

Maîtrise du ressaut hydraulique dans un canal

De manière inattendue, un kayakiste peut rester piégé dans les remous d'un ressaut malgré un fort courant qui devrait normalement faire dériver son embarcation. Cela incite à caractériser les écoulements favorables à l'apparition d'un ressaut en vue de chercher à contrer les cas de figure dangereux.

Le ressaut hydraulique se définit comme une perturbation du transport des particules d'eau, due à la transition entre un écoulement fluvial et un écoulement torrentiel. Optimiser leur transport revient à gérer l'influence des obstacles et de la variation de débit sur l'apparition de ce phénomène.

Ce TIPE fait l'objet d'un travail de groupe.

Liste des membres du groupe :

- COLAS Camille

Positionnement thématique (phase 2)

PHYSIQUE (Mécanique).

Mots-clés (phase 2)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Hydrodynamique</i>	<i>Hydrodynamic</i>
<i>Obstacles</i>	<i>Obstacles</i>
<i>nombre de Froude</i>	<i>Froude number</i>
<i>Onde de surface</i>	<i>Surface wave</i>
<i>Turbulences</i>	<i>Turbulences</i>

Bibliographie commentée

Le ressaut hydraulique se caractérise par une surélévation brutale et turbulente du niveau d'eau, marquant le passage d'un écoulement torrentiel à un écoulement fluvial. Cette région transitoire est appelée rouleau : le fluide, entraîné dans un écoulement tourbillonnaire, est alors susceptible de revenir vers l'amont [1].

Ce phénomène s'observe dans les écoulements de faible profondeur. En effet, il tire son origine de l'existence d'ondes de surface (aussi appelées ondes de gravité), qui sont à prendre en compte lorsque la longueur d'onde de ces dernières est du même ordre de grandeur que la hauteur d'eau [2].

Pour quantifier les ressauts hydrauliques, on introduit le nombre de Froude, grandeur adimensionnelle définie comme le rapport entre la vitesse du fluide et la célérité de l'onde de surface

[3]. Il permet alors de rendre compte des variations du champ de vitesse autour du ressaut hydraulique. En amont du ressaut hydraulique, le flot est contraint à un écoulement torrentiel (ou supercritique) correspondant à un nombre de Froude supérieur à l'unité. La diminution du nombre de Froude jusqu'à des valeurs inférieures à 1 marque le passage à un écoulement fluvial (ou subcritique). L'égalité des vitesses est donc atteinte au niveau du ressaut [2].

Dès le XIX^{ème} siècle, le phénomène a commencé à être théorisé. Bélanger établit le lien entre les hauteurs conjuguées et le nombre de Froude en amont du ressaut pour les écoulements incompressibles et stationnaires [1,3,4]. Ce modèle a depuis été précisé, notamment à travers de nombreuses études expérimentales. En effet, les modélisations théoriques restent encore aujourd'hui limitées par la résolution d'équations non-linéaires.

Les expériences, menées notamment par Hager dans les années 1990, ont mis en évidence les limites des modélisations théoriques, qui suggéraient une discontinuité de la surface libre. Le ressaut s'étend en fait sur une certaine longueur qu'il est possible de prévoir grâce à des formules phénoménologiques faisant intervenir le nombre de Froude en amont [1]. Sur cette distance, le rouleau peut présenter des turbulences plus ou moins importantes. Ainsi, la connaissance du nombre de Froude en amont permet de classer la stabilité du ressaut formé [3].

Une description énergétique est également nécessaire pour appréhender le phénomène. Les ingénieurs exploitent généralement la capacité du ressaut hydraulique à dissiper l'énergie cinétique de l'eau, afin d'abaisser sa vitesse et prévenir les phénomènes d'érosion [5]. Cette dissipation se fait en partie au profit d'une augmentation d'énergie potentielle, marquée par l'élévation du niveau d'eau. Une partie de l'énergie cinétique est convertie en énergie dite turbulente au niveau du rouleau, qui est progressivement dissipée sous forme de chaleur [1].

L'apparition d'un ressaut hydraulique nécessite une modification du champ de vitesse de l'écoulement ou de l'onde de surface, permettant ainsi la variation du nombre de Froude. Ainsi, un écoulement soumis à la présence d'obstacles est un milieu propice à son apparition [6]. Dans la nature, ce phénomène se forme donc spontanément et participe donc au façonnement des cours d'eau. Le ressaut hydraulique est parfois volontairement imposé pour aménager les cours d'eau. Il est dès lors primordial de connaître les paramètres géométriques et énergétiques permettant d'imposer un ressaut optimal en termes de dissipation d'énergie, sans toutefois exposer les berges à des dégradations ou créer des zones dangereuses pour les baigneurs [4,5].

