

REEVALUATION SUR MODELE PHYSIQUE DE LA CAPACITE HYDRAULIQUE DE L'EVACUATEUR EN MARGUERITE DE LA DIGUE

*Hydraulic scale model of the daisy-shape spillway of the
dam*

Pierre-Etienne Loisel
Artelia Eau et Environnement
pierre-etienne.loisel@arteliagroup.com

Fabrice Duval
EDF-Centre d'Ingénierie Hydraulique (CIH) Brives
fabrice-jc.duval@edf.fr

MOTS CLÉS

Evacuateur de crues en marguerite, capacité d'évacuation, modèle physique

RÉSUMÉ

La digue est un barrage en remblai de 11 m de hauteur (classe B) construit sur en 1978 afin d'aménager un plan d'eau touristique. Le barrage est équipé d'un évacuateur « en marguerite » (tulipe avec corolle développée en labyrinthe), relié à un puits de faible hauteur et de 6 m de diamètre et une galerie sous remblai de 5 m de diamètre et de 100 m de long.

Cet évacuateur a été dimensionné à l'origine pour permettre le passage de la crue millénaire () sous la cote de plus hautes eaux de la retenue. Cependant, il est désormais préconisé pour un barrage en remblai de considérer comme crue de projet la crue décennale ().

Le maître d'ouvrage (), assisté par EDF-CIH, a commandé une étude hydraulique à ARTELIA Eau et Environnement (anciennement SOGREAH Consultants) afin de déterminer avec précision la capacité actuelle de l'évacuateur existant et le déficit correspondant vis-à-vis du nouvel objectif de sécurité.

ARTELIA Eau et Environnement a ainsi construit et étudié en 2012 le modèle réduit physique de l'évacuateur de crues dans son laboratoire d'hydraulique à Grenoble, dans l'objectif de :

- Déterminer la capacité réelle de l'ouvrage actuel,
- Identifier les raisons de limitation de cette capacité,
- Evaluer l'efficacité de solutions structurelles simples à mettre en œuvre.

L'article présente le modèle physique ainsi que les résultats de l'étude.

ABSTRACT

The dam is an earthfill dam built on the in 1978 in , France, for tourism purpose. The dam is equipped with a daisy-shape spillway (morning glory spillway with labyrinthed crest), which discharges into a low height 6 m diameter shaft and a 5 m diameter gallery through the dam.

The spillway was originally designed in order to pass the 1/1000 years flood (). However, the actual French law specifies now that the earthfill dams need to be designed for the 1/10 000 years flood ().

The owner of the dam (██████████), assisted by EDF-CIH, ordered a study to ARTELIA Water and Environment (formerly SOGREAH Consultants) in order to confirm the present discharge capacity of the spillway and the corresponding lack compared to the objective.

ARTELIA Water & Environment built and studied in 2012 the hydraulic scale model of the dam in its hydraulic laboratory in Grenoble (France), in order to :

- Determine the real discharge capacity of the actual spillway,
- Identify the reasons of capacity limitations,
- Evaluate the efficiency of easy structural solutions.

1. INTRODUCTION

La modernisation des barrages français est une préoccupation actuelle de tous les maitres d'ouvrages, avec le besoin de mettre en conformité les ouvrages existants vis-à-vis de la nouvelle réglementation de 2007, notamment pour ce qui concerne la sécurité de l'ouvrage en crue.

Construit en 1978, la digue du ██████████ est un barrage poids en remblai. Pour un tel ouvrage, l'arrêté du 12 juin 2008 indique que son évacuateur de crues doit permettre le passage de la crue de période de retour 10 000 ans dans des conditions de sécurité satisfaisantes. Lors de sa conception, l'ouvrage évacuateur de crues a été dimensionné pour assurer le passage du débit de crue millénale sous la cote de plus hautes eaux. Il est par conséquent envisagé le recalibrage de cet évacuateur.

Dans ce cadre, le Syndicat Mixte d'Aménagement du ██████████, assisté techniquement par le Centre d'Ingénierie Hydraulique (██████████) de Electricité de France (EDF) a missionné ARTELIA Eau et Environnement pour la réalisation d'une étude hydraulique ayant pour objectif la détermination de la capacité maximale de l'évacuateur de crues dans son état existant.

2. PRESENTATION DU BARRAGE ET DE SON EVACUATEUR EN MARGUERITE

La digue du ██████████ est un barrage de classe B en remblai, de 10.45 m de haut et de 215 m de long, construit en 1978 pour la mise en place d'une retenue à vocation touristique. Sa cote de RN se situe à 122.55 NGF.

