



MODELISATION EN 2D DES ECOULEMENTS BRUSQUEMENT INSTATIONNAIRES DANS UN CANAL PRISMATIQUE A SURFACE LIBRE

BOUDJELAL S.¹, FOURAR A.², HADAD D.³, MERROUCHI F.⁴

^{1, 2, 4} Département d'Hydraulique, Institut de Génie Civil, d'Hydraulique et d'Architecture

³ Département de Génie Mécanique

Université Hadj Lakhdar, Batna

boudjellalsamia@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Dans les aménagements des ressources en eau, la modélisation numérique reste toujours un moyen très fiable. En effet, par définition le modèle est un outil qui permet d'écrire un phénomène physique. Si celui-ci s'est réalisé, on peut, par simulation, le reconstruire et apporter des informations sur les conditions qui sont nécessaires à son déroulement. Il faut souligner cependant que la simulation et la prédiction ne sont valables que dans la mesure où le modèle est validé. On peut citer de nombreuses applications de la modélisation numérique des écoulements à surface libre à l'aménagement des ressources en eau, à la protection de l'environnement, des écosystèmes et la simulation des écoulements dus aux ruptures de barrages, la présence des déversoirs dans des canaux, etc. Dans cette présente contribution l'objectif que nous nous sommes assigné est la modélisation numérique bidimensionnelle des écoulements brusquement instationnaires, en l'occurrence le ressaut de façon particulière et l'évolution des hauteurs et des vitesses dans le cas de la présence de un ou plusieurs obstacles, dans un canal prismatique ouvert.

Mots clés: écoulements instationnaires, modélisation numérique 2D, EDP hyperbolique, ressaut.

INTRODUCTION

La compréhension et la prévision du comportement de l'écoulement à surface libre a un intérêt stratégique. La prévision des crues, la conception des ouvrages de protection contre les inondations, les évacuateurs de crues et des canaux de dérivation et l'évaluation de l'impact de rupture de barrage sont autant de sujets, parmi tant d'autres, qui requièrent de façon cruciale une bonne maîtrise des phénomènes de l'hydraulique et de la mécanique des fluides.

Les écoulements brusquement instationnaires qui ont lieu lors de l'ouverture brusque d'une vanne, dans le cas d'un déversoir se caractérisent par une surélévation brusque et par une agitation marquée et de grandes pertes d'énergie. Ces écoulements peuvent se manifester de différentes manières compte tenu des forces en causes d'inertie et de gravité. Leurs caractéristiques hydrauliques commencent à varier très faiblement, ensuite elles s'accroissent jusqu'à générer de petits tourbillons superficiels. Ce phénomène devient pulsatoire et une grande turbulence prend sa valeur maximale soit près du fond soit en surface. Des pulsations donnent naissance à des ondes de période irrégulières et ces ondes peuvent se propager sur de très longues distances entraînant dans leurs sillages des transports de différentes natures, conséquence des contraintes sur le fond exercées par ces écoulements à très grandes vitesses. Dans la présente étude, l'accent est mis prioritairement sur le comportement dynamique de l'écoulement dans un canal à surface libre. Le cas particulier des écoulements transitoires sera étudié.

L'intégration numérique des équations aux dérivées partielles gouvernant les différents phénomènes étudiés nous a permis de déterminer des profils des vitesses et des hauteurs dans un canal rectangulaire à surface libre grâce à un programme de simulation que nous avons élaboré en langage Fortran 90 version 6.6.

THEORIE

Les équations de Saint-Venant sont les équations les plus utilisées pour modéliser les écoulements instationnaires et graduellement ou brusquement variés à surface libre.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \text{div}(h\bar{u}) = 0$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(huu) + \frac{\partial}{\partial y}(huv) = -gh \frac{\partial Z_s}{\partial x} + \text{div}\left(h\epsilon_e \overrightarrow{\text{grad}}(u)\right)$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(huv) + \frac{\partial}{\partial y}(hvv) = -gh \frac{\partial Z_s}{\partial y} + \text{div}\left(h\epsilon_e \overrightarrow{\text{grad}}(v)\right)$$

Modélisation en 2D des écoulements brusquement instationnaires dans un canal prismatique à surface libre

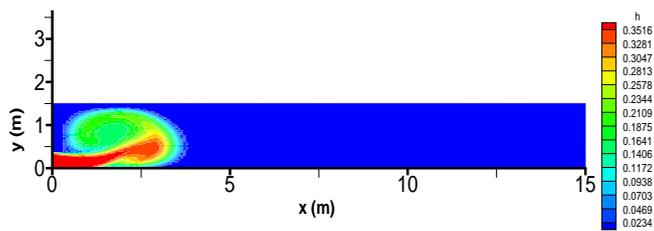
Une modélisation mathématique est réalisée sur les écoulements transitoires à surface libre d'un canal rectangulaire provoqués par l'ouverture brusque d'une vanne, par l'existence d'un déversoir qui sont placés à l'extrémité amont du canal produisant ainsi la variation de la profondeur d'eau et la variation de la vitesse en fonction du temps en différentes sections du canal, l'évolution de ces profondeurs pouvant entraîner l'inondation du canal.

