

CALCUL DE L'ONDE DE RUPTURE D'UN BARRAGE EN MODE BIDIMENSIONNEL VIA LE CODE TELEMAC-2D

CALCULATING THE DAM BREAK IN TWO-DIMENSIONAL BY TELEMAC-2D

Mustapha kamel MIHOUBI, *Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique, Blida-Algérie. LR-MVRE. mihkam@ensh.dz.*

Lakhdar SALHI, *Laboratoire de Recherches Science de l'Eau (LRS-Eau), Ecole Nationale Polytechnique (ENP). hyd.slakhdar@yahoo.fr*

Romuald VERJUS, *Laboratoire Universitaire des Sciences Appliquées de Cherbourg, LUSAC- EA6253, BP 78, 5130 Octeville, France. romuald.verjus@unicaen.fr*

Sylvain GUILLOU, *Département Génie des systèmes industriels. Laboratoire Universitaire des Sciences Appliquées de Cherbourg.*

RESUME : L'évaluation des risques de submersion à l'aval de barrage est primordiale afin de protéger les biens et les personnes dans ces zones. Ceci passe par la mise en place de cartes de vulnérabilité et de plans d'alertes. Divers outils ont été mis en place pour les élaborer. Le plus récent vient de la simulation numérique des équations des écoulements en eaux peu profondes. Dans ce travail, une modélisation numérique de la rupture du barrage de Boukerdane est réalisée à l'aide du logiciel TELEMAC-2D. Le scénario de la rupture totale et instantanée du barrage est présenté pour différentes valeurs du coefficient de frottement sur le fond. Les résultats de calculs de l'onde de rupture au site du barrage de Boukerdane, ont montré que l'approche numérique par un calcul bidimensionnel est plus proche de la réalité comparativement au calcul simplifié unidimensionnel. Les résultats fournis aboutissent au plan particulier d'intervention (PPI), permettant l'établissement de la carte de vulnérabilité et d'alerte, à l'aval du barrage.

Mots-clés : Rupture de barrage, Barrage de Boukerdane, Modélisation numérique, Telemac-2D, Coefficient de frottement

ABSTRACT : The evaluation of the risks of flood at the downhill of the dam is essential to protect the possessions and the persons. In these zones this passes by the implementation of vulnerability charts and plans of alerts different tools were set up to elaborate them. The most recent come to us from the digital simulation of the equations of flows in little deep waters. In this work, a digital modelling of the dam break of Boukerdane is realized by means of the software TELEMAC. The scenario of the total and

immediate break of the dam is presented for various values of the coefficient of friction on the bottom. The results of calculations of the Wave's Break in the site of the Boukerdane's dam, showed that the digital approach by a bidimensionnel calculation is closer to the reality compared with the simplified unidimensionnel calculation. The supplied results allow the establishment of the particular plan of intervention (PPI), Allowing the establishment of the vulnerability chart and alert at the downstream of the dam.

Keywords : The dam break, Dam of Boukerdane, Digital modelling, TELEMAC-2D, Coefficient of friction

NOTATIONS ET SYMBOLES

H	Hauteur (tirant) d'eau	(m)
Diff	Diffusion turbulente	(m ² /s)
Str	Coefficient de Strickler	(m ^{1/3} /s)
u, v	Composantes de vitesse horizontale et verticale	(m/s)
T	Traceur passif	(g/l)
ν_T	Coefficient de diffusion de la vitesse et du traceur	(m ² /s)
Z	Côte de la surface libre	(m)
S _h	source et puits de traceur	(m/s)
S _x , S _y	Termes source ou puits des équations dynamiques suivant les axes	(m/s ²)
S _T	Source et puits de traceur	(g/l/s)
t	Variable temporelle	(s)

