

## Résistance ultime au déversement des barrages en béton

Auteur : Lucas LABROSSE

Encadrement 1 : Prof. P. MANSO / Prof. G. DE CESARE / Dr. S. CHAMOUN

Collaboration 2 : F. Laugier / B. Blancher



<sup>1</sup> Laboratoire de Construction Hydraulique (LCH) EPFL / <sup>2</sup> Electricité De France (EDF)

### Le but du projet

Était de développer une méthode afin de déterminer la possibilité, pour un barrage en sous-capacité d'évacuation de crues, de déverser l'excès de débit en toute sécurité. Ceci sans nécessairement construire de nouveaux déversoirs de crues. L'évaluation de l'affouillement est au cœur de cette problématique : l'érosion causée par les déversements peu remettre en question la stabilité des ouvrages.

### Module 1 : Analyse du cas d'étude et des données

**L'historique :** Dans un premier temps, l'analyse des déversements passés et de l'évolution d'une possible érosion permet d'estimer la vulnérabilité à l'affouillement. L'historique aide à créer des scénarios de déversement et une érosion existante permet de calibrer les méthodes d'évaluation de l'affouillement.

**L'exploitation :** Il s'agit d'évaluer la capacité de laminage de la retenue et de tenir compte des particularités de fonctionnement. Par exemple, le règlement d'ouverture des vannes lors d'événements extrêmes peu jouer un rôle important sur la capacité d'évacuation mais aussi sur l'évolution de l'affouillement.

### Module 2 : L'évaluation de l'affouillement

**Le calcul empirique :** Il permet d'obtenir une idée de l'affouillement ultime possible. Cependant le manque de prise en compte des processus physiques donne des résultats indicatifs uniquement.

**Les méthodes semi-empiriques :** Il en existe plusieurs. La méthode d'Annandale permet, en comparant un indice d'érodabilité du matériau avec la puissance du jet, d'évaluer le seuil d'érodabilité et la profondeur d'affouillement ultime possible.

**Le Comprehensive Scour Model (CSM) :** Une méthode qui se base le mieux possible sur les processus physiques de l'affouillement. Les calculs détaillés de la diffusion du jet dans l'air et dans la fosse avec l'évaluation des pressions dynamiques peut être repris pour calculer la puissance érosive du jet dans la méthode d'Annandale. La justesse physique demande cependant un nombre important d'hypothèses et de données pour être applicable.

**Modification de la méthode de Spurr :** La proposition est d'utiliser l'Energy Scour Index de Spurr en utilisant comme référence le site étudié, dans un cas idéalisé qui mène à l'affouillement ultime. La comparaison entre l'énergie nécessaire pour mener à l'affouillement ultime (en gris sur la **figure 1**) et l'énergie réellement disponible pendant une crue donnée (en rouge) permet d'ajuster la valeur d'affouillement ultime - évaluée ici avec la méthode d'Annandale - et d'obtenir la valeur d'affouillement attendue suite à cette crue.

**Algorithme basé sur l'équation de l'évolution de l'affouillement dans le temps :** En se basant sur l'équation suivante, il est possible d'évaluer l'avancement de l'affouillement pendant un hydrogramme donné.

$$(t+h)(T) = (t+h)_{end} \left(1 - e^{-\frac{aT}{T_e}}\right)$$

$T_e$  : constante de site - durée nécessaire pour mener à l'affouillement ultime

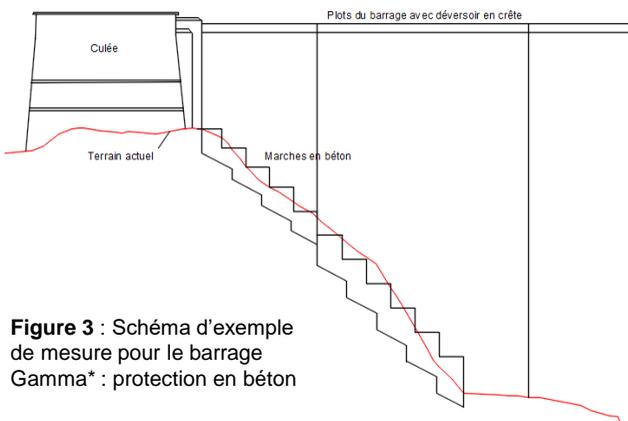
$a$  : constante d'événement (lié à la période de calibrage de la constante)

$T$  : durée de déversement érosif

$(t+h)$  = affouillement après l'événement

$(t+h)_{end}$  = affouillement ultime possible selon le débit de pointe de l'événement

Le résultat de l'application de l'algorithme donne une erreur lorsque l'affouillement est évaluée sur une autre période que celle qui calibre  $a/T_e$ . Toutefois, une longue période de calibrage offre un résultat moyen satisfaisant. La **figure 2** présente les résultats de l'application des deux méthodes proposées sur le barrage Lambda\*. ( $P_{tot} - P_{rock}$ ) correspond à la puissance érosive pendant les événements de déversements étudiés.

