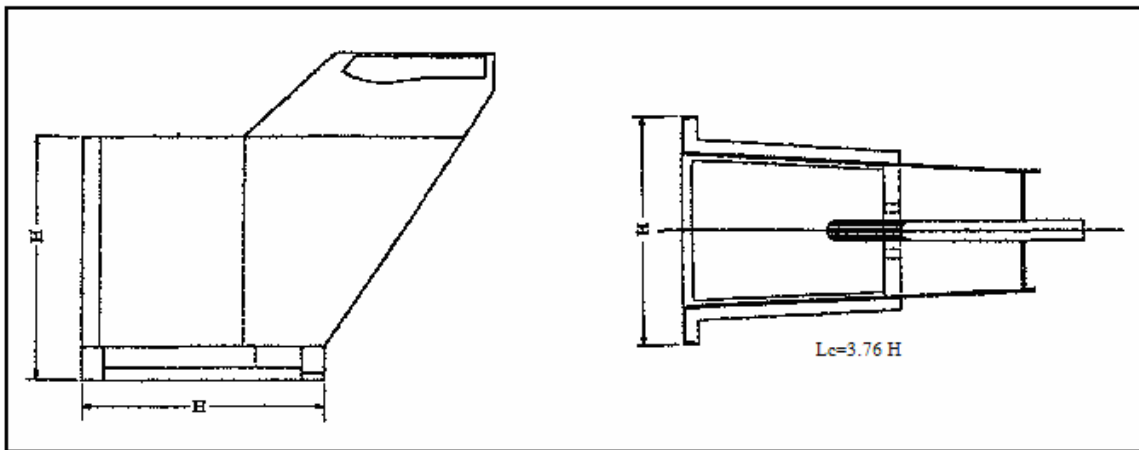


Figure (1-14-a) : Hausse labyrinthe à lame déversante modérée.

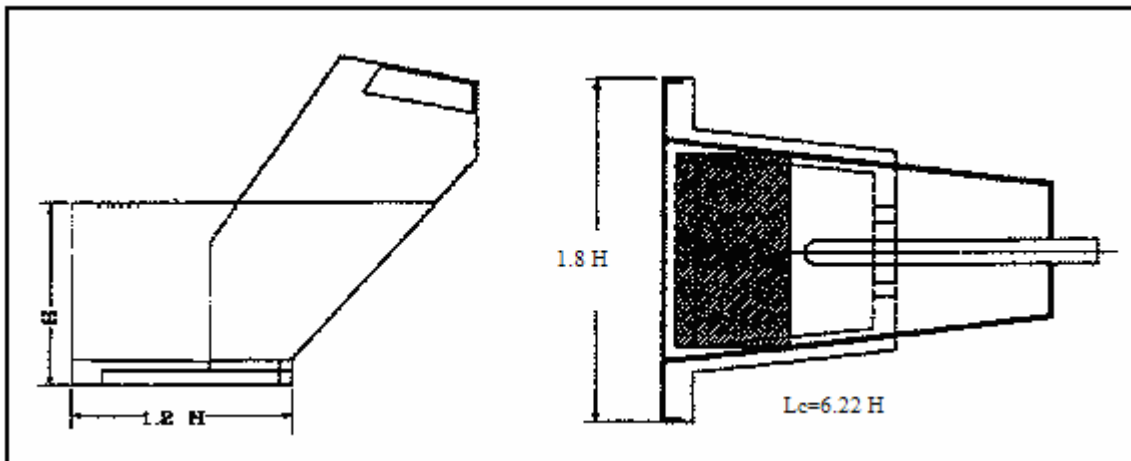


Figure (1-14-b) : Hausse labyrinthe à forte lame déversante.

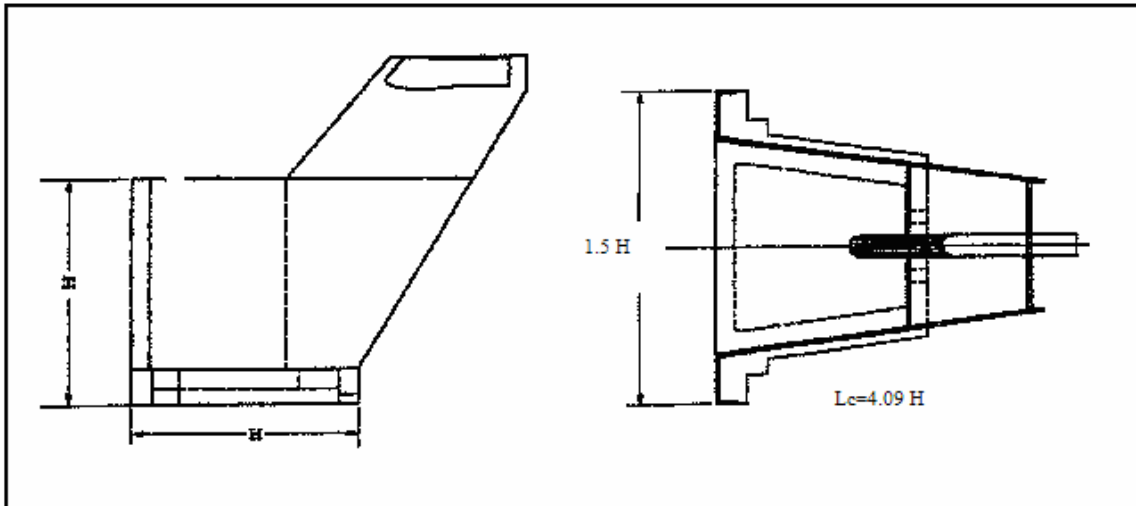


Figure (1-14-c) : Hausse labyrinthe à faible lame déversante.

3-3-2/ Les hausses à crête rectiligne

Les hausses à crête rectiligne, appelées aussi hausses droites, sont déclinées en deux modèles de base suivant la hauteur de la lame déversante :

***Pour les fortes lames d'eau**

Elles peuvent supporter des hauteurs allant jusqu'à quatre fois leur hauteur propre. Ces hausses sont généralement construites en béton plein et leur crête est profilée afin d'optimiser l'écoulement.

Dans ce cas, le labyrinthe perdrait une grande partie de son efficacité.

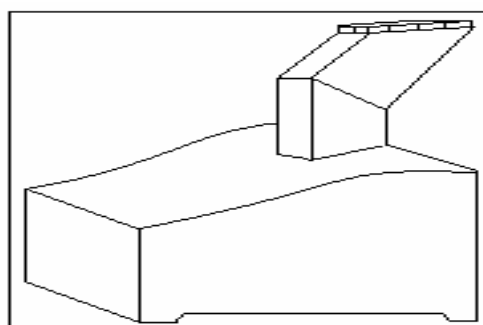


Figure (1-15) : Hausse droite profilée.

***Pour les faibles lames d'eau**

Utilisée habituellement comme complément à un système vanné, elles sont réglées pour basculer avant déversement ou à la suite d'un déversement annonciateur très faible. Cela permet une gestion fine du niveau de la retenue tout en augmentant la sécurité du barrage tant vis-à-vis des crues importantes que d'une défaillance de la vanne.

Ces hausses peuvent être utilisées seules pour mettre automatiquement en service des bassins de stockage de crues disposés le long des grands fleuves.

Leur hauteur peut varier entre un mètre et une dizaine de mètre. Elles sont constituées de deux panneaux rectangulaires en acier ou en béton préfabriqué.

De leur rôle de soutien aux dispositifs mécaniques, on les appelle « hausses de sécurité ».

Le poids de ces hausses est :

- 4 t pour 5 m de hauteur.
- 10 t pour 8 m de hauteur.
- 25 t pour 12 m de hauteur.

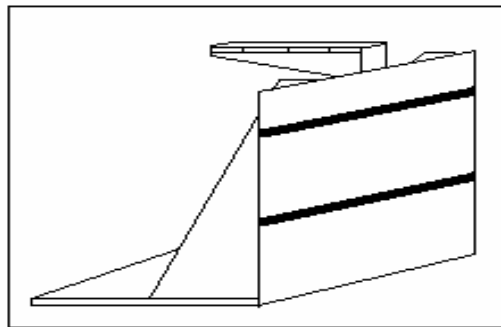


Figure (1-16) : Hausse droite en « L ».

3-4/ Les avantages des hausses fusibles

- **La sécurité du système**

Le système est conçu et calculé pour ne jamais mettre en péril, quelles que soient les circonstances, l'ouvrage ou les biens et les personnes situées en aval.

Pour chaque projet, l'effet de tous dysfonctionnements éventuels est vérifié.

En particulier, deux côtes conditionnent le dimensionnement :

*la côte ultime de stabilité : C'est la côte à partir de laquelle la hausse bascule sous la simple poussée de l'eau, sans mise en pression de sa chambre.

*La côte minimale de fusibilité : C'est la côte en deçà de laquelle la hausse ne peut pas basculer, même si la sous-pression dans la chambre était maximale.

Cette double sécurité constitue un avantage essentiel par rapport à un tout autre système.