INTRODUCTION

La problématique d'évaluation des risques de submersion à l'aval de barrage suite à sa rupture est primordiale afin de protéger les biens et les personnes dans ces zones. En effet, lors d'une rupture de barrage, un mur d'eau se propage, à l'aval, dans la vallée entraînant des submersions et des dégâts très importants. La mise en place de plans particuliers d'alertes et d'interventions est donc nécessaire. Divers outils ont été mis en place pour les élaborer. Le plus récents vient de la simulation numérique des équations des écoulements en eaux peu profondes. Il convient de souligner qu'actuellement que les accidents de rupture réelle de barrage sont très rares, excepté dans le cas de catastrophes naturelles

La rupture du barrage de Malpasset en 1959 a fait l'objet de nombreuses études, car il existe des données de terrain ainsi que des mesures sur modèle réduit. Ce cas de référence a permis de caler divers modèles numériques bidimensionnels comme ceux de Valiani *et al.* (2002)

et SHI (2006) qui ont utilisé des modèle numériques de type volume fini ou encore, les travaux d'Hervouet et Petitjean (1999) qui utilisent quant à eux un logiciel de type élément finis, Telemac-2D développé par électricité de France (EDF) en 2007. Tawatchai et Winyu (1999) ont traité la modélisation bidimensionnelle de la propagation d'onde sur un fond initialement sec. De même Paquier (1995) et Abdul(2000) ont traité la modélisation et la simulation de la propagation de l'onde de rupture de barrage sur un fond considérée initialement sec.

Le barrage de Boukerdane n'a pas encore fait l'objet d'étude de ce type. Bien heureusement, la rupture de celui-ci ne s'est jamais produite mais une modélisation numérique de l'onde de rupture pourrait fournir des informations importantes dans l'optique de mettre en œuvre des cartes de vulnérabilité et des plans d'alertes.

Il s'agit de présenter dans cet article une simulation numérique de la rupture totale et instantanée du barrage de Boukerdane avec le logiciel Telemac-2D. Une rupture totale et instantanée du barrage est considérée et l'influent du coefficient de frottement sur la propagation sur l'onde crue est examiné.

METHODOLOGIE

Modèle Hydrodynamique de l'écoulement à surface libre

Il s'agit d'une modélisation hydrodynamique de l'écoulement à surface libre, exprimé par les équations de Saint Venant bidimensionnelles :

Equation de continuité :

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \bar{u} \cdot \bar{\nabla}(H) + H \operatorname{div}(\bar{u}) = S_h \quad (1)$$

Equation de la dynamique selon x :

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \cdot \bar{\nabla}(\bar{u}) = -g \frac{\partial Z}{\partial x} + S_x + \frac{1}{H} \operatorname{div}(H \bar{t} \bar{\nabla}) \quad (2)$$

Equation de la dynamique selon y :

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \cdot \bar{\nabla}(\bar{v}) = -g \frac{\partial Z}{\partial y} + S_y + \frac{1}{H} \operatorname{div}(H \bar{t} \bar{\nabla}) \quad (3)$$

Equation de conservation du traceur :

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \bar{u} \cdot \bar{\nabla}(T) = S_T + \frac{1}{H} \operatorname{div}(H \bar{t} \bar{\nabla}) \quad (4)$$

Modélisation numérique

Le domaine de calcul prend en compte le réservoir ainsi que la vallée à l'aval du barrage, jusqu'à la mer. Le maillage comporte 37508 points et

73599 éléments avec des mailles allant de 5 à 350 m (Fig.1). Le réservoir est maillé grossièrement car l'agitation y est assez faible et il est préférable de renforcer le maillage dans les zones de fortes agitations, c'est-à-dire au niveau du barrage et dans le lit de la rivière. Initialement, un volume d'eau à la côte du plan d'eau est retenu dans le réservoir soit à 120 m NGA. Cela, évite de prendre des conditions aux limites théoriques, cas d'une hauteur constante ou d'un hydrogramme de crue.

