

TESTS DE SIMULATIONS DES CRUES ÉCLAIR DANS LE BASSIN VERSANT DE LA MEDJERDA (TUNISIE)

A. Soualmia et M. Gharbi

Laboratoire sciences et techniques de l'eau (LSTE), institut national agronomique de Tunisie,
43, Avenue Charles Nicolle, 1082 Tunis, Tunisie
amel.soualmia@ipeim.rnu.tn

(Received 8 October 2012 - Accepted 13 June 2013)

RÉSUMÉ

Pour faire face aux problèmes d'inondations qui se posent sérieusement dans le bassin versant de la Medjerda, plusieurs études de prévision des crues ont été réalisées. Le traitement passe par une meilleure connaissance du phénomène (crue), et exige le recours à des méthodes de prévision. La résolution numérique peut répondre à ces exigences grâce au développement de nouvelles méthodes numériques. Le présent travail concerne une étude comparative de différents modèles qu'on a appliqués à l'oued Medjerda (en Tunisie). En effet, on a testé en premier lieu des modèles hydrologiques (HEC-HMS et MARINE) pour contrôler le comportement du bassin versant suite à une averse, en termes de transfert de débit à l'exutoire, puis en second lieu des modèles hydrauliques (HEC-RAS, MIKE), afin d'obtenir une première visualisation de l'étendue de la crue. Ces modèles ont été calibrés avec les données de la crue d'avril 2009. La performance de chaque modèle a été évaluée par le critère de Nash et des résultats satisfaisants ont été obtenus.

Mots-clés: écoulement à surface libre, hydraulique, hydrologie, crue éclair

ABSTRACT

To cope with the serious problems of floods in Medjerda watershed, several studies for flood forecasting have been carried out. The solution requires a better understanding of the phenomenon (flood), and requires the use of forecasting methods. Development of new numerical methods provides an answer to these requirements. This is a comparative study of different models that have been applied to the Medjerda River (Tunisia). In fact, the hydrological models (HEC-HMS and MARINE) were tested to control the behavior of the area catchment following a rainstorm, in terms of flow transfer to the outlet. Second, testing of the hydraulic models (HEC-RAS, MIKE) was carried out in order to obtain a global visualization of the extent of flooding. These models were calibrated with data from the flood of April 2009. The performance of each model was evaluated by the Nash criterion and satisfactory results were obtained.

Keywords: open channel flow, hydraulic, hydrology, flash flood

INTRODUCTION

Les crues éclair sont difficilement prévisibles. Elles font suite à de violentes pluies localisées, dont l'évolution est soudaine et de courte durée, et dont les impacts humains et socio-économiques sont lourds de conséquences (Estupina Borrell, 2004). La Tunisie, comme tous les pays du pourtour méditerranéen, n'échappe pas à ces problèmes d'inondation, qui peuvent menacer dramatiquement la vie et l'existence (Braud *et al.*, 2010). Afin de limiter ce risque, il est nécessaire de bien cerner les différents scénarios d'inondation et de voir leurs conséquences sur les champs (Estupina Borrell *et al.*, 2005).

Le bassin versant de la Medjerda est de plus en plus exposé aux inondations. Ses crues spectaculaires en 1973 et 2003 et récemment les inondations de février 2012 restent gravées dans la mémoire. Elles sont lourdes de conséquences. En mars 1973, la rivière a charrié en quelques jours 940 millions de mètres cubes d'eau. Les crues de janvier 2003 ont enregistré 1,222 millions de mètres cubes en quelques semaines.

L'objectif de ce travail est la prévision des crues éclair en se basant sur des modèles qui essaient de prédire et de contrôler les crues, afin d'aider ensuite à l'élaboration d'un plan de prévention des risques aux inondations. Deux types de modèles sont testés sur un tronçon de la Medjerda où des données sont disponibles (région de Boussalem). En premier lieu, sont considérés des modèles hydrologiques (HEC-HMS 1D et MARINE 2D), et en second lieu des modèles hydrauliques (HEC-RAS 1D, MIKE 11 et MIKE 21). Les résultats obtenus par les différentes simulations sont ensuite comparés.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