- **Le système est économique**

La flexibilité du système permet de l'adapter sur les barrages nouveaux et anciens pour améliorer la sécurité des évacuateurs de crues tout en augmentant la capacité du réservoir.

Cela représente une solution économique du fait que :

*Les anciens barrages seront remis en valeur tout en évitant le déplacement des populations vu que le niveau des plus hautes eaux reste inchangé.

*Augmentation de la réserve en eau tout évitant la construction des nouveaux barrages.

*Réduction des frais d'exploitations vue que le système ne fonctionne rien que sous la poussée de l'eau et ne nécessitant aucun asservissement.

*La hauteur des nouveaux barrage est réduite car on conçoit des évacuateurs de crues économiques et facile à implanter, tout en garantissant une sécurité de fonctionnement comparable à celle des évacuateurs à seuil libre.

*La perte de la hausse affecte peut l'économie du projet.

*La durée de vie du système dans son intégralité est donc généralement très supérieure à celle d'autres systèmes plus exposés au vieillissement ou aux détériorations.

- **Le système est pratique**

La mise en place des hausses est rapide et nécessite que l'aménagement d'une surface plane sur le seuil du déversoir où elles seront posées et ce-ci quel que soit le type du barrage. En outre, n'utilisant ni énergie ni dispositif mécanique et nécessitant qu'une surveillance et qu'un entretien réduits.

- **Le système respecte l'environnement**

Les hausses fusibles représentent une solution écologique. Elles permettent d'optimiser les barrages existants et d'éviter la construction de nouveaux barrages. De plus, fonctionnant uniquement sur la force de l'eau, il n'y a aucun risque de rejet de polluant.

3-5/ Les hausses installées dans le monde

Plusieurs projets d'installation de hausses fusibles ont été effectués à travers le monde. Chaque projet a ses propres caractéristiques qui tiennent compte critères spécifique au site. Ces projets avaient pour but soit un gain de stockage soit un gain au déversement. Le tableau suivant illustre quelques projets.

Non du barrage	Gain de stockage (%)	Gain de capacité du déversoir (%)
Kamuzu (MALAWI)	115	20
Ruti (ZIMBABWE)	20	0
Eikenhof (AFRIQUE DU SUD)	19	0
Xiliatos (CHIPRE)	17,2	0
Upper Layang (MALAYSIE)	19	0
Dhypotamos (CHYPRE)	13	0
Mas Chaban (FRANCE)	9,3	0
Chopadvav (INDE)	35	0
Wanakbori (INDE)	100	0
sonmati (INDE)	42	0
Ruai (ZIMBABWE)	30	0
Pluylaurent (FRANCE)	12	0
Chhaparwadi (INDE)	62	0
Kakdiamba (INDE)	22	0
Montsalvens (SUISSE)	2	400
Blacck Rock (E.U.A)	0	1060
Caillaouas (FRANCE)	0	190
McClure (E.U.A)	17	8
Dove Stone (ANGLETERRE)	0	42
Shongweni (AFRIQUE DU SUD)	0	235
Lussas (FRANCE)	30	15
Lyell (AUSTRALIE)	29	22

Tableau (1-1).

Chapitre 2 :
Etude hydraulique détaillée
des hausses fusibles.

1/Analyse de stabilité d'une hausse

Afin de mettre en évidence les différentes sécurités de fonctionnement des hausses fusibles et d'assurer leurs fiabilité. Il est nécessaire d'analyser la stabilité d'une hausse au glissement et au renversement dans les conditions normales et extrêmes de dysfonctionnement spécifique à chaque site.

Dans ce qui suit, les principes de bases de dimensionnement de la stabilité pour tout les types des hausses fusibles seront développés. Cependant, pour une meilleure compréhension, ces principes sont détaillés pour les hausses labyrinthe.

1-1/Principes de dimensionnement

Les hausses fusibles s'installent à la construction d'un nouveau barrage ou sur un barrage existant. Elles s'adaptent à tous types de barrages et permettent d'optimiser son exploitation.

L'installation des hausses fusibles sur un barrage ne doit en aucun cas mettre en péril le barrage et son entourage. Pour cela la conception des hausses fusibles doit répondre à des critères qui évitent la submersion du barrage et la création de crues artificielles à l'aval.

1-1-1 /Dimensionnement hydraulique

Un barrage est un réservoir qui se remplit à la côte normale de retenue et pour le quel la crue projet induit en pointe une montée du plan d'eau à la côte des plus hautes eaux. Cette côte est la cote ultime de stabilité du barrage.

Mais pendant son exploitation, la vérification de l'étude hydrologique conduis, dans plusieurs cas, à la réactualisation de la crue projet.

Pour cela, l'utilisation des hausses fusibles sur le déversoir permet de conserver la stabilité du barrage on tenant compte de la révision de la crue du projet. Suite à cette révision deux cas peuvent être distingués suivant les résultats de l'étude hydrologique:

- Dans le cas où la vérification de l'étude hydrologique n'amène pas à modifier le débit de la crue de projet, l'installation des hausses fusibles permet de récupérer une tranche utile de retenue jusqu'à 75% de la hauteur des plus hautes eaux. Cela

résulte du fait que le niveau des plus hautes eaux pour la crue projet n'est pas modifié par rapport à la situation antérieure, ce qui ne change pas les conditions de sécurité de l'ouvrage.

- Dans le cas où la vérification de l'étude hydrologique amène à modifier le débit de la crue projet, et afin de ne pas modifier le niveau des plus hautes eaux, un dérasement du seuil s'impose pour le passage de la crue projet. la tranche d'eau gagnée par l'installation dans ce cas est légèrement inférieure au de celle du cas précédant.

1-1-2/Dimensionnement mécanique

Le principe des hausses est de passer brutalement, pour une côte d'eau déterminée, d'une situation de stabilité largement assurée à une nette instabilité. Lors du remplissage du puits et de la chambre, le système de forces auxquelles est soumise la hausse est rapidement modifié par l'application d'une sous-pression sous sa base.

Donc, la stabilité d'une hausse fusible est dépendante des considérations de glissement et de renversement. La stabilité de glissement est facilement assurée par les butées aval, qui sont ancrées dans le seuil. La stabilité au renversement peut se traduire par la résultante, par rapport aux butées aval, des moments des efforts agissant sur la hausse. On peut alors définir un coefficient de sécurité au renversement afin de donner une assurance sur la fiabilité du système, aussi bien vis-à-vis de la stabilité avant remplissage de la chambre que vis-à-vis de l'occurrence du basculement après introduction de la sous pression.

1-2/Efforts intervenants dans la stabilité d'une hausse

Les hausses fusibles sont des éléments autostables jusqu'à une côte d'eau déterminée, qui au delà elles fonctionnent comme un fusible, c.a.d elles basculent sous la poussée de l'eau.

La hausse, simplement posée sur le seuil, s'appuie à l'aval sur ses deux butées. Le système de forces auquel elle est soumise peut être décomposé de la façon suivante et exprimé en moment par rapport aux butées aval.

Les relations sur lesquelles repose l'analyse de stabilité sont :

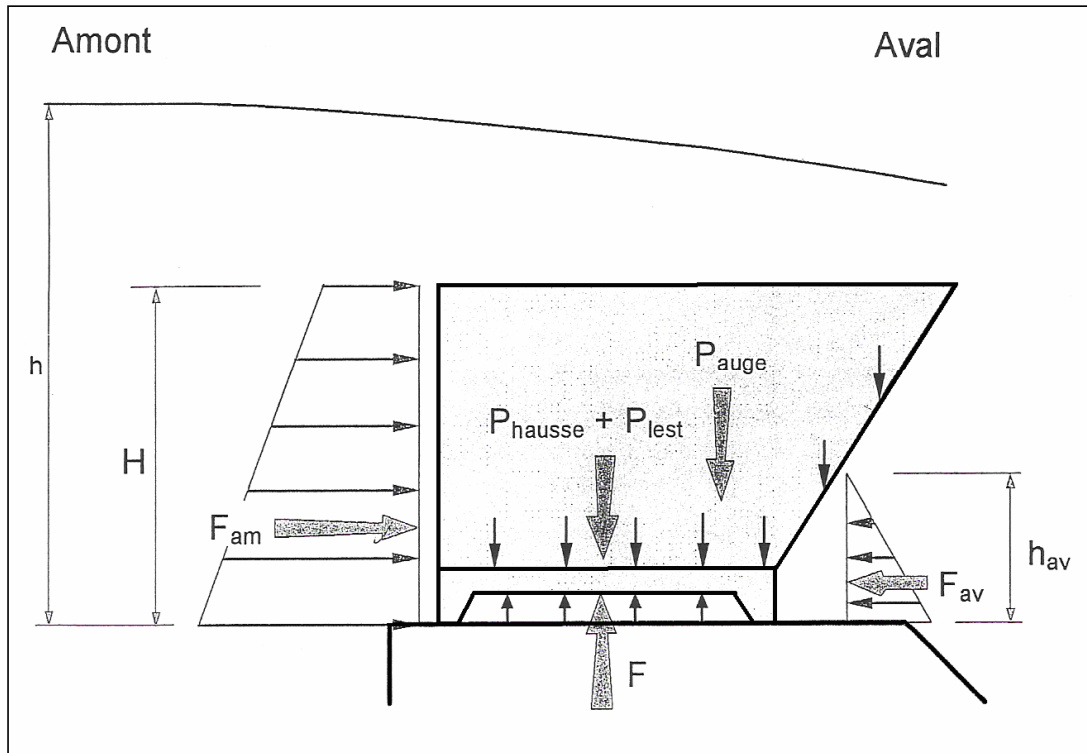


Figure (2-1) : Système de forces agissant sur une hausse.