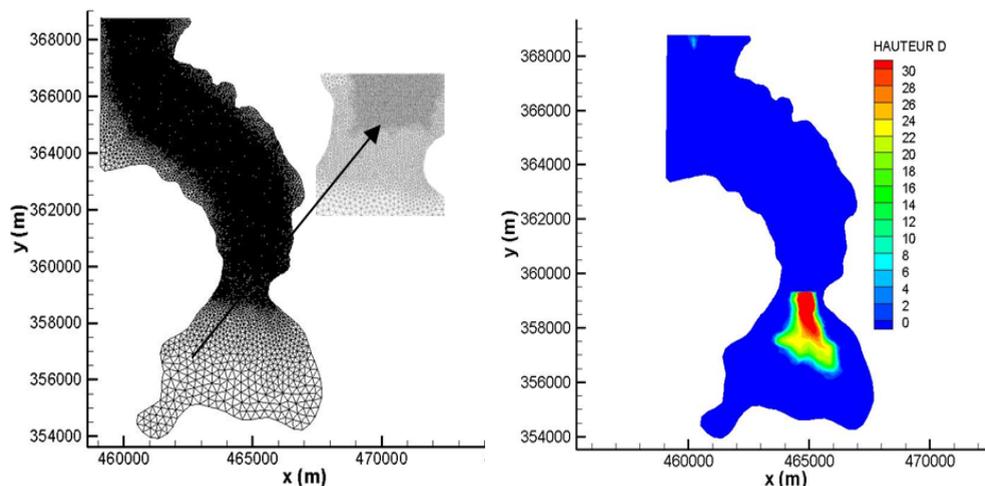


Fig. 1 Maillage du domaine et établissement des conditions initiales

A l'aval, la côte de surface libre est imposée à zéro (embouchure au niveau de la mer). Le fond de la vallée est sec. Les deux côtés de la vallée sont considérés comme des parois imperméables. Aussi, on admet qu'il n'y a ni infiltration, ni résurgence d'eau au niveau des berges. Les vitesses sont nulles partout dans le domaine (Salhi, 2010). Le coefficient de diffusion turbulente incluant la dispersion, a été pris constant et égal à $1 \text{ m}^2/\text{s}$. Initialement, une masse d'eau à la côte du plan d'eau est retenue dans le réservoir.

Paramètres de calcul

La convection des vitesses est faite avec la méthode des caractéristiques ; la discrétisation de la hauteur est linéaire et quasi-bulle pour les vitesses. Le pas de temps est de 0.5 secondes et la période de simulation est de 4000 s. Le solveur choisi est de type GMRES, avec une précision relative de l'ordre de 10^{-5} , une dimension de l'espace Krylov est

égale à 3 avec un simple pré conditionnement diagonal. Différents coefficients de frottement sur le fond ainsi que différents coefficients de diffusion turbulente ont été choisis en fonction de l'état du sol à l'aval. Le temps de calcul estimé par la machine est de l'ordre 1000 secondes CPU (processeur Intel Core 2 duo 3.2 GHz, 3 Go de RAM).

Zone d'étude

Le barrage de Boukerdane en Algérie est unique dans la wilaya de Tipasa. Il fut créé en 1992 sur l'Oued El Hachem, il se situe en amont de la ville de Sidi Amar, 12 km à l'est de la ville archéologique de Cherchell. La retenue a une hauteur de 74 m et dispose d'une capacité de 110 Hm^3 . Il est destiné à l'alimentation en eau potable et à l'irrigation du périmètre du Sahel algérois ouest. À partir de la carte topographique à l'échelle 1/50 000, callée avec le système d'information géographique, la topographie a été digitalisée. La dimension du domaine de calcul étudié est de $10000 \text{ m} \times 14000 \text{ m}$. La côte du fond varie de 0 m (niveau de la mer) à 300 m. La vallée se rétrécit avant d'atteindre la plaine côtière avec un brusque changement de direction. La pente moyenne de la vallée à l'aval du barrage est de l'ordre de 0,5 %. La figure 2 permet de visualiser la bathymétrie du modèle et la localisation géographique du barrage.