L'évacuateur de crues de la digue ██████████ est un seuil libre de type tulipe de forme en plan « octolobée » situé à proximité immédiate de la rive droite quelques mètres en amont du barrage. Le linéaire développé de ce seuil est de 100 m et la jonction avec la galerie d'évacuation est réalisée par un puits circulaire de 6 m de diamètre. La hauteur de la « tulipe » est au total de 8,50 m. La galerie d'évacuation a une section « fer à cheval » de 20,6 m², et a une longueur d'environ 100 m rectiligne.

L'extrémité aval de cette galerie débouche sur un canal à surface libre d'environ 50 m de longueur. A l'aval de ce canal, l'écoulement est à nouveau mis en charge à travers deux buses de section quasi semi circulaires d'environ 25 m de longueur qui débouchent dans le lit naturel du cours d'eau. Ces buses peuvent être contournées par la rive gauche à partir de débits relativement faibles.





Graphique 1 : Photographies de l'ouvrage

L'ouvrage a été originellement dimensionné pour permettre le transit de la crue millénaire [REDACTED]. D'après la note de calcul hydraulique établie à la conception de l'ouvrage, pour le débit de pointe de la crue millénaire :

- La cote du plan d'eau amont est égale à la cote de PHE (123.46 NGF).
- « Le déversoir n'est pas noyé, et en conséquence, l'ouvrage évacue normalement la crue millénaire ».
- la galerie permet l'évacuation du débit sans faire remonter le niveau d'eau dans l'ouvrage de tête de façon excessive et il n'y a pas d'influence du niveau d'eau dans la tulipe sur le déversement de crête.

3. PRESENTATION DU MODELE PHYSIQUE

Le choix de l'utilisation d'un modèle physique pour cette étude hydraulique a notamment été motivé par la complexité des écoulements anticipés sur l'ouvrage, tels que l'alimentation asymétrique de la tulipe du fait de la proximité immédiate de la rive et du parement amont de la digue, le déversement sur les lobes de la tulipe, l'interférence entre lames d'eau se faisant face dans un lobe, l'influence de la courbe de remous dans chaque lobe, l'influence du niveau aval dans le puits vertical, les pertes de charge à la jonction avec la galerie puis dans la galerie, ainsi que le comportement du niveau aval.

Ces différents phénomènes hydrauliques sont particulièrement difficiles à modéliser numériquement. Le modèle physique permet, lui, de prendre en compte intrinsèquement l'ensemble des paramètres déterminants et d'assurer une excellente reproduction des écoulements.

La problématique de l'évacuateur de crues de la digue [REDACTED] étant principalement régie par des écoulements à surface libre, le principe de similitude adopté doit respecter le rapport entre l'énergie potentielle, c'est-à-dire la cote de surface, et l'énergie cinétique : il s'agit de la similitude de Froude. Etant données les valeurs caractéristiques des débits et hauteurs d'eau rencontrées pour l'étude, le facteur d'échelle 1/50 apparaît être le meilleur choix pour à la fois respecter les contraintes locales liées à la taille du modèle et son exploitation et assurer une bonne reproduction des écoulements.

Le modèle physique représente les éléments suivants :

- Une partie de la retenue de la digue [REDACTED] d'environ 150 m par 150 m autour de l'ouvrage évacuateur, ce qui permet de s'assurer de la bonne représentation des courants d'approche,
- La bathymétrie sur la zone décrite ci-dessus,
- Le seuil en forme de tulipe octolobée, l'encombrement des structures liées à la vidange de fond,
- Le puits vertical, la galerie d'évacuation et sa jonction au puits,
- La zone aval comprenant le canal à surface libre et sa surverse en rive gauche ainsi que les buses,
- Un linéaire de 50 m du cours d'eau en aval du débouché des buses, incluant la présence d'un pont. La représentation du profil de ce pont à l'extrémité aval du modèle permet d'assurer la bonne reproduction de la loi hauteur aval – débit, cette section jouant en effet le rôle de section de contrôle.