- **La pression hydrostatique amont**

Pour simplifier les équations suivantes, la pression hydrostatique sur les puits n'est pas prise en compte.

Si $h \leq H$:

$$F_{am} = (1/2) \rho_e g L h^2 \dots \dots \dots (1).$$

Avec

F_{am} : pression hydrostatique amont.

L : largeur de la hausse.

H : hauteur de la hausse

h : hauteur de la retenue au-dessus du seuil portant les hausses.

g : accélération de pesanteur.

ρ_e : densité de l'eau.

*Le moment correspondant :

$$M_{am} = (1/6) \rho_e g L h^3 \dots \dots \dots (2).$$

Si $h > H$:

$$F_{am} = (1/2)\rho_e g L H^2 + \rho_e g L H (h-H)^2 \dots \dots \dots (3).$$

$$F_{am} = (1/2)\rho_e g L H (2h-H) \dots \dots \dots (4).$$

*Le moment correspondant :

$$M_{am} = (1/6)\rho_e g L H^3 + (1/2)\rho_e g L H^2 (h-H) \dots \dots \dots (5).$$

$$M_{am} = (1/6)\rho_e g L H^2 (3h-2H) \dots \dots \dots (6).$$

- **Le poids de la hausse et du lest**

Poids mort de la hausse : P_h

*Le moment correspondant : $M_h = P_h * X_h \dots \dots \dots (7).$

Poids mort du lest : P_l

*Le moment correspondant : $M_l = P_l * X_l \dots \dots \dots (8).$

Avec

X_h, X_l : les distances horizontales des centres de gravité de la hausse et du lest

depuis la butée.

- **La pression de l'eau exercée sur l'auge**

Quand la hausse ne déverse pas ($h < H$), la résultante de la pression verticale qui s'exerce à l'intérieur de l'auge est égale au poids de l'eau dans l'auge.

Elle varie de **0** à **P_{au}** .t.q :

$$P_{au} = \rho_e V_{au} \dots \dots \dots (9).$$

Avec

P_{au} : résultante verticale de la pression dans chambre.

V_{au} : contenance de la chambre.

Lors du déversement, la ligne d'eau au- dessus de la hausse suit une courbe descendante vers l'aval. Le profil de la lame d'eau est fonction du dédit de la crue de basculement et des conditions topographique du site. Pour cela, la composante verticale de la pression de l'eau est déterminée à partir d'essais ainsi que sont moment.

- **La contre pression de la lame déversante**

Ce moment est dû au niveau d'eau sur les côtés de la hausse.

$$F_{av} = (1/2) \rho_e g L_{av} h_{av}^2 \dots \dots \dots (10).$$

Avec

F_{av} : contre pression de la lame déversante.

h_{av} : charge d'eau s'exerçant contre la face aval de l'auge.

L_{av} : largeur de la face aval de l'auge.

Le moment correspondant :

$$M_{av} = (1/6) \rho_e g L_{av} h_{av}^3 \dots \dots \dots (11).$$

D'après les essais, le niveau d'eau à l'extrémité aval est égal en général à un tiers de la profondeur amont.

$$M_{av} = (1/162) \rho_e g L_{av} h^3 \dots \dots \dots (12).$$

- **La sous pression dans la chambre et sous la base**

La sous-pression dans la chambre et sous la base est le résultat de l'équilibre entre les débits entrant et sortant.

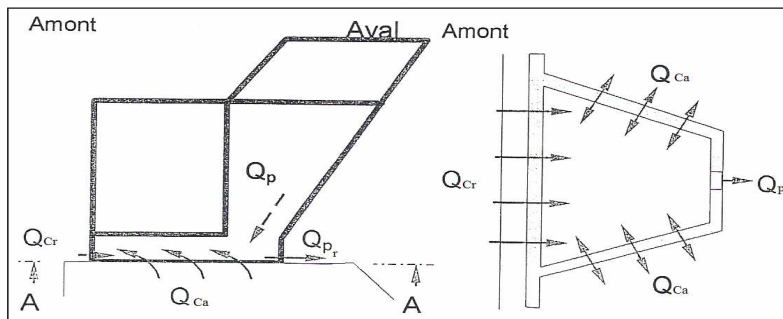


Figure (2-2) : les débits transitant par la chambre de mise en pression.

*/Les débits qui peuvent pénétrer dans la chambre sont :

- Débit par le puits d'alimentation du fait d'un déversement sur l'entonnoir Q_p .

$$Q_p = \mu_p (2g)^{1/2} L' h_p^{3/2} \dots \dots \dots (13).$$

Avec

μ_p : Coefficient de débit pour le puits.

L' : Longueur déversante efficace.

h_p : Déversement sur l'entonnoir du puits.

- Débit à travers l'espace réduit entre le réservoir et la chambre Q_{cr} .

$$Q_{cr} = \mu_{cr} S (2g[h - h_c])^{1/2} \dots \dots \dots (14).$$

Avec

μ_{cr} : Coefficient de perte de charge.

S : Section de passage.

h_c : Charge dans la chambre.

*/Les débits qui peuvent sortir de la chambre sont :

- Débit sortant par les purges Q_{pr} .

$$Q_{pr} = \mu_{pr} S_{pr} (2g[h_c - h_{av}])^{1/2} \dots \dots \dots (15).$$

Avec

S_{pr} : Section des purges.

μ_{pr} : Coefficient de perte de charge pour les purges.

- Débit à travers l'espace réduit entre la chambre et l'aval Q_{ca} .

$$Q_{ca} = \mu_{ca} S' (2g[h_c - h_{av}])^{1/2} \dots \dots \dots (16).$$

Avec

S' : Section de l'espace réduit entre la chambre et l'aval.

μ_{ca} : Coefficient de perte de charge.

*/L'équation d'équilibre des débits devient :

$$Q_{ca} + Q_{pr} = Q_{cr} + Q_p \dots \dots \dots (17).$$

1-3/Sécurité de fonctionnement

1-3-1/Etude de stabilité

A/Stabilité de glissement

La stabilité au glissement est assurée par des butées encreées dans le bord aval du déversoir. Ces butées permettent de reprendre les efforts horizontaux exercés par la poissée de l'eau.

L'estimation de l'effort exercé sur les butées est calculé en considérant la retenue au niveau des plus hautes eaux et en négligeant le frottement entre la hausse et le seuil.

Donc :

$$F_b = 1/6 \rho_e g L H^2 (3h - 2H) \dots \dots \dots (18).$$

B/Stabilité de renversement

**dans les conditions normales de fonctionnement :*

La stabilité au renversement est assurée par la garantie que la somme des moments des efforts agissant sur la hausse par apports aux butées est nulle. Et cela, pour tous les niveaux d'eau inférieurs au niveau de basculement.

**Dans les conditions de fonctionnement dégradé :*

Afin d'assurer une sécurité de fonctionnement du système dans les cas de dysfonctionnement extrêmes : joint amont complètement dégradé, puits bouché, purges entièrement ou partiellement obturées, présence d'un charriage.

**Remarque :* Ces situations sont les résultats soit d'un vandalisme ou soit d'une absence totale d'inspection et d'entretien du barrage.

Pour cela, deux côtes de sécurités sont nécessaires au bon fonctionnement :

- **La côte minimale de fusibilité**

La côte minimale de fusibilité détermine la lame déversante en dessous de laquelle la hausse n'est pas fusible. Pour un niveau amont inférieur à la cote minimale de fusibilité, le basculement de la hausse par alimentation accidentelle du puits ou d'une amorce de rotation ne peut être obtenu.

Cette côte est le niveau minimum du réservoir en dessous duquel la hausse ne peut pas basculer.

- **La côte ultime de stabilité**

La cote ultime de stabilité est la côte pour laquelle le basculement de la hausse est obtenu même si son puits est bouché. Pour cette côte, la hausse bascule sous l'action de la poussée amont de l'eau

1-3-2/la sous-pression de basculement

**Dans les conditions normales de fonctionnement :*

Dans les conditions normales de fonctionnement, le joint amont prévient les fuites de la retenue dans la chambre.

Lors d'une crue importante, le puits entonne de l'eau dans la chambre, et la sous pression croit rapidement jusqu'à ce qu'il y a un équilibre des débits.

Soit :
$$Q_p = Q_{ca} + Q_{pr} \dots \dots \dots (19).$$

Ainsi, l'étanchéité amont est rompue, et la chambre est mise en communication avec la retenue. Le débit entrant depuis la retenue fait monter la pression dans la chambre, le moment de renversement augmente. La hausse se soulève lorsque le débit entrant de la retenue dans la chambre augmente et dépasse le débit du puits. Puis, l'équilibre des débits devient simplement l'équilibre entre l'eau entrant directement du réservoir dans la chambre et l'eau s'échappant vers l'aval.