MODELISATION ET RESULTATS

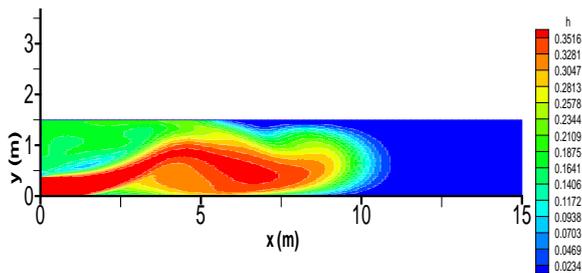
Cas de l'Ouverture brusque d'une vanne dans un canal à pente nulle et sans frottement

Le premier cas concerne l'écoulement transitoire dans un canal prismatique à section rectangulaire. Nous considérons un canal horizontal de largeur, $B = 0,50\text{m}$, de hauteur de $H=1,50\text{m}$ et de longueur $L = 15\text{m}$. Le lit du canal est lisse, donc il n'y a pas d'effet de frottement sur l'écoulement. La vanne se trouve au début du canal et à l'instant $t=0$, la vanne est totalement enlevée et l'eau se relâche sous forme d'une vague, se dirige vers aval

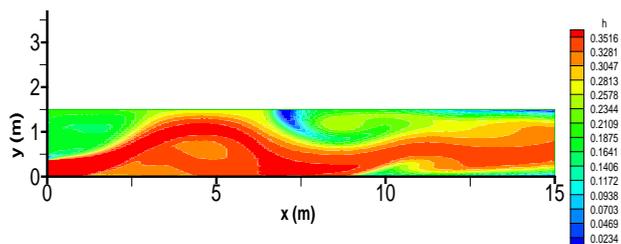
Les résultats suivants présente l'écoulement instationnaire dans un canal rectangulaire à surface libre dont on représente la variation de la hauteur d'eau en fonction du temps (Figure 1).



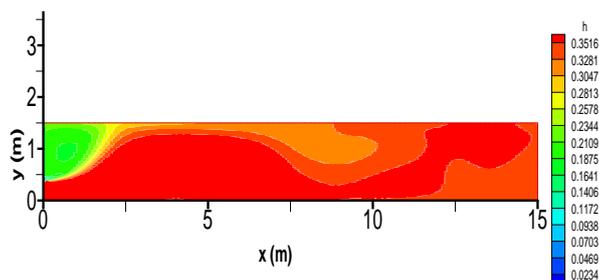
t=5s



t=15s



t=25s



t=80s

Figure 1: Variation de la hauteur d'eau dans le cas de l'ouverture brusque de la vanne à (t=5s, 10s, 15s, 20s, 25s, 40s, 45s et 80s)

Les figures 2 et 3 représentent la variation de la vitesse u (m/s) au long du canal avec un profil des vitesses selon l'axe x.

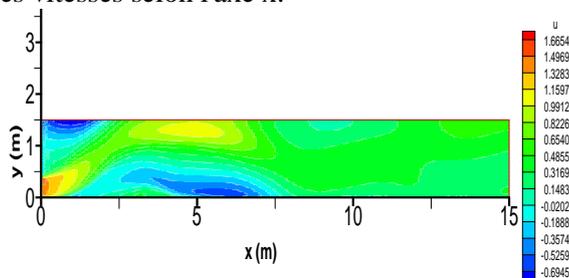


Figure 2: Variation de la vitesse u (m/s) dans le cas de l'ouverture brusque de la vanne

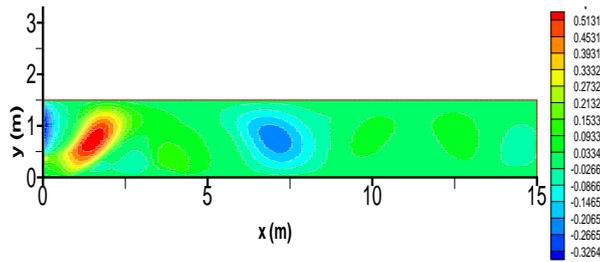


Figure 3: Variation de la vitesse v (m/s) dans le cas de l'ouverture brusque de la vanne

La figure 4 présente la variation des champs des vecteurs vitesses le long du canal rectangulaire à surface libre.