L'oued Medjerda est le plus important de la Tunisie. Il prend sa source en Algérie puis coule vers l'Est avant de se jeter dans la mer Méditerranée. Le cours principal parcourt 485 km ; c'est le seul oued permanent du pays (Rodier *et al.*, 1981). Son bassin versant est à l'origine de contributions à la production nationale de denrées alimentaires. Sa vallée est la partie la mieux cultivée et la plus fertile. Au cours des dix dernières décennies, la Medjerda a connu plusieurs crues importantes : 1973, 2003, 2009 (Fdhila, 2006; Gharbi & Soualmia, 2012; Talbi & Soualmia, 2012) et plus récemment février 2012 (Gharbi & Soualmia, 2013). En fait, les crues sur la Medjerda sont généralement une combinaison de plusieurs crues des sous-bassins. Il est assez rare d'avoir un ruissellement généralisé sur tout le bassin.

Contrairement à ce que l'on pense, d'importantes inondations peuvent se produire au cours de n'importe quel mois de l'automne et du printemps. Ceci peut aussi résulter de débits avec des pointes élevées en provenance d'Algérie, et d'écoulements provenant des affluents de la rive droite.

Afin de répondre à cette problématique, il est nécessaire de bien cerner les différents scénarios d'inondations, et de voir leurs conséquences sur les champs. La zone d'étude retenue est la région de Boussalem, ville située dans la haute vallée de la Medjerda, comprise entre la confluence des deux affluents Gardimaou et Mellègue jusqu'à la station de Boussalem.

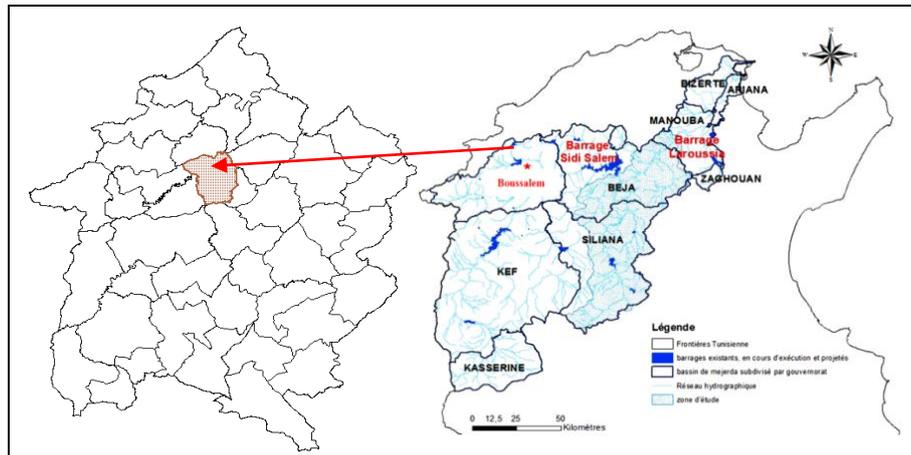


Figure 1. Localisation du Bassin Versant de la Medjerda (Gharbi, 2011).

La région de Boussalem est parcourue par le cours principal sur une longueur de 53 km. Ce tronçon est alimenté par deux affluents, Oued Bouhertma au niveau de la rive gauche et Oued Tessa au niveau de la rive droite (Figure 1). Le réseau hydrographique correspondant présente une multitude de méandres sur un relief plat où la variation de la pente est très faible. Le pont de Boussalem est retenu comme étant l'exutoire du bassin versant, puisque des observations de débits et des hauteurs d'eau y étaient disponibles.

Il est maintenant possible de simuler des phénomènes hydrologiques très complexes. Néanmoins, il reste encore des cas où les progrès sont insuffisants. L'objectif principal de ce travail est de développer une méthodologie opérationnelle et robuste pour la prévision des crues éclair. Pour ce faire, des tests de simulations ont été effectués en premier lieu par des modèles hydrologiques, avec les logiciels HEC-HMS et MARINE (modélisation de l'anticipation du ruissellement et des inondations pour des événements extrêmes) (Estupina, 2004). Ces modèles calculent les débits à partir des précipitations, en prenant en compte l'ensemble des caractéristiques physiques des bassins versants ainsi que leurs variations dans le temps et dans l'espace, tandis que pour la partie ruissellement, ils peuvent aussi utiliser des solutions simplifiées des équations de Saint-Venant (comme le modèle de l'onde cinématique). En second lieu, d'autres simulations ont été réalisées par des modèles hydrauliques basés sur la résolution des équations de Saint-Venant, avec les logiciels HEC-RAS et MIKE.