**Dans les conditions de fonctionnement dégradé :*

Deux types de dysfonctionnement peuvent affecter la stabilité de la hausse sont envisagés :

- Obturation accidentelle des purges (partielle ou totale).
- Détérioration du joint d'étanchéité horizontal générant des fuites entre le réservoir et la chambre.

Dans ce cas la chambre est mise en pression par une lame plus faible et le basculement de la hausse ne se produit pas sans alimentation du puit, même dans le cas de purges complètement bouchées ou dans le cas de joint amont dégradé. Car la sous-pression de basculement est fonction de la lame d'eau déversée sur le puits.

- **Purges bouchées**

La section des purges a une influence sur cet équilibre. En effet, si les purges sont partiellement ou totalement bouchées, le débit sortant par celles-ci est inférieur à ce qui est prévu et donc la lame déversante sur le puits est réduite. (En supposant le joint amont efficace). Dans cet état de fonctionnement, le basculement de la

hausse suite à l'alimentation de la chambre n'est possible que s'il y a équilibre entre le débit du puits et le débit à travers l'espace réduit entre la chambre et l'aval.

- **Joint amont dégradé**

La section de passage créée sur la longueur de la poutre amont engendre des fuites à partir du réservoir. Le débit entrant à la chambre est supérieur à ce qui est prévu. (En supposant les purges non bouchées).

**Remarque :* La détérioration du joint d'étanchéité vertical n'affectant en rien la stabilité de la hausse.

1-4/Effets de sollicitations particulières

Des facteurs extérieurs spécifique à chaque site, tel que les chocs avec les corps flottants, les vagues qui peuvent se développer dans la retenue ainsi que la sismicité peuvent déstabiliser les hausses fusibles. Pour cela, l'assurance d'une marge de stabilité permet d'avoir une sécurité au fonctionnement de ces hausses fusibles.

Le basculement anticipé d'une hausse suite à ces effets a peut générer une crue artificielle à l'aval et aussi causer la perte de la tranche d'eau qui était contenue derrière les hausses.

Le basculement en pré soulèvement ne correspond pas à un dysfonctionnement à proprement parler. Cependant la concomitance de trois événements indépendants pourrait créer les conditions de ce pré soulèvement. En effet, un séisme pourrait engendrer le soulèvement de l'amont de la hausse. En outre, un choc dont la puissance entraîne une rotation de la hausse.

1-4-1/Séisme

Le basculement d'une hausse suite à un tremblement de terre peut se produire soit pendant le séisme ou soit après le séisme, s'il a eu dans ce cas pour effet de la déplacer sur le seuil. Ici le basculement se produit suite à une alimentation accidentelle de la chambre du fait a un déplacement de la hausse de sa position initiale. Cette alimentation se produit aussi dans l'hypothèse où un corps étranger se glisse sous la hausse et la maintienne soulevée.

***Approche quantitative**

Pour traiter un cas de séisme survenant à un barrage équipé de hausses fusibles. Le barrage est supposé plein à la retenue normale et en l'absence d'une crue importante. Cela résulte du fait que la probabilité d'avoir un séisme pendant une crue exceptionnelle est bien moindre que les crues ont une durée de quelques heures.

***Principe**

[Pierre LONDE, ancien président de l'ICOLD, a étudié pour HYROPLUS, l'influence vibratoire des séismes réellement observés sur la stabilité du dispositif]. Dont les principes de cette étude sont exposés dans ce qui suit.

***détermination des charges sismiques**

Les charges additionnelles résultant du séisme sont les suivantes :

F_h : force horizontale appliquée au niveau du centre de gravité de la hausse due à la composante horizontale de l'accélération.

$$F_h = a_h \cdot g \cdot W \dots \dots \dots (20).$$

Avec

- a_h : Composante horizontale de l'accélération sismique.
- W : Poids total de la hausse.
- g : Accélération gravitaire.

F_v : force verticale appliquée au niveau du centre de gravité de la hausse due à la composante verticale de l'accélération sismique.

$$F_v = a_v \cdot g \cdot W \dots \dots \dots (21).$$

Avec

- a_v : Composante verticale de l'accélération sismique.

P_z : pression additionnelle due au volume d'eau mis en mouvement du fait du séisme.

Pression hydrodynamique est calculée grâce à la formule de WESTERGAARD.

$$p_z = 0,875 \cdot a_h \cdot g \cdot \rho_e \cdot H^{1/2} \cdot Z^{1/2} \dots \dots \dots (22).$$

Avec

- H' : Profondeur de l'eau à l'amont du déversoir.

Z : Profondeur de l'eau.

La distribution de la pression varie le long de la profondeur de la hausse tel qu'elle est nulle au niveau de la crête et est maximale au niveau du pied de la hausse.

La force hydrodynamique est :

$$P_z = \int_0^Z p_z dS \dots \dots \dots (23).$$

Avec $dS = L \cdot dz$ t.q L : Largueur de la hausse.

$$P_z = \int 0.875 \cdot a_h \cdot g \cdot \rho \cdot H^{1/2} \cdot Z^{1/2} \cdot L \cdot dz \dots \dots \dots (24).$$

$$P_z = 0.583 a_h \cdot g \cdot \rho \cdot H^{1/2} Z_h^{3/2} \cdot L \dots \dots \dots (25).$$

Le moment résultant de cette force mesuré depuis la face amont est :

$$M(P_z) = \int P_z \cdot dS \dots \dots \dots (26).$$

$$M(P_z) = \int P_z \cdot L \cdot dz \dots \dots \dots (27).$$

$$M(P_z) = 0,35 \cdot a_h \cdot g \cdot \rho \cdot Z_h^{5/2} \cdot L \cdot H^{1/2} \dots \dots \dots (28).$$

***Analyse de l'action sismique**

La hausse est considérée stable lorsque le facteur de sécurité qui est le rapport entre le moment stabilisant et déstabilisant soit supérieur à 1.

Le moment déstabilisant lors d'un séisme est obtenue on additionnant les charges sismiques au moment déstabilisant. Qui est alors comparé au moment de stabilité.

1-4-2/Choc

Le réservoir peut contenir des corps flottants de taille significative. Ceux-ci peuvent heurter les hausses fusibles lorsqu'ils sont évacués par le courant au-dessus des éléments. Deux types de conséquences peuvent être identifiés :

- La déstabilisation de la hausse.
- La déformation de la hausse.

On s'assure en particulier que les corps flottants ne risquent pas d'entraîner simultanément d'autres basculements. Pour cela, les hausses seront différenciées entre elles par un lestage qui les maintient en place.

L'approche théorique de l'étude de stabilité de la hausse suite à un choc est basée sur le principe de calculer le changement causant un déplacement donné du coin amont de la hausse. La hausse risque de basculer lorsque ce déplacement sera suffisant pour rompre l'étanchéité entre le joint horizontal et le seuil. Ce qui aurait pour conséquence de mettre la chambre en communication directe avec le réservoir et provoquer le basculement de la hausse. Pour cela on calculera la masse minimale qui peut provoquer ce déplacement.

***Hypothèses de calcul**

- La masse d'eau en mouvement avec le corps flottant est estimée à 40% de la masse du corps flottant.
- Le niveau d'eau dans le réservoir est au niveau minimal de fusibilité.
- L'énergie cinétique de l'objet n'est pas absorbée par une déformation de la structure.
- Le déplacement du centre de gravité est suffisamment faible.

***Calcul du déplacement du centre de gravité**

On suppose un déplacement relativement faible hausse qui peut être estimé comme suit :

$$D=R_0.\sin(\alpha)\dots\dots\dots(29).$$

Avec

D : Déplacement de l'angle amont de la hausse.

R₀ : Largueur de la hausse.

α : Angle de déplacement amont de la hausse.

Vue que le déplacement est faible. Alors :

$$D=R_0.\alpha\dots\dots\dots(30).$$

***Calcul de la masse qui cause le déplacement**

Le déplacement de la hausse peut être assimilé à un mouvement vertical. Et d'après le principe de la conservation de l'énergie :

$$W_{t.g}.D_v = 1/2.m.v^2 + 1/2.(0,4m)v^2 \dots\dots\dots(31).$$

Avec

W_t : Poids combiné de la hausse et de l'eau.

D_v : Déplacement vertical du centre de gravité de la hausse.

m : Masse du corps flottant.

v : vitesse du corps flottant.

X_g, Y_g : Coordonnées de la position du centre de gravité de la hausse depuis la butée.