Problématique retenue

Quelle est l'influence de la forme du canal sur la formation de ressauts hydrauliques ?

Objectifs du TIPE

J'explorerai l'exploitation du ressaut hydraulique en vue de l'aménagement des courants en axant mon étude sur 3 aspects :

1. Créer un ressaut hydraulique au niveau d'une vanne de décharge, en canal rectangulaire, pour mesurer expérimentalement les grandeurs caractéristiques prévues théoriquement
2. Valider la dissipation d'énergie au sein du ressaut
3. Optimiser le ressaut formé : maximiser la dissipation d'énergie et localiser le ressaut à proximité de la vanne

Abstract

This study examines the formation of hydraulic jumps in a linear flow channel, thanks to a sluice gate or a fence. We established theoretical equations to model the shape of the flow according to the flow parameters. The theoretical forecasts were then validated thanks experimental measures of conjugate depths and roller length. Then we studied the energy loss which takes place because of the hydraulic jump, and improved the device to maximize this loss. This kinetic energy loss mirrors the decreasing speed and is exploited by engineers to avoid risks of erosions in rivers and streams.

Références bibliographiques (phase 2)

- [1] GAËL RICHARD : Elaboration d'un modèle d'écoulements turbulents en faible profondeur : Application au ressaut hydraulique et aux trains de rouleaux : *Thèse de doctorat en mécanique et physique des fluides, de l'université d'Aix Marseille, novembre 2013*
- [2] WALTER H. GRAF : Hydraulique fluviale : écoulement et phénomènes de transport dans les canaux à géométrie simple : *Traité de génie civil de l'école Polytechnique fédérale de Lausanne, Volume 16, 2009*
- [3] GÉRARD DEGOUTTE : Diagnostic, aménagement et gestion des rivières, Hydraulique et morphologie fluviales appliquées : *Chapitre 1 : Hydraulique à la surface libre, Tec & Doc Lavoisier, 2012*
- [4] ROBERT LAGACE : Ressaut hydraulique : *Chapitre 15 : Ressaut hydraulique, Université de Laval, consultation en décembre 2018*
http://www.grr.ulaval.ca/gae_3005/Documents/Notes_A2011/CH_15_Ressaut.pdf
- [5] MOHAMED HOSSAM : Effects of corrugated beds on characteristics of submerged hydraulic jump : *Ain Shams Engineering journal, Volume 5, Publication 4, page 1033-1042, Décembre 2014*
- [6] O. THUAL : Hydraulique à surface libre : *INP Toulouse, juin 2010, consultation en décembre 2018* <http://thual.perso.enseeiht.fr/xsee/ch4/allpdf/00main.pdf>

DOT

- [1] *Septembre/Octobre : Recherche bibliographique sur le ressaut. Première obtention expérimentale de ressauts hydrauliques circulaires (par jet sur une surface) et linéaires (dans un canal déjà fabriqué). Abandon de la piste d'étude du ressaut circulaire, à cause du trop faible nombre de paramètres que l'on pouvait envisager de faire varier expérimentalement.*
- [2] *Novembre : Séparation des axes d'étude : ressaut en canal d'écoulement linéaire avec un*

obstacle et une vanne. Construction d'un canal avec vanne amovible et calibrage des conditions optimales pour l'obtention d'un ressaut exploitable (gamme de débit, taille de la vanne...).

[3] *Décembre : Validation expérimentale pour un ressaut donné : étude de la variation du nombre de Froude, de la nature de l'écoulement. Identification des paramètres d'écoulement clefs influençant l'allure du ressaut. Modélisation théorique avec la relation de Bélanger faisant intervenir ces paramètres d'écoulement.*

[4] *Janvier : Validation expérimentale de cette relation en faisant varier les paramètres d'écoulement. Modélisation de la longueur de rouleau et validation expérimentale. Vérifications régulières de la cohérence avec les résultats du binôme.*

[5] *Février : Modélisation de la dissipation d'énergie et mesure de la dissipation d'énergie effective.*

[6] *Mars/avril : Adaptation du dispositif expérimental pour mimer les écoulements en rivière. Modification du dispositif expérimental pour localiser le ressaut et optimiser la dissipation d'énergie, en prenant en compte les résultats de mon binôme quant à l'effet de l'ajout d'un obstacle.*

[7] *Mai : Mise en parallèle globale des résultats des membres du groupe.*