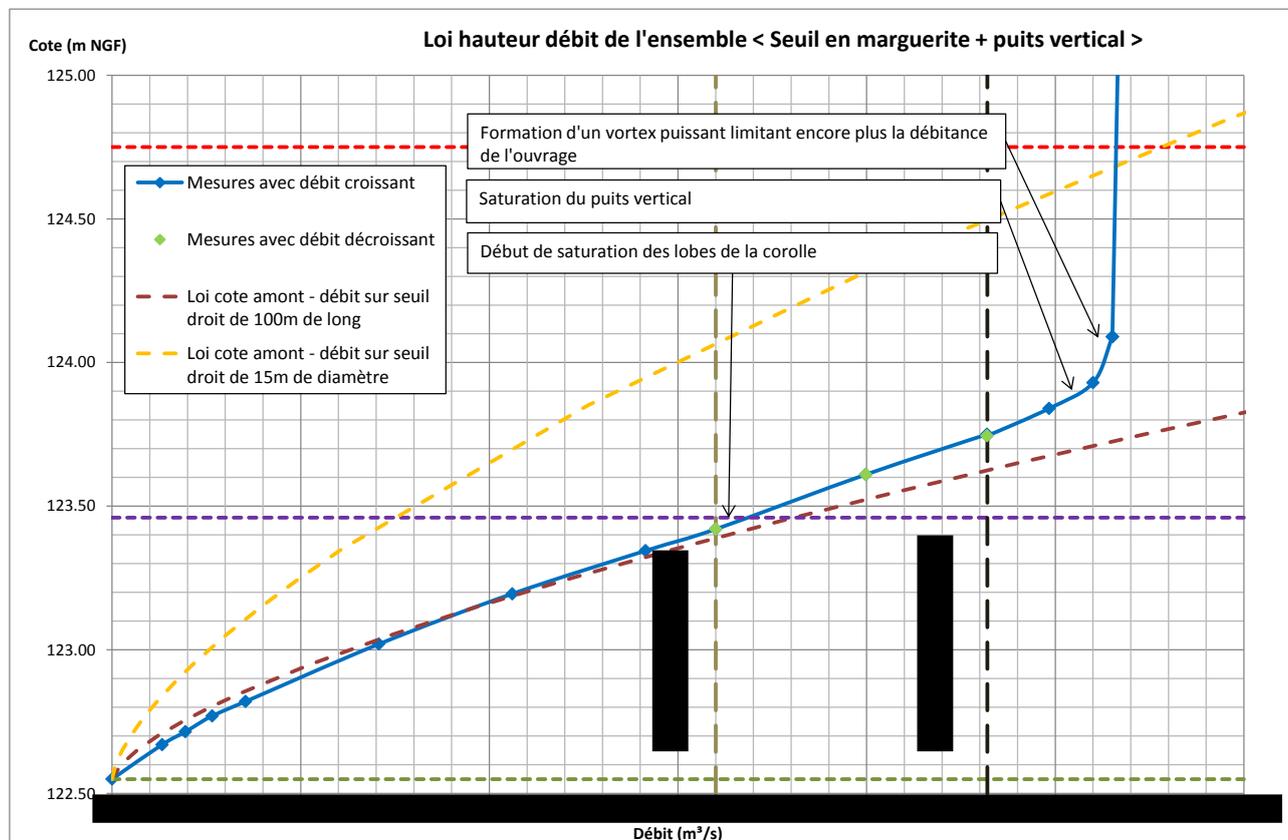
Le programme d'essais a été imaginé de façon à pouvoir identifier la capacité hydraulique de chaque élément de l'ouvrage évacuateur : seuil, entonnement du puits, galerie, zone aval.

4. RESULTATS DES ESSAIS

4.1 Capacité de débit de l'ensemble « marguerite + puits »

Dans la première configuration du modèle, l'évacuation du débit déversé sur le seuil octolobé se fait par une conduite court-circuitant la galerie d'évacuation. L'eau passe donc sur le seuil octolobé et dans le puits vertical et c'est le comportement hydraulique intrinsèque de ces deux éléments que la configuration C1 caractérise.