De plus : $D_v = R_1.(\sin(\arctg(Y_g/X_g) + \alpha) - \sin(Y_g/X_g)) \dots\dots\dots(32).$

$$D_v = 2.R_1.\cos(\arctg(Y_g/X_g) + \alpha).\sin(\alpha/2) \dots\dots\dots(33).$$

$$D_v = R_1.\cos(\arctg(Y_g/X_g)).D/R_0 \dots\dots\dots(34).$$

Donc : $1,4.m.v^2 = 2.W_{t.g}.R_1.\cos(\arctg(Y_g/X_g)).D/R_0 \dots\dots\dots(35).$

Alors, la masse minimale qui provoque le déplacement de la hausse est :

$$m = (W_t.R_1.g.\cos(\arctg(Y_g/X_g)).D)/(0,7.R_0.v^2) \dots\dots\dots(36).$$

1-4-3/Vagues

La houle qui se développe sur la surface de la retenue suite à l'action du vent peut anticiper le basculement d'une hausse et ce ci par une alimentation accidentelle des puits.

Le calcul de dimensionnement de la hauteur de la vague maximale fait appel à des données relatives aux relevés du vent en vitesse et en direction, mais aussi à des considérations relatives à la configuration du site.

L'incidence des vagues sur les hausses fusibles a fait l'objet de campagnes d'essais sur modèle réduit. Ces essais ont montré que les vagues n'ont pas d'incidence sur le fonctionnement des hausses. En effet, le basculement n'est obtenu que si le niveau

d'eau dans le réservoir est égal au niveau de basculement avec une alimentation continue du puits suffisante pour créer la charge dans la chambre nécessaire pour le basculement.

Et afin, de limiter l'alimentation des puits par l'effets des vagues. Ces derniers seront équiper d'un chapeau. De plus, grâce aux purges, la sous-pression qui résulta dans la chambre sera maintenue inférieure à celle de basculement.

2/ Performances hydrauliques des hausses

La capacité de déversement d'une retenue face aux conditions normales d'exploitation et lors des crues exceptionnelles constitue un paramètre important de la sécurité pour l'ouvrage et pour le bassin d'aval.

De plus, si dans un barrage, il y a une augmentation de la capacité de stockage par une surélévation de la crête du déversoir, le niveau d'eau à évacuer lors des crues sera important et pourra mettre en péril le barrage.

Pour cela, lors d'un dimensionnement pour un projet de mise en place de hausses fusibles, le concepteur dispose des principaux paramètres suivants :

- **La quantité d'eau à stocker.**
- **Le niveau des plus hautes eaux.**
- **Le débit à évacuer.**
- **Le type de hausses et la hauteur des hausses.**
- **La crue entraînant le premier basculement et la période de retour correspondante.**
- **L'échelonnement des basculements.**
- **La hauteur de dérasement.**

Pour cela, ces paramètres permettent la bonne conception des hausses. Cette conception doit assurer une quantité importante d'eau sans avoir d'impacts sur l'environnement et n'engendre pas de déplacement des populations locales.

Et afin de mettre en évidence la sécurité de fonctionnement des hausses fusibles. Les principes de base de fonctionnement sont développés dans ce qui suit.

2-1/ Caractéristiques du débit des hausses :

Le débit évacué par la crête des hausses fusibles a les mêmes propriétés des déversoirs à seuil libre.

Donc, le débit évacué par un seuil à crête d'une hausse est :

$$Q=C_d.L_r.(2g).^{1/2}h^{3/2}.....(37).$$

Avec

C_d : Coefficient de débit de la hausse.

h' : lame déversante par rapport à la crête des hausses.

L_r : Longueur rectiligne du seuil.

g : Accélération de la gravité.

Le coefficient de débit est déterminé par voie expérimentale, que se soit pour les hausses labyrinthes ou rectilignes. Les essais ont été effectués au LABORATOIRE NATIONAL D'HYDRAULIQUE, France et au LABORATOIRE TENNESSEE VALLEY AUTHORITY, USA. L'analyse des essais effectuée sur les hausses a permis de constater que :

***Pour les hausses labyrinthes**

- Le coefficient de débit dépend du type de hausse et du rapport de la lame déversante h à la hauteur des hausses.

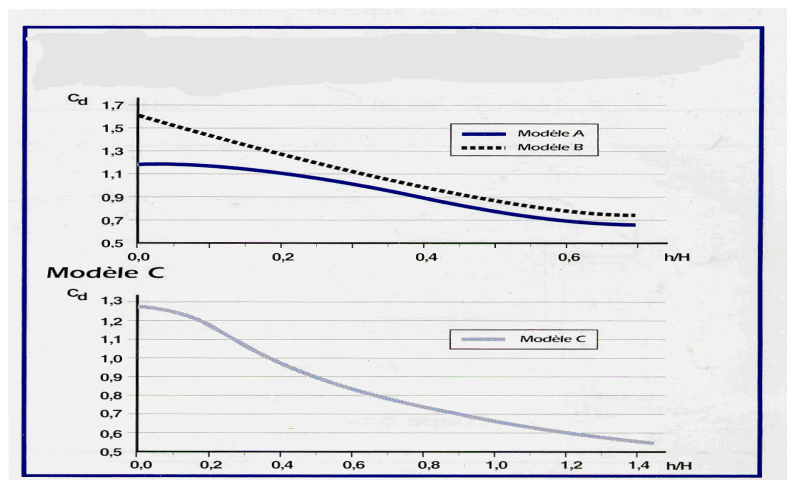


Figure (2-3) : Coefficient de débit pour une hausse labyrinthe.

- Ce coefficient de débit est constant jusqu'au point où le niveau d'eau aval est égal au niveau de la crête et commence à diminuer quand la charge sur la hausse fusible augmente.
- La forme labyrinthe permet d'évacuer les débits sous des faibles hauteurs car la longueur développée par la crête est supérieure à celle du seuil. Mais cette propriété est perdue lorsque la lame déversante devient importante et que la forme labyrinthe devient comparable à un seuil rectiligne.
- Les hausses fusibles fonctionnent avec une nappe aérée.
- La présence du puits et l'inclinaison de la face aval se combinent pour maintenir la crête aérée pour les hauts débits.

***Pour les hausses rectilignes destinées à supporter de très fortes lames**

Le coefficient d'écoulement est optimal lorsque la face amont est profilée de manière à épouser l'écoulement. Le profil de la face contribue à éviter la création de zones cavitation sur le seuil déversant.

2-2/Hauteur des hausses

L'équipement d'un barrage par les hausses fusibles ne doit permettre en aucun cas une élévation significative du niveau des plus hautes eaux.

L'installation des hausses fusibles sur le seuil du déversoir nécessite un dérasement de ce dernier. La hauteur de ce dérasement est déterminée de manière à évacuer la crue projet, une fois toutes les hausses ayant basculé, sans augmenter le niveau des plus hautes eaux. De plus, pour la même raison, le dernier basculement doit être réglé pour le niveau des hautes eaux ou légèrement plus bas.

L'analyse technique et économique du projet doit permettre d'éviter une perte de stockage du barrage, tout en garantissant une sécurité de fonctionnement comparable à celle d'un seuil libre. Cette sécurité de fonctionnement est assurée par un échelonnement des niveaux de basculement et que ce dernier est un compromis

La rehausse du niveau de retenue normale est égale à la hauteur de hausse diminuée de celle du dérasement du seuil.

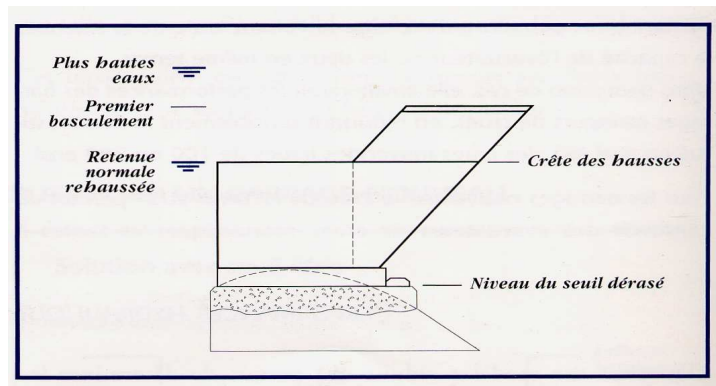


Figure (2-4) : Coupe transversale d'un seuil équipé de hausse fusible.

2-3 /L'augmentation de la capacité de stockage

La rehausse du niveau de la retenue normale d'un barrage existant par une installation des hausses fusibles constitue une solution simple, économique et sûre pour répondre à un besoin en eau. Cette installation a pour but d'optimiser le niveau de retenue tout en assurant une sécurité de fonctionnement. La rehausse envisageable dépend du taux d'écrêtement de la crue projet par celui-ci. Elle doit assurer que le débit de pointe de la crue sortante soit inférieur au débit de la crue entrante.

La crue du premier basculement est choisie de manière à optimiser les performances économiques du projet. En effet, le gain de stockage est important lorsque la période de retour du premier basculement est moins grande. Et cela s'explique du fait que plus la tranche de sécurité est exploitée, plus le débit à évacuer de la crue sera important et plus la période de retour correspondante grande. Mais pour que la hausse ne bascule pas et que le niveau des plus hautes eaux ne soit pas dépassé, il faut que la lame déversante soit réduite engendrant ainsi la diminution du débit à évacuer. D'où, la diminution de période de retour de la crue.