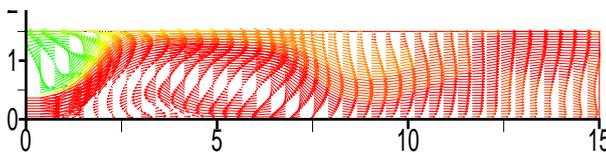


Figure 4: Présentation des champs des vecteurs vitesses dans le cas de l'ouverture brusque de la vanne

La figure 5 représente les zones de recirculation dans les différentes sections du canal.

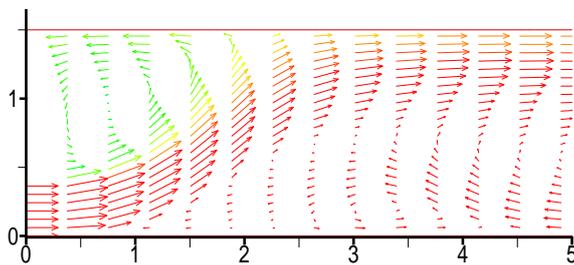


Figure 5: Présentation de la zone de re-circulation au début du canal

Cas de la présence d'un déversoir à l'entrée d'un canal à pente nulle et sans frottement

Le deuxième cas concerne l'écoulement transitoire dans un canal prismatique à section rectangulaire. Nous considérons un canal horizontal de largeur $B = 0,50\text{m}$, de hauteur $H=1,5\text{m}$ et de longueur $L = 15\text{m}$. Le lit du canal est lisse, donc il n'y a pas d'effet de frottement sur l'écoulement. Un déversoir se trouve

à l'entrée du canal et à l'instant $t=0$, l'écoulement se fait à travers le déversoir et se dirige vers aval.

La figure 6 présente la variation de la hauteur d'eau en fonction du temps ainsi La figure IV.25 présente le profil de vitesse.

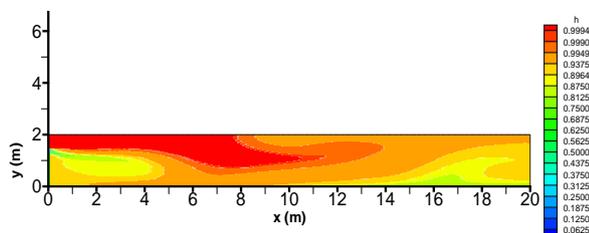


Figure 6: Variation de la hauteur d'eau dans le cas d'un déversoir à $t=50$ s

La figure 7 présente la variation des champs des vecteurs vitesses le long du canal.

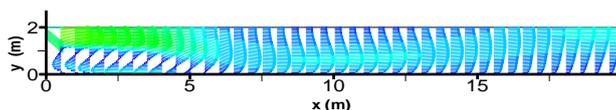


Figure 7: Présentation des champs des vecteurs vitesses dans le cas d'un déversoir

La figure 8 représente les zones de recirculation dans les différentes sections du canal.

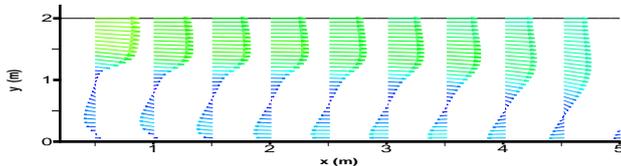


Figure 8: Présentation de la zone de re-circulation

CONCLUSION

Les écoulements instationnaires brusquement variés dans un canal rectangulaire à surface libre sont l'un des phénomènes les plus compliqués de l'hydraulique. Ces écoulements, abstraction faite des forces de frottement, sont régis par le seul équilibre dynamique des forces de gravité et d'inertie. Dans cette présente étude un intérêt particulier a été accordé au phénomène des ressauts hydrauliques provoqués à la fois lors de l'ouverture d'une cloison, dans le cas d'un élargissement et enfin d'une chute brusque. Ces phénomènes s'avèrent très utiles pour déterminer les relations entre les profondeurs conjuguées, les pertes de charges étant très importantes, et donc de calculer les surfaces d'eau dans les canaux et rivières. Les équations utilisées pour établir ces relations qui font intervenir les forces extérieures sont les équations de quantité de mouvement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AUDUSSE E. (2004). Modélisation hyperbolique et analyse numérique pour les écoulements en eaux peu profondes, Thèse Doctorat, Université Paris VI.
- CHORIN A.J. (1968). Numerical solution of the Navier-Stokes equations, *Mathematics of Computation*, Vol. 22, 745-762.
- FENNEMA R., CHAUDHRY M.H. (1989). Implicit methods for two dimensional unsteady free surface flows, *J. Hydraul. Res.*, Vol. 27, n°3, 321-332.
- HEVOUET J-M. (2003). Hydrodynamique des écoulements à surface libre, presse de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, ISBN 2-85978-379-2.
- THUAL O. (2003). Dérivation des équations de Saint-Venant. <http://www.enseiht.fr/~thual/otapm/ondderisv/index.htm> 2003b.