La figure ci-dessous représente la courbe de capacité obtenue lors des essais :

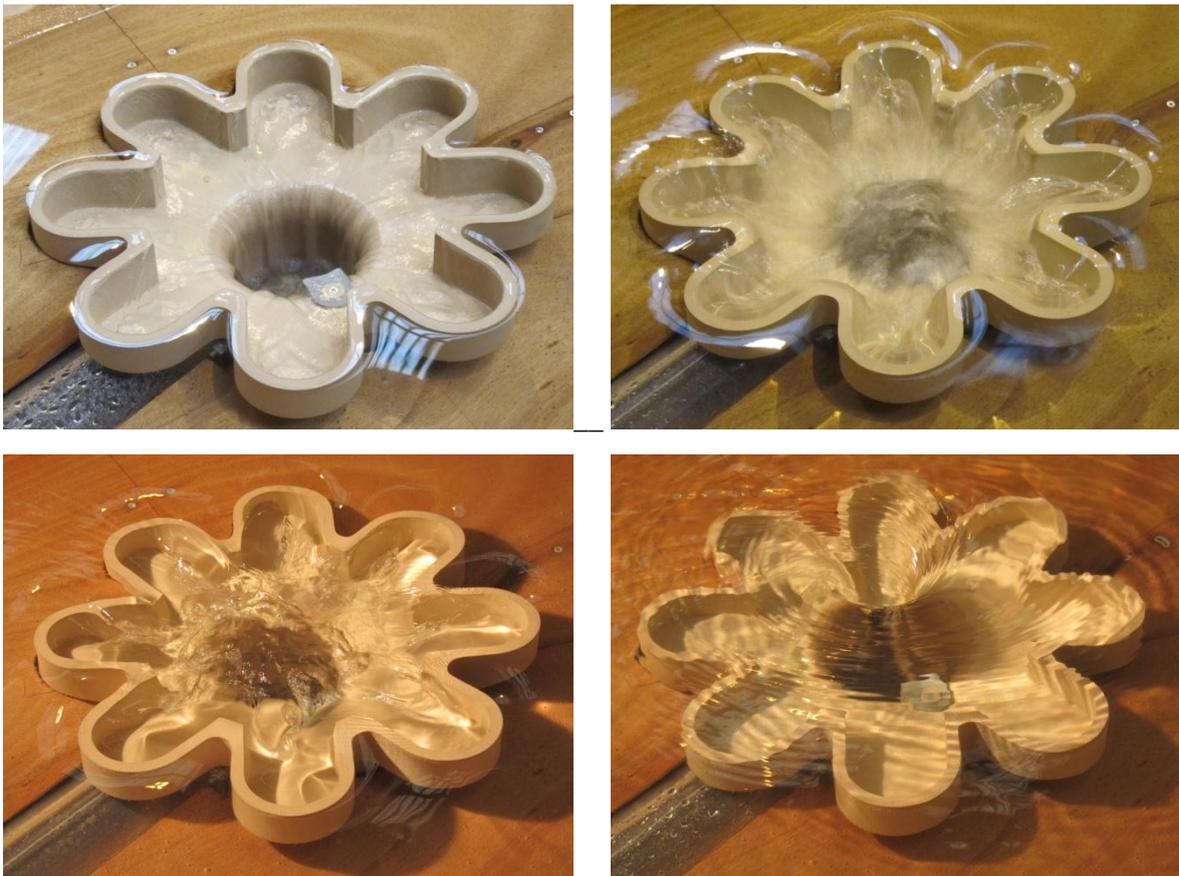


Graphique 2 : Courbe de capacité de débit de l'ensemble « marguerite + puits »

On retrouve sur la forme de la courbe obtenue les caractéristiques typiques à la fois d'un seuil « labyrinthe » et d'un seuil « tulipe » :

- Pour la gamme de débit entre [] : Le seuil octolobé fonctionne comme un seuil rectiligne de 100 m de long (courbe pointillés violet). L'épaisseur de la lame d'eau déversante est suffisamment faible pour que la forme octolobée du seuil en plan n'en influence pas la débitance.
- Pour la gamme de débit entre [] : La forme « labyrinthe » du déversoir commence à se faire ressentir et le linéaire développé du seuil n'est plus exploité à 100%. En effet, la lame d'eau déversante est telle que la longueur de déversement efficace diminue progressivement pour un débit croissant. Les formes des lobes s'effacent progressivement pour une épaisseur croissante de lame d'eau. La loi cote amont – débit n'est alors plus superposée à celle d'un seuil fictif rectiligne (voir graphique) mais tend alors vers celle d'un évacuateur en tulipe circulaire d'un diamètre d'environ 15 m et à seuil épais (courbe pointillés orange).
- Pour la gamme de débit entre [] : Le puits vertical de 6 m de dia-mètre ne parvient plus à évacuer le débit et le niveau d'eau au centre de la tulipe octolobée vient influencer le déversement par-dessus le seuil. Le contrôle de débit ne se fait alors plus au niveau du seuil mais au niveau du puits vertical.
- Au-delà de [] : L'évacuateur se comporte désormais comme un orifice immergé. En l'absence de voiles guide-eau disposés radialement sur le pourtour du seuil, la hauteur d'eau au-dessus du seuil est alors suffisamment importante pour laisser toute latitude à l'influence des courants d'approche. Etant donné la position de l'ouvrage dans un coin de la retenue, les courants d'approche non