2-4/Amortissement des crues

Pour mieux protéger les populations vivantes dans les zones inondables, la construction de barrages dans ces régions est nécessaire afin de retenir temporairement une partie significative du volume de la crue de façon à limiter l'amplitude de la crue à l'aval. Pour la plupart de ces barrages, le niveau de la retenue est généralement maintenu

nettement plus bas que le niveau du seuil déversant, dans le but de stocker les crues les plus courantes.

L'utilisation des hausses fusibles sur ce type de barrage permet d'augmenter le pouvoir écrêteur de l'ouvrage sans modification des conditions d'exploitation. Et cela se fait en deux manières :

*soit le seuil est surélevé afin que le volume réservé à l'absorption des crues soit plus important. Dans ce cas la période de retour des crues déversantes est diminuée.

*soit la capacité reste inchangée mais dans ce cas la hauteur du seuil est réduite et comblée par l'implantation des hausses afin d'évacuer plus de débits. Ici, la période de retour de la crue de basculement est plus grande que la crue de déversement sur le seuil initial.

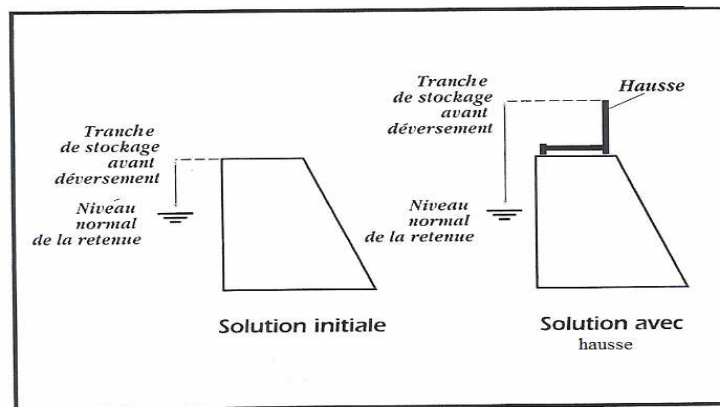


Figure (2-5) : L'impacte des hausses fusibles.

2-5/Lutte contre l'envasement

L'utilisation de courants de densités pour l'évacuation partielle des sédiments est un moyen de lutte contre l'envasement des barrages. Cette méthode consiste à chasser la vase par les pertuis de vidange dont l'objectif est de créer des vitesses qui remettent en mouvement les particules déposées au fond de la retenue. Pour ces barrages, l'emploi des hausses fusibles contribue à allonger de manière très sensible leur durée de vie. En plus du gain de stockage, la charge disponible pour éroder les sédiments est augmentée.

En outre, sur le plan économique, la solution d'utiliser les hausses est nettement plus avantageuse que la solution de dévasement pour une capacité supplémentaire égale.

2-6/Le débit aval

Pour une crue donnée entrant dans la retenue qui ne provoque pas le basculement des hausses, le débit en aval du barrage est réduit voir annuler ; du fait que cette crue sera stocker partiellement ou entièrement.

Or, pour une crue qui cause un basculement des hausses, l'hydrogramme en aval du barrage est peu différent de celui obtenu avant rehaussement du seuil. La seule différence tient au fait que la courbe des débits évacués présente, pour les très fortes crues, une partie montante en forme de marche escalier correspondant aux basculement successifs d'un certain nombre de hausses. Les à-coups de débits sont cependant faibles et admissibles pour l'aval. Le débit de pointe de la crue n'est pas modifié de façon significative.

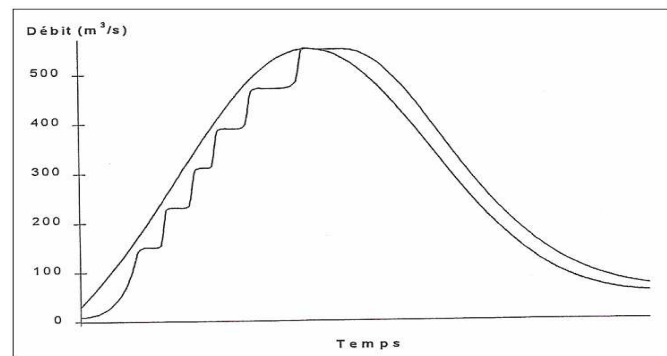


Figure (2-6) : Hydrogramme du débit aval avec et sans hausses fusibles.

3/ Application des hausses fusibles pour les nouveaux barrages :

L'évolution des méthodes d'estimation de la crue de projet a conduit à concevoir des nouveaux barrages qui garantissent une grande sécurité de fonctionnement. Mais, le coût de l'évacuateur de crue à une grande part dans le coût global du barrage.

L'équipement des évacuateurs de crue par des hausses fusibles peut être décisif dans la conception d'un nouveau barrage.

3-1/L'utilisation des hausses

Une étude comparative mènerait à conclure que la solution d'un évacuateur à seuil libre serait moins rentable qu'un seuil équipé de hausses fusibles.

Dans un projet fixant le niveau des plus hautes eaux pour une capacité d'évacuation. Plusieurs variantes peuvent être imaginées afin de concevoir un évacuateur de crues optimal :

***Evacuateur à seuil libre**

La lame déversante de la crue projet développerait une longueur pour une hauteur d'un seuil standard (GREAGER).

***Evacuateur à seuil équipé de hausses fusibles**

Pour une capacité identique à celle du seuil libre. Le concepteur peut réduire la longueur ainsi que la hauteur du seuil sans touchée la sécurité de fonctionnement. Or, pour augmenter la capacité de stockage du barrage. Le concepteur peut garder la même hauteur tout en réduisant la longueur du seuil.

Les principaux paramètres d'optimisation de l'évacuateur de crues sont :

- 1-La longueur du seuil développée par les hausses fusibles labyrinthes est plus importante.
- 2-Le débit évacué avant le premier basculement et la lame déversante correspondante qui déterminent la hauteur des hausses.

L'utilisation des hausses fusibles pour l'évacuateur de crues pour un nouveau barrage permettrait de concevoir un projet comportant un seuil plus court qu'un seuil libre.

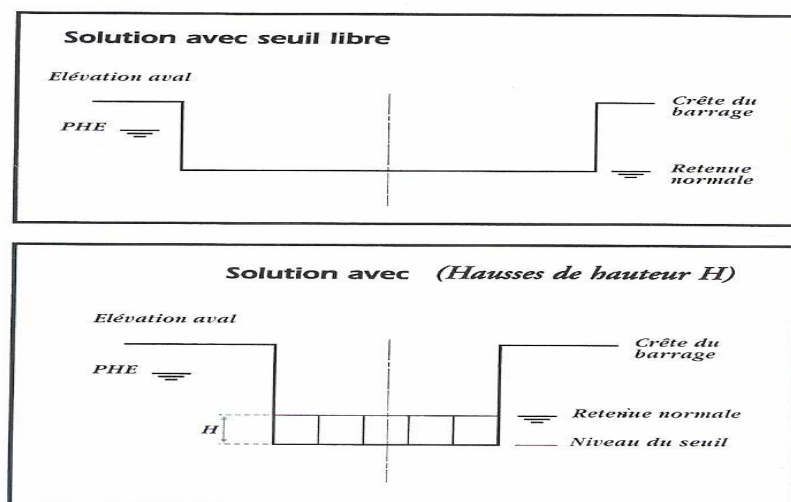


Figure (2-7) : L'impacte des hausses sur la largeur du déversoir.

Le tableau suivant montre l'effet de la variation de la largeur de du déversoir sur la hauteur des hausses :

Augmentation de L_r (%)	10	20	50	100	150	200	300
Réduction de H (%)	6	11	24	37	46	52	60

Tableau (2-1).

3-2/Valorisation des seuils étroits

Les seuils étroits ne permettent pas d'assurer l'évacuation des grands débits. Dans ce cas précis, l'utilisation des hausses fusibles permet d'augmenter la capacité d'évacuation sans changer le niveau des plus hautes eaux. Ce seuil peut être équipé en différentes façons différentes selon la grandeur de la période retour de la crue projet :

- **Hausses fusibles labyrinthes**

Cette solution est recommandée pour les crues de projet inférieures à $1000\text{m}^3/\text{s}$. Et dans ce cas le premier basculement est programmé pour une crue de période de retour supérieure à 100 ans.

D'après l'expérience, la largeur du déversoir et la hauteur des hausses ne dépendent que du débit de la crues projet. Et le déversement maximal sur les hausses est fonction de la crue du premier basculement.

Le tableau suivant donne les caractéristiques des déversoirs étroits équipés de hausses labyrinthes :

Q(m^3/s)	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000
$L_r(\text{m})$	8	12	17	27	40	59	97	143
H(m)	1,6	2	2,4	3,3	4	4,9	6,5	7,9
hd(m)	0,7	0,8	1,1	1,4	1,8	2,2	2,9	3,6

Tableau (2-2).

Avec

Q : débit d'une crue projet.

hd : hauteur entre le niveau des plus hautes eaux et le niveau de la crête des hausses.

