

Maîtrise du ressaut hydraulique dans un canal

Il est possible d'observer des surfeurs glissant à contre-courant sur un fleuve, profitant de la formation d'un mascaret, ou ressaut hydraulique. Cela m'a mené à m'interroger sur les facteurs physiques à l'origine de ce phénomène, dans l'optique de mieux contrôler un écoulement.

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 :

- DAVID Myrtille

Positionnement thématique (phase 2)

PHYSIQUE (Mécanique).

Mots-clés (phase 2)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Hydrodynamique</i>	<i>hydrodynamics</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 XIXème 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 au profit de l'énergie potentielle, marquée par l'élévation du niveau d'eau. Cependant 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 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

Mon étude du ressaut hydraulique généré par l'interaction des ondes de surface avec le lit d'un canal se décomposera en 3 étapes :

1. Recherche des facteurs physiques intervenant dans l'apparition des ressauts hydrauliques
2. Réalisation d'un canal rectangulaire à inclinaison variable permettant de générer et de mesurer des ressauts hydrauliques
3. Mise en perspective des prédictions théoriques avec les expérimentations : analyse des écarts.

Abstract

This study investigates the influence of the shape of a canal on the formation of hydraulic jumps, a phenomenon that needs to be considered for river management. The construction of a rectangular canal enabled the appearance of hydraulic jumps, by putting immersed obstacles across the flow. Experimental measures were carried out by varying the flow, the slope of the canal and the height of the obstacles. They were then compared with different theoretical models to deduce quantitatively the influence of these parameters on the height and position of hydraulic jumps.

Références bibliographiques (phase 2)

- [1] GAËL RICHARD : Élaboration 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 : 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, Décembre 2014, page 1033-1042*
- [6] OLIVER 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 2018 - Recherches bibliographiques en groupe autour du phénomène de ressaut hydraulique dans le cas d'une géométrie linéaire (canal) et circulaire (jet sur une surface).*
- [2] *Octobre 2018 - Après des premiers essais dans un canal à vague fermé, construction individuelle de mon propre canal ouvert à son extrémité : tests d'écoulements autour d'obstacles de différentes formes. Étude de la variation du nombre de Froude dans les expériences menées.*
- [3] *Novembre 2018 - Séparation du travail au sein du binôme : d'une part, étude du ressaut hydraulique en fonction des obstacles, de l'autre étude de la vanne de décharge. Approfondissement des recherches bibliographiques.*
- [4] *Décembre 2018 - Apparition de ressauts hydrauliques concluants entre deux obstacles : après avoir testé différents obstacles de différentes hauteurs et formes, j'ai finalement choisi d'utiliser uniquement des obstacles rectangulaires fins.*
- [5] *Janvier 2019 - Mesure des hauteurs conjuguées au niveau du ressaut formé entre 2 obstacles en faisant varier la hauteur de l'obstacle et le débit : étude de la loi de Bélanger et de la perte de charge. Premières difficultés rencontrées : les turbulences rendent les mesures imprécises.*

[6] *Février 2019 - Identification de la rugosité du canal et vérification d'une relation entre la hauteur de l'écoulement et la rugosité. Mise en parallèle des modélisations théoriques avec les résultats expérimentaux. Nouveau paramètre à faire varier (pente du canal) permettant d'obtenir un écoulement torrentiel.*

[7] *Mars-Avril 2019 - Reprise des mesures de ressaut hydraulique formé (en utilisant une pente et un obstacle) en prenant en compte la distance ressaut/obstacle. Extension des comparaisons des résultats avec les modélisations théoriques.*

[8] *Mai 2019 - Mise en commun des résultats au sein du binôme. Synthèse de l'étude : Réflexion sur l'application à l'aménagement d'un canal réel.*