symétriques génèrent une alimentation rotationnelle à l'origine de la formation d'un vortex puissant à la verticale du puits, qui ajoute plus encore à la limitation de capacité de débit de l'ouvrage. Le niveau d'eau amont est alors très sensible au débit et la courbe de débitance est quasiment verticale.



Graphique 3 : Photographies du modèle pour des débits [REDACTED]

En conclusion, on observe que la saturation de l'entonnement dans le puits vertical de 6 m de diamètre intervient pour un débit déversé de [REDACTED].

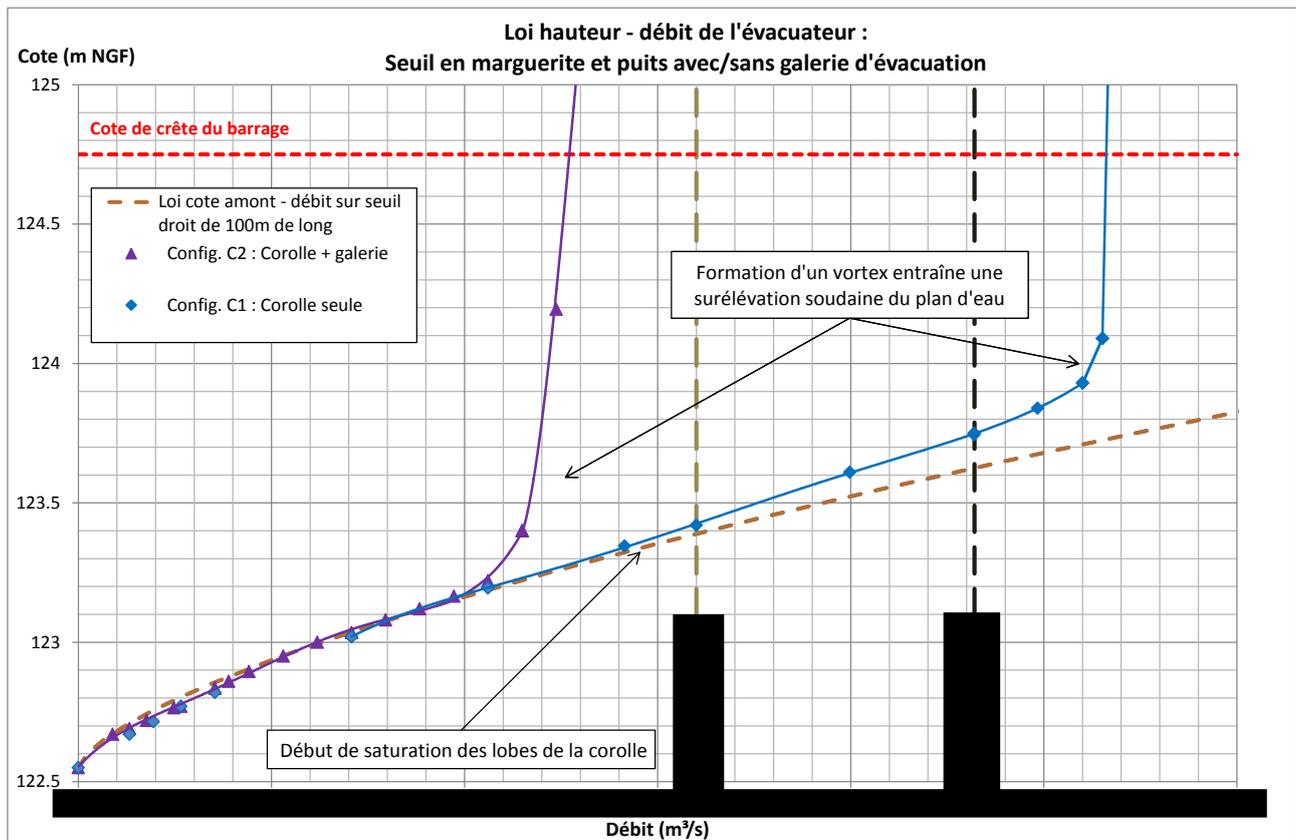
[REDACTED]. Par ailleurs, l'absence de murs guide-eau disposés radialement sur le pourtour du seuil déversant engendre la formation d'un puissant vortex à mèche à la verticale du puits.