- **Hausses droites associées avec des vannes**

L'association des vannes aux hausses rectilignes a le double intérêt de permettre une gestion du niveau de la retenue, tout en augmentant la sécurité du barrage aussi bien vis-à-vis des crues, que vis-à-vis des défaillances de la vanne. Les hausses fournissent le complément de capacité nécessaire à l'évacuation de la crue projet. Cette association est recommandée pour les grands évacuateurs où la crue du projet est supérieure à 5000 m³/s.

La gestion des crues se fait de la manière suivante : La vanne fonctionnerait pour des périodes de retour des crues inférieures à 100 ans et que pour des plus faibles périodes il y aurait soit déversement ou soit basculement.

- **Hausses à crête rectiligne**

Dans le cas particulier d'une surface de retenue relativement importante par rapport au volume de la crue entrante, avec une faible hauteur de la nappe déversante. Les hausses à crête rectiligne constituent une solution économique.

4/Conséquences de la modification du niveau normal de retenue

- **Etanchéité**

Pour un barrage correctement conçu, l'étanchéité doit être assurée, y compris pour le niveau des plus hautes eaux. Ce dernier niveau n'étant pas modifié par le système des hausses fusibles, il n'y a théoriquement aucune disposition complémentaire à prévoir sur ce point. Cependant, le système d'étanchéité du barrage doit être systématiquement vérifié et l'étanchéité devra être renforcée en ces points de faiblesse.

Deux situations peuvent en effet conduire à renforcer l'étanchéité :

- Le dispositif original d'étanchéité était sous dimensionné et le rehaussement va accroître ce sous dimensionnement.
- L'analyse des débits de fuite en fonction de la cote du plan d'eau et leur extrapolation pour le futur niveau normal des eaux conduisent à des débits non admissibles pour la sécurité ou jugés préjudiciables pour l'économie d'exploitation.

- **Drainage**

En général, le dispositif de drainage d'un barrage est largement surdimensionné, en ce sens qu'il permet l'évacuation d'un débit de fuite nettement supérieur à celui que l'on escompte. Il pourra le plus souvent accepter sans problèmes l'augmentation du débit des fuites consécutives à l'élévation du niveau normal de retenue. Ce point reste cependant à vérifier au cas par cas.

Pour les barrages en remblai, l'élévation du niveau normal des eaux va se traduire par une montée de la ligne piézométrique qui peut être, dans certains cas, lourdes de conséquences. Outre la diminution de la sécurité au glissement du remblai aval, on peut également craindre le développement de renards si la ligne piézométrique vient à affleurer le talus aval.

Le renforcement du dispositif de drainage est alors très délicat et parfois aléatoire. Le coût des dispositions à adopter pourra parfois conduire à revoir totalement, voir à abandonner le projet de rehaussement du seuil.

5/Évacuation des hausses basculées

Lors d'une forte crue, les hausses basculées sont entraînées par le courant jusqu'à une zone d'eaux calmes où elles vont s'échouer. Il convient cependant de vérifier qu'elles ne peuvent en aucun cas perturber l'écoulement de la crue au niveau du barrage ou à son aval proche.

Quelques situations appellent une attention particulière :

- Dans le cas d'un évacuateur comportant un coursier à surface libre, la largeur du canal doit être supérieure à la plus grande diagonale des hausses et il est préférable de n'avoir aucun tronçon du coursier en régime fluvial.
- Pour un évacuateur en puits, le puits et la galerie doivent être de diamètre supérieurs à la plus grande dimension des hausses et ne doivent présenter aucun point singulier susceptible de provoquer le blocage d'une hausse.
- Si les hausses sont installées sur un déversoir déporté sur une rive, il convient de prendre en compte l'inclinaison latérale de la nappe d'eau à l'amont immédiat du déversoir lors du déversement : la hauteur de la retenue considérée pour chaque élément doit tenir compte de cette singularité. Sinon, il peut y avoir un risque de perturbation de l'ordre théorique de basculement des hausses.

6/Entretien et maintenance

Les hausses fusibles nécessitent par nature une surveillance minimale. Cette surveillance est très simple, ne demande pas de compétence particulière et s'insère dans le cadre général de la surveillance du barrage.

De ce fait, trois types d'inspections sont recommandés :

*Inspection de routine :

-Un contrôle avant la période des crues.

-Un contrôle après les événements exceptionnels (crue importante, séisme, acte de vandalisme, etc.).

*Un contrôle annuel complet et systématique.

*Un contrôle décennal comprenant le lavage des hausses.

Le contrôle consiste à :

*Vérifier régulièrement que les purges et les puits ne sont pas bouchés.

*Vérifier l'état de la chambre de sous pression suite aux opérations décennales.

*Vérifier l'état des joints d'étanchéité.

Les interventions de contrôle devront être réalisées lorsque le niveau d'eau dans le réservoir est inférieur au niveau du pied des hausses.

Protection anticorrosion :

Afin d'éviter la corrosion des parties métallique des hausses fusibles, plusieurs dispositions constructives prises lors de la conception des hausses pour limiter encore la maintenance. Ces parties devront être réalisée en acier galvanisé ou munies d'une protection.

De plus ces parties seront entretenues de manière à éviter la corrosion.

Chapitre 3 :
Analyse des hausses
de Béni Amrane.

1/But de l'analyse

L'analyse des hausses fusibles de Béni Amrane a pour but de mettre en évidence les avantages de ces dernières. Cette analyse est exposée dans ce qui suit.

2/Présentation du barrage

Le barrage de Béni Amrane est destiné à stocker les eaux de l'oued Isser. Ce dernier constitue la principale source d'alimentation du barrage Keddara. Les eaux transitent depuis le barrage tampon de Béni Amrane vers le réservoir de Keddara grâce à une station de pompage installée à Béni Amrane.

3/Caractéristiques du site de Béni Amrane

Le site de Béni Amrane est constitué d'un barrage en enrochements de 39,5 m de hauteur, d'un dispositif de vidange de fond destiné à la chasse des sédiments et d'un seuil libre évacuateur de crues.

4/Caractéristiques du barrage

Le tableau suivant résume l'ensemble des caractéristiques du barrage :

Longueur de la crête	165 m
Largueur de la crête	10 m
Côte de la crête	77,55 NGA
Côte supérieure du noyau étanche	77,00 NGA
Côte des PHE	76,10 NGA
Côte du pied du barrage	38,00 NGA

Tableau (3-1).

5/La retenue :

Le tableau suivant donne la relation entre volume/surface du lac et hauteur de l'eau dans le réservoir.

Côte de l'eau dans le réservoir (m)	54,00	63,50	67,00	70,00
Surface du lac (km ²)	-	1,63	2,05	2,42
Volume (hm ³)	1,0	5,3	12	18

Tableau (3-2).

La retenue du barrage n'a pas d'influence sur l'amortissement des pointes de crues ;car la capacité de stockage de la retenue est assez petite par rapport aux volumes de grandes crues.

6/Hydrologie :

Le tableau suivant donne la relation entre débit de pointe et période de retour de la crue.

T (ans)	10	20	100	10000
Q _{max} (m ³ /s)	1700	2300	4000	10000

Tableau (3-3).

La crue de projet est de 10000m³/s.

7/L'utilisation des hausses fusibles

Depuis la mise en service du barrage en 1988, l'envasement a été rapide, réduisant ainsi sa capacité qui est de 15,6 Mm³ à 5 Mm³.

Les autorités algériennes ont décidé de procéder à la rehausse du niveau de la retenue normale de 3,5 m grâce à l'utilisation des hausses fusibles. Cette rehausse du niveau de retenue accroît la capacité utile de stockage de 7,1 Mm³. Cette rehausse représente une augmentation de 140% par rapport à la capacité actuelle.

La hauteur de la rehausse a été fixée sur la base de la configuration du site. Et plus particulièrement, la présence de la route nationale RN5 et la voie ferrée. Ce qui a conduit à limiter le niveau de la retenue à un niveau d'exploitation de 67,00 NGA.

L'aménagement d'une surface plane qui accueillera les hausses ne nécessitera pas de transformations majeures du seuil. Cette surface est à la cote 63,25 NGA. Et dans cette alternative, les hausses mesurent 3,75 m de hauteur.

La crue projet qui est de 10000 m³/s devra être évacuée avec le basculement de toutes les hausses. Cette crue engendre un niveau d'eau dans le réservoir de 76,25 m. Soit une augmentation du niveau des plus hautes eaux de 0,15 m. ceci s'explique du fait que lorsque le seuil a été déraser.

8/Caractéristiques des hausses de Béni Amrane :

Les hausses fusibles installées sur le seuil sont à crête rectiligne.

Les caractéristiques du seuil équipé de hausses sont les suivantes :

- *Niveau de la crête déversante 67,00 NGA.
- *Niveau de la base des hausses 63,25 NGA.
- *Longueur du seuil équipé de hausses 102,25 m.
- *Hauteur..... 3,75 m.
- *Largeur nominale..... 14,60 m.
- *Empattement amont - aval..... 4,80 m.
- *Poids..... 500 tonnes.