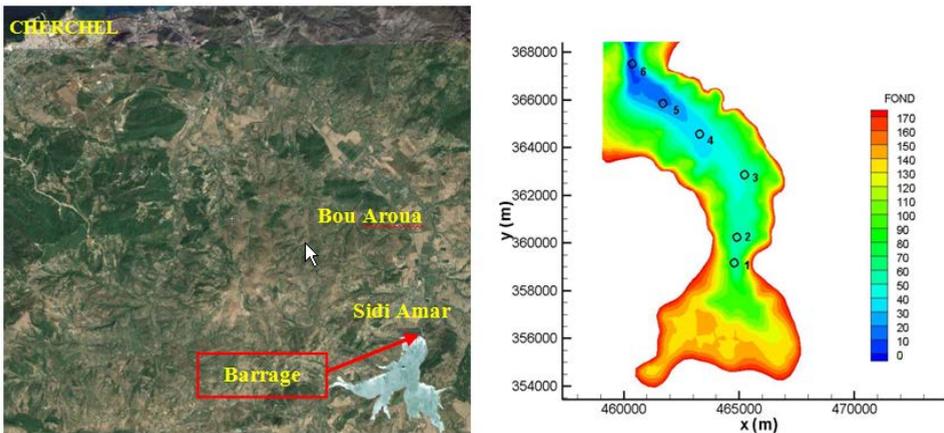


Fig. 2 Localisation géographique du barrage et bathymétrie du domaine

RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats obtenus par la simulation numérique, à partir de l'étude de l'onde de rupture pour une valeur fixe du coefficient de Strikler ($\text{Str} = 30$) et une diffusion turbulente égale à ($\text{diff} = 1 \text{ m}^2/\text{s}$), et ce suivant les instants respectives $t = 100 \text{ s}$, 275 s et 850 s montrent que l'onde de rupture atteint la

ville de Sidi Amar à $t=100$ s. A cet instant, le tirant d'eau atteint la valeur de plus de 20 mètres. Plus tard, et à l'instant $t=270$ s, le village de Bou Aroua située bien à l'aval est atteint par l'onde de crue avec des tirants compris entre 15 à 20 m (Fig. 2).

L'onde de rupture atteint la mer à $t=850$ s. Après la ville de Sidi Amar, l'onde se fragmente en plusieurs ondes. Il est difficile d'en trouver les causes, néanmoins il semblerait que cela vienne du changement brusque de bathymétrie entre Sidi Amar et Bou Aroua (figure 4a). Lors de l'agrandissement de la section, des champs tourbillonnaires se forment. Plus à l'aval de la vallée (figure 4b et 4c), le brusque changement de direction ainsi que le rétrécissement de la vallée vont engendrer une accumulation d'eau à cet endroit. Les hauteurs d'eau deviennent alors plus importantes que lors du passage de l'onde de rupture.

La figure 3 présente les résultats de calcul (hauteur d'eau et vitesse scalaire) pour différents coefficients de diffusion (0.01, 0.1, 1, 10 m^2/s) et un coefficient de Strickler de 30 au point 4. Afin de voir l'influence de la diffusion turbulente ainsi que du coefficient de frottement sur le fond sur la dynamique de l'onde de rupture, les différents cas de figures sont comparés sur six points de sondage