En ce qui concerne la mise en œuvre des différents logiciels cités ci-dessus, on a besoin de plusieurs types de données, notamment des données hydrauliques. En fait, on dispose des mesures horaires de débit et des hauteurs d'eau correspondantes, ainsi que des courbes de tarage au niveau de 4 stations météorologiques (station Jendouba, station Tessa, station Bouhertma et station Boussalem) situées au niveau du bassin versant de la haute vallée de la Medjerda.

Les phénomènes d'interception (écoulement de subsurface ou hypodermique) et d'évapotranspiration sont négligés dans la modélisation. Les données de pluies ne sont pas spatialisées. On dispose de 7 pluviomètres répartis sur le bassin versant. La variabilité spatiale des cellules convectives responsables des averses n'apparaît pas sur les données. Dans ce premier travail, on a utilisé des pluviographes répartis sur le bassin suivant la méthode de Thiessen. Celle-ci est conçue pour la création de cartes pluviométriques, à partir de données pluviométriques des précipitations. Cette méthode est basée sur le fait que, l'intensité de la pluie en un point donné du bassin est mieux représentée par les stations pluviométriques les plus proches (Figure 2).

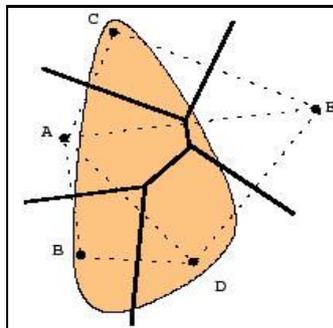


Figure 2. Répartition des précipitations: méthode de Thiessen (Laborde & Antipolis, 2000).

La précipitation moyenne pondérée P_{moy} pour le bassin, se calcule alors en effectuant la somme des précipitations P_i de chaque station (A, B, C, D et E), multipliées par leur facteur de pondération (aire S_i), le tout divisé par la surface totale S du bassin :

$$P_{moy} = \frac{\sum S_i P_i}{S} \quad (1)$$

- P_{moy} : précipitation moyenne sur le bassin,
- S : aire totale du bassin ($=\sum S_i$),
- P_i : précipitation enregistrée à la station i ,
- S_i : superficie du polygone associée à la station i .

Par ailleurs, on dispose aussi de données topographiques (telles que des profils en travers, cartes des pentes, modèle numérique de terrain (MNT), ...) issues de la campagne topographique 2007, réalisée en collaboration avec le ministère de l'agriculture et des ressources hydrauliques en Tunisie.

Pour la zone d'étude considérée, on dispose de 121 profils en travers distant en moyenne de 500 m, décrivant la géométrie de la rivière. En outre, plusieurs données ont été recueillies afin de procéder à la construction d'une représentation numérique de terrain MNT en termes d'altitude, en se basant sur l'assemblage de cartes topographiques 1/25000 (Figure 3).

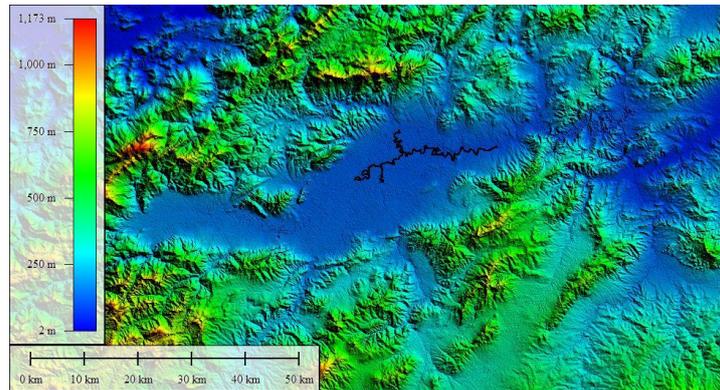


Figure 3. Modèle numérique du terrain de la haute vallée de la