Le seuil est équipé de sept hausses :

N° de la hausse	1	2	3	4	5	6	7
Niveau de basculement NGA	75,50	75,60	75,70	75,80	75,90	76,00	76,10
Niveau du puit NGA	72,89	72,97	73,05	73,13	73,21	73,29	73,37
Débit de pointe de la crue de basculement (m ³ /s)	5115	5740	6440	7105	7810	8510	9210

Tableau (3-4).

Remarque :

- Les niveaux de réglage des puits ainsi que les crues de basculement ont été déterminés lors de campagnes d'essais sur modèle réduit en supposant les vannes de fond fermés.

9/Analyse et critique des hausses de Béni Amrane :

En comparaison avec la solution de dragage à capacité égale, les hausses fusibles représentent une solution très économique à fin d'accroître la capacité de stockage. De plus le barrage est équipé de chasses d'envasement, la rehausse contribue à son dévasement d'une part et d'autre par à augmenter sa longévité.

Le barrage est équipé d'un évacuateur libre, ce permet l'installation des hausses et que l'aval du barrage ne présente pas des zones encombrées ce qui permet une évacuation des hausses après basculement sans qu'il y ait augmentation de la charge avale.

La mise en place des hausses n'affecte pas l'étanchéité du barrage qui est suffisamment élevée.

Le laminage des crues se fait à l'aide des vannes de fond ouvertes ce qui contribue à la baisse du niveau d'eau dans le réservoir lors des crues d'une part et d'autre part les périodes de retour des basculements seront revues à la hausse. Spécialement la période de retour du premier basculement qui permet d'augmenter la compensation du coût de ce basculement.

Les hausses mises en place sur le déversoir du barrage sont toutes identiques en géométrie. Le niveau du puit permet de différencier entre elles. Vu que la hauteur des puits varient de 8,7 à 9,1 m, ces hausses sont destinées à supporter de fortes lames. Ceci conduit à conclure qu'elles résistent aux forts déversements grâce à leurs propre poids. Ces hausses sont à crête rectiligne du fait que l'augmentation de la hauteur de la lame déversée sur les hausses suit à l'installation de celles-ci n'est pas significative.

Conclusion :

Les hausses fusibles constituent une méthode simple, sûre et robuste pour augmenter la capacité de stockage des barrages et/ou du déversoir. L'un de leur avantage est qu'elles ne fonctionnent que sous l'action de l'eau et ne nécessitent ainsi aucun asservissement ni intervention humaine.

Les hausses fusibles sont des éléments jointifs et indépendants disposés sur la crête du déversoir d'un barrage qui, tiennent en place sous l'effet de leurs propre poids. Au moment d'une forte crue et en fonction de son importance, elles basculent les unes après les autres sous la seule action de l'eau. De manière à libérer progressivement le seuil.

Les règles de dimensionnement des hausses fusibles ont pour objectifs de garantir la meilleure sécurité de en exploitation pour le barrage et les avalisants. Les conditions anormales de fonctionnement peuvent éventuellement affecter la précision du procédé mais non la fiabilité du fait que le basculement n'est obtenu en dessous d'une certaine côte et qu'il est obtenu même si l'alimentation du puits est empêchée. Ces sécurités représentent un avantage considérable par apport à tous les autres systèmes existants.

Références bibliographiques :

- [1] **A. Ait Alla** « The role of fusegate in dam safety», Hydropower &Dams, 1996.
- [2] **A. Ait Alla** « Achieving economies through innovative spillway», Hydropower &Dams, 1997.
- [3] **A. Ait Alla** « Utilisation des hausses fusibles pour augmenter la capacité des évacuateurs de crues», Hydropower &Dams, 1996.
- [4] **S. Chevalier** « Fusegates mitigate silting at Béni amrane reservoir », Hydropower &Dams, 2004.
- [5] **S. Chevalier; J. Rayssiguier** « Optimisation of existing dams », International commission on large dams, 2003.
- [6] **H.T. Falvey; P. Treille** « Hydraulics and design of fusegate », Journal of Hydraulics Engineering, 1995.
- [7] **F. Lemperière** « Overspill fusegates », water power &Dam construction, 1992.
- [8] **A. Ouamane** « Contribution à l'étude des évacuateurs de crues non rectiligne», thèse de doctorat d'état, Université Mouloud Mammeri, 2005.

Liste des abréviations :

F_{am} : pression hydrostatique amont.

L : largeur de la hausse.

H : hauteur de la hausse.

h : hauteur de la retenue au dessus du seuil portant les hausses.

g : accélération de la pesanteur.

ρ_e : densité de l'eau.

M_{am} : moment de la pression hydrostatique.

P_h : poids mort de la hausse.

P_l : poids mort du lest.

M_h : moment du poids mort de la hausse.

M_l : moment du poids mort du lest.

X_h : distance horizontale du centre de gravité de la hausse depuis la buté.

X_l : distance horizontale du centre de gravité du lest depuis la buté.

P_{au} : résultante verticale de la pression dans la chambre.

V_{au} : contenance de la chambre.

F_{av} : contre pression de la lame déversante.

h_{av} : charge d'eau s'exerçant contre la face aval de l'auge.

L_{av} : largeur de la face aval de l'auge.

M_{av} : moment de la contre pression de la lame déversante.

Q_p : débit du puits d'alimentation.

Q_{cr} : débit à travers l'espace réduit entre la chambre et le réservoir.

Q_{pr} : débit sortant par les purges.

Q_{ca} : débit à travers l'espace réduit entre la chambre et l'aval.

L' : longueur déversante efficace du puits.

h_p : déversement sur l'entonnoir du puits.

h_c : charge dans la chambre.

S : section de passage.

S_{pr} : section totale des purges.

μ_p : coefficient de débit pour le puits d'alimentation.

μ_{cr} : coefficient de perte de charge à travers l'espace réduit entre le réservoir et la chambre.

μ_{pr} : coefficient de perte de charge à travers les purges.

μ_c : coefficient de perte de charge à travers l'espace réduit entre la chambre et l'aval.

Q : débit d'une crue projet.

h_d : hauteur entre le niveau des plus hautes eaux et le niveau de la crête des hausses.

h' : lame déversante par rapport à la crête des hausses.

L_r : longueur rectiligne de seuil.

C_d : coefficient de débit de la hausse.

F_h : force horizontale de l'accélération sismique.

F_v : force verticale de l'accélération sismique.

a_h : composante horizontale de l'accélération sismique.

a_v : composante verticale de l'accélération sismique.

W : poids total de la hausse.

P_z : pression due au volume d'eau mis en mouvement du fait du séisme.

D : déplacement de l'angle amont de la hausse.

R_0 : largeur de la hausse.

α : angle de déplacement amont de la hausse.

X_g, Y_g : Coordonnées de la position du centre de gravité de la hausse depuis la butée.

W_t : Poids combiné de la hausse et de l'eau.

D_v : déplacement vertical du centre de gravité de la hausse.

m : masse du corps flottant.

v : vitesse du corps flottant.

H' : profondeur de l'eau à l'amont du déversoir.

Z : profondeur de l'eau.

$M(P_z)$: moment de la pression de l'eau en mouvement.

Q : charge de la pression interne de la membrane.

P : charge du plan d'eau rehaussé.

Liste des figures :

Figure n°	Titre
1-1	Coupe transversale d'un barrage poids.
1-2	Schéma d'une vanne levante verticale.
1-3	Schéma d'une vanne segment.
1-4	Schéma d'une vanne clapet.
1-5	Fonctionnement d'un seuil gonflable.
1-6	Principe de fonctionnement d'un seuil gonflé à l'eau.
1-7	Seuil rehaussé par des hausses fusibles.
1-8	Vue depuis l'amont d'une hausse.
1-9	Vue de dessous d'une hausse.
1-10	La hausse fonctionne comme un barrage.
1-11	La hausse fonctionne comme un déversoir.
1-12	Alimentation de la chambre de mise en pression.
1-13	L'eau bascule la hausse.
1-14-a	Hausse fusible à lame déversante modérée.
1-14-b	Hausse fusible à forte lame déversante.
1-14-c	Hausse fusible à faible lame déversante.
1-15	Hausse droite profilée.
1-16	Hausse droite en « L ».
2-1	Système de forces agissant sur une hausse.
2-2	Les débits transitant par la chambre de mise en pression.
2-3	Coefficient de débit pour hausse labyrinthe.
2-4	Coupe transversale d'un seuil équipé de hausse fusible.
2-5	L'impacte des hausses fusibles sur la protection des crues.
2-6	Hydrogramme du débit aval avec et sans hausse fusible.
2-7	L'impacte des hausses sur la largeur du déversoir.

Liste des tableaux :

Tableau n°	Titre
1-1	Liste des barrages équipés de hausses fusibles dans le monde
2-1	L'effet de la variation de largeur sur la hauteur des hausses
2-2	Caractéristiques d'un déversoir étroit équipé de hausses
3-1	Caractéristiques du barrage
3-2	Relation entre volume/surface et hauteur
3-3	Relation entre le débit de pointe et la période de retour.
3-4	Caractéristiques des hausses de Béni-Amrane