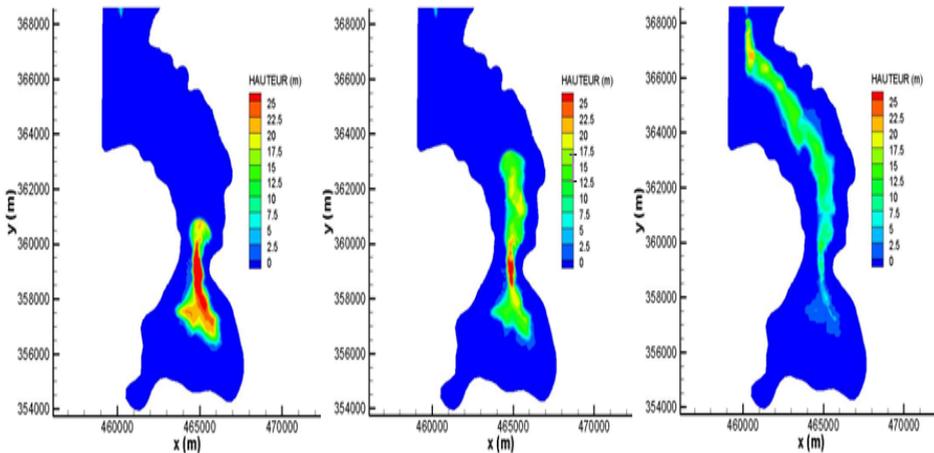


Fig. 3 Evolution de l'onde rupture à : $t=100$ s, 275 s et 850 s ; $Str=30$

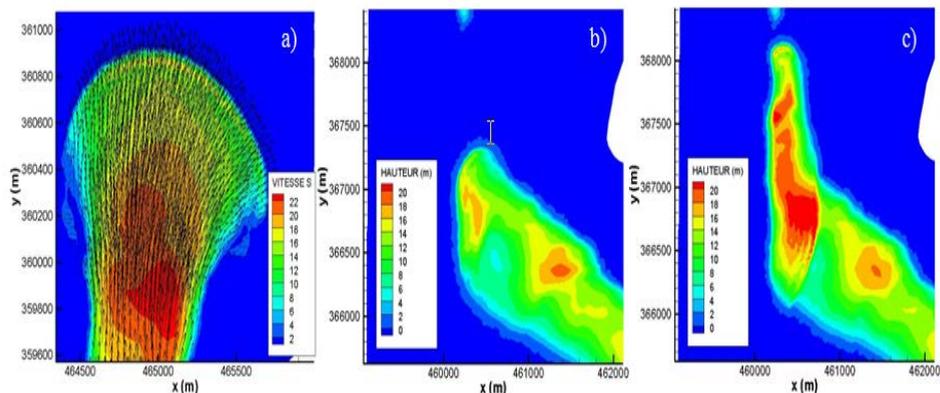


Fig. 4 Zoom sur le front d'onde: champs des vitesses et recirculations à $t=100s$ (a), phénomène d'accumulation à l'aval entre les temps $t=775 s$ (b) et $850 s$ (c).

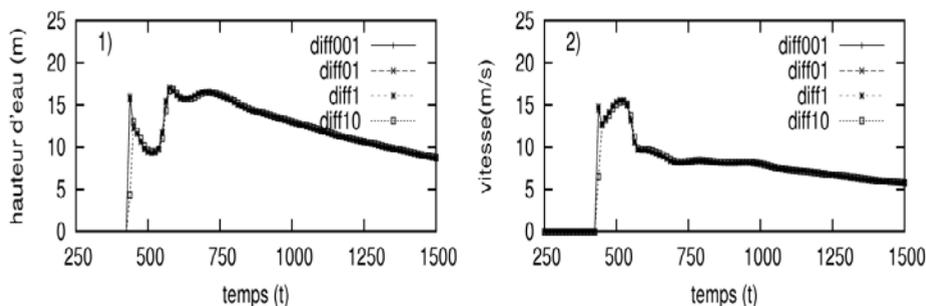


Fig. 5 Variation temporelle de la hauteur d'eau et de la vitesse scalaire au point 4

La figure 6 présente les hauteurs d'eau pour les six points de sondage pour une diffusion turbulente de $1 \text{ m}^2/\text{s}$ et différents coefficients de Strickler (20, 25, 30, 35, 40). Il en ressort que le coefficient de frottement a un impact important tandis que le coefficient de diffusion est peu influant. Ceci est en accord avec Hervouet (2000). A l'amont de la vallée, les différences sur les hauteurs et sur les temps de passage pour différents Strickler sont faibles. Plus à l'aval, ces différences deviennent importantes.