4.2 Capacité de débit de l'ouvrage entier

La deuxième configuration testée représente l'état de l'ouvrage et du terrain aval, tel qu'il existe aujourd'hui. L'eau s'écoule donc par le seuil octolobé, le puits, la galerie puis le terrain aval incluant les 2 buses et le pont. Les résultats de cette série d'essais sont les suivants :

- La jonction puits – galerie est limitante à partir d'un débit [REDACTED]. Au-delà, le niveau d'eau au centre de la tulipe vient noyer le déversement sur le seuil et l'ouvrage est alors saturé.
- La cote de PHE est en effet atteinte pour un débit de [REDACTED].
- Pour des débits [REDACTED], les conditions d'écoulement aval n'ont pas d'influence sur l'écoulement et les niveaux d'eau dans l'ouvrage.
- De façon similaire aux observations faites sur les configurations C1 et C2, on observe la formation d'un vortex puissant avec mèche d'entraînement d'air au-dessus de la tulipe, lorsque celle-ci entre en fonctionnement noyé.

La figure ci-dessous représente la courbe de capacité obtenue lors des essais, ajoutée à celle obtenue lors de la première série d'essais :

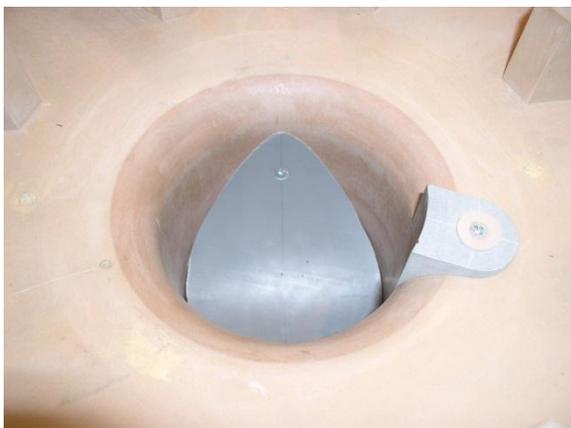


Graphique 4 : Courbe de capacité de débit de l'ouvrage entier

4.3 Essais de petits aménagements

De façon à tenter de réduire le problème de capacité limitée de l'ouvrage, deux aménagements indépendants sont testés sur le modèle :

- Profilage du coude entre le puits et la galerie d'évacuation : cette modification est susceptible d'améliorer le passage de l'eau du puits vertical à la galerie d'évacuation, en limitant les pertes de charge. Le rayon de courbure retenu pour ce profilage est de 10 mètres, dans l'axe de la galerie.
- Installation de 4 murs anti-vortex situés sur le pourtour du seuil octolobé : cette modification est susceptible de retarder la formation du vortex observé sur les précédentes configurations à la verticale du puits, et ainsi, de générer un gain supplémentaire de capacité.



Graphique 5 : Photographies des petits aménagements testés

Ces aménagements testés sur l'ouvrage, correspondant à des modifications simples et des travaux de faible ampleur, ne permettent pas d'en améliorer la capacité d'évacuation.

5. Conclusions



On tire de cette étude sur modèle physique la conclusion que le développement de la crête d'un seuil pour en augmenter la capacité propre ne peut se faire sans considérer l'environnement de l'ouvrage, et notamment les conditions hydrauliques aval :

- d'une part, l'envolement par l'aval du seuil de type labyrinthe entraîne une réduction importante de capacité,
- mais dans notre cas, du fait de l'entonnement de l'écoulement dans un puits de faible hauteur, l'envolement génère un courant d'alimentation circulaire formant un vortex limitant encore plus la capacité.

Cette étude illustre bien le risque d'équiper un barrage, qui plus est en remblai (vis-à-vis de la submersion), par un évacuateur en puits présentant une très faible hauteur et dont le comportement hydraulique est d'autant plus difficile à appréhender que le seuil de déversement présente une géométrie singulière.

Ce choix de conception ne serait aujourd'hui certainement pas retenu dans le cadre du dimensionnement d'un ouvrage neuf, des solutions plus simples à appréhender pouvant certainement être mises en œuvre sur un tel site.