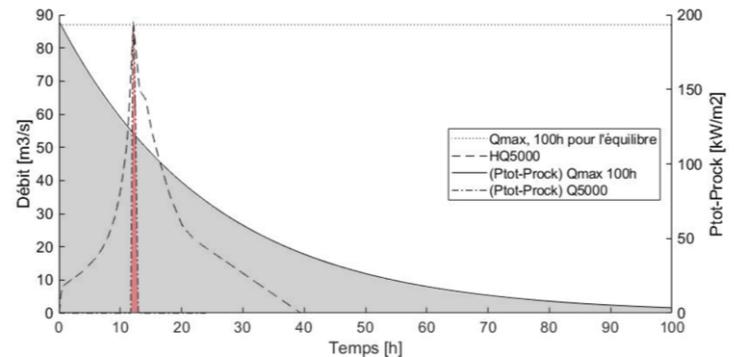


**Figure 3 :** Schéma d'exemple de mesure pour le barrage Gamma\* : protection en béton

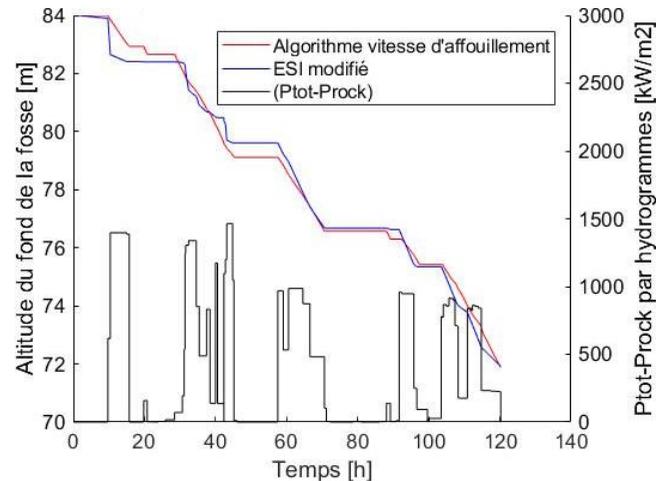
### Le résultat

Est un organigramme proposé afin de guider la réflexion de l'ingénieur. Pour l'affouillement, un ensemble de méthodes de calcul est discuté, avec les avantages et les inconvénients selon le cas étudié et les données disponibles. Des adaptations de certaines méthodes permettent également de proposer une analyse de l'évolution de l'affouillement avec sa dépendance au facteur temps. L'organigramme se compose de 4 modules, développés autour de deux études de cas.

**Figure 1 :** Principe de l'ESI modifié sur l'application au barrage Gamma\*



**Figure 2 :** Résultat des méthodes proposées sur le barrage Lambda\*



### Module 3 : Le dimensionnement

Une fois l'information sur l'affouillement obtenue, il est possible de le prendre en compte dans les diverses vérifications nécessaires : stabilité de la structure, stabilité des berges, effets des sous-pressions et de la charge hydrostatiques face à un niveau d'eau exceptionnellement haut, etc. Les cas de charges sont choisis en fonction du temps de retour des événements de crues

### Module 4 : Les mesures de mitigation

**Les mesures constructives :** Une bibliothèque de mesure a été construite pour les cas étudiés. Une exemple est en figure 3 pour le barrage Gamma\*. Les mesures peuvent être de protéger le rocher ou de déplacer le déversement.

**Les mesures opérationnelles :** Il est possible de réduire le déversement par de nouvelles règles d'exploitation, par exemple en diminuant le niveau de retenue normale pendant les périodes de crues. De manière temporaire, instaurer un programme de monitoring afin d'organiser le suivi de la fosse est également une mesure à prendre selon la situation

\*Les données sont protégées par un accord de confidentialité