Le tableau 1 donne les ordres de grandeurs des hauteurs d'eau maximales, vitesse maximale, et temps de passage, pour les différents Strickler au niveau des six points de sondages.

Les vitesses sont fortement influencées par le frottement sur le fond, et ce, tout du long de la vallée.

La figure 7 présente les limites de zones inondables ainsi que l'intensité des vitesses maximales sur tout le domaine pour un coefficient de Strickler de 30 et un coefficient de diffusion turbulente de 1 m²/s. Cette carte rassemble les informations nécessaires à l'établissement d'un plan particulier d'intervention. Marche (2003) définit les classes et les dangers particuliers sur le critère de l'intensité de submersion (égal au produit de la hauteur d'eau par la vitesse).

Tableau 1 . Intervalles des valeurs des hauteurs maximales, vitesses maximales et temps de passage aux six points de sondages.

Points de sondage	1	2	3	4	5	6
Hauteur max. (m)	60	22-25	17-18	16-18	15	20-26
Vitesse max (m/s)	13-18	17-24	10-16	11-20	11-18	12-17
Temps de passage. (s)	0	62.5	250-275	412-512	575-750	725-1012

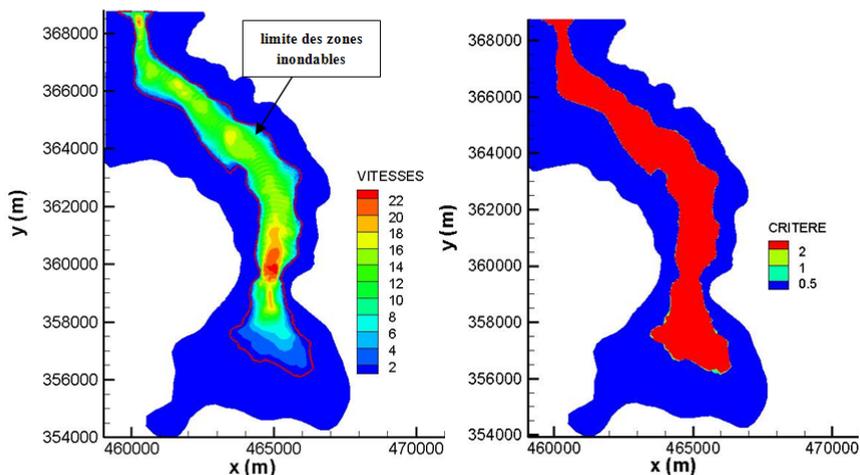


Fig. 6 Variation de la hauteur d'eau aux points de sondage pour différent nombre de Strickler : 20, 25, 30, 35 et 40

Dans les simulations réalisées, les zones inondées présentent de très fortes vitesses et dépassent largement la valeur seuil pour laquelle le danger est élevé, le seuil est fixé à 2m²/s. Ce qui implique la destruction des

bâtiments et très certainement un bouleversement de bathymétrie de la vallée.

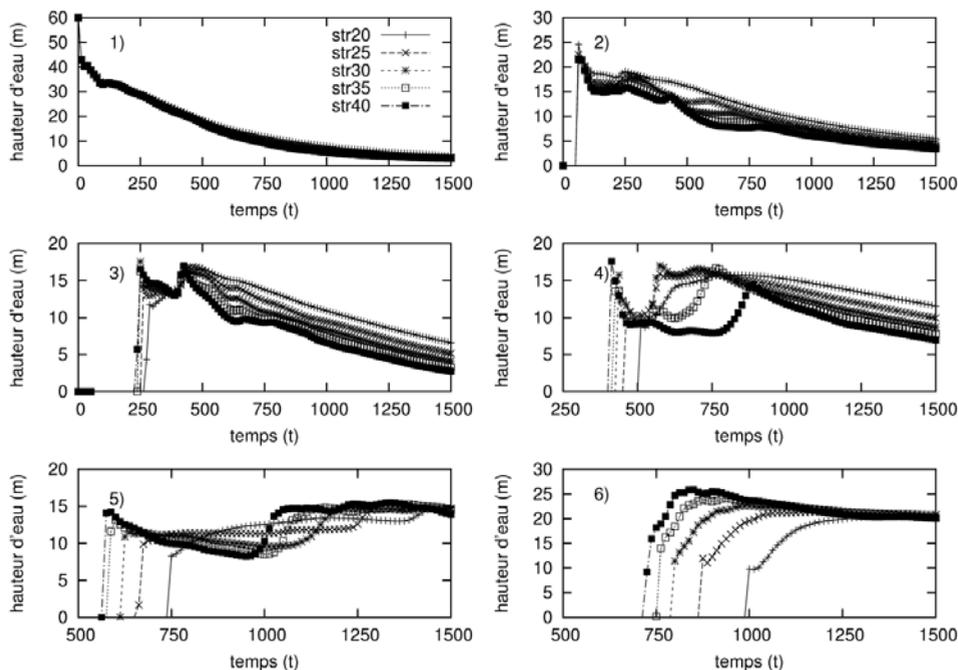


Fig. 7 Contour des zones inondables et vitesses maximales sur tout le domaine de calcul et critère de marche sur le domaine

CONCLUSION

Dans cet article, la modélisation numérique bidimensionnelle de la rupture totale et instantanée du barrage de Boukerdane a été présentée. Les résultats obtenus ont permis d'aboutir à une carte des zones inondables et des vitesses maximales sur le domaine de calcul. Les résultats montrent que l'onde de rupture, dans ce scénario, est très destructrice selon les critères de Marche. Les temps de simulation sont tout à fait acceptables sur les machines actuelles même avec un maillage très fin. D'autres situations sont assignés dans les travaux en cours d'étude, il s'agit d'examiner le cas d'une rupture partielle du barrage, ou avec d'autres conditions liées au volume d'eau disponible, la turbidité de l'eau de la retenue ainsi que la morphologie de la vallée à l'aval du barrage.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier l'ensemble de l'équipe du Laboratoire Universitaire des Sciences Appliquées de Cherbourg (LUSAC) pour sa disponibilité à la réalisation de ce travail.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdul A. K., (2000) *Modeling flow over an initially dry bed*, Journal of Hydraulic Research, vol. 38, N°5, pp 383-388.
- Hervouet J.M. & Petitjean A. (1999) *Malpasset dam-break revisited with two dimensional computations*. Journal of Hydraulic Research, vol.37, N°6, pp 777-788.
- Hervouet J.M. (2000) *The TELEMAC modelling System*. Wiley interscience, HYPERE3 14 (13), pp. 2207-2364.
- Hervouet J.M. (2007) *Hydrodynamics of Free Surface Flows. Modelling with finite element method*. John Wiley & Sons Ltd. pp. 23-57
- Marche C. (2003) *Barrages-crués de rupture et protection civile*, Presses Internationales Polytechnique, Québec, 448 p.
- Paquier A. (1995) *Modélisation et simulation de la propagation de l'onde de rupture de barrage*. Thèse de doctorat, Univ. Jean Monnet.Saint-Etienne, 215 p.
- Salhi L. (2010). *Modélisation numérique de l'onde de rupture d'un barrage via la méthode des éléments finis*, mémoire de magister, Ecole Nationale Polytechnique (ENP), Alger, 108 p.
- Shi Y. (2006) *Résolution numérique des équations de Saint-Venant par la technique de projection en utilisant une méthode des volumes finis dans un maillage non structure*. Thèse de doctorat. Univ. Caen. Basse Normandie. 258 p.
- Tawatchai T. & Winyu R., (1999) *2-D Modelling of Dam break Wave Propagation on Initially Dry Bed*. Journal Science Technology.vol.4, N°3, pp. 28-37.
- Valiani A., Caleffi V. & Zanni A. (2002). *Malpasset Dam Break Simulation using a two dimensional finite volume method*. ASCE Journal of Hydraulic Engineering, vol.128, N°5, pp. 460-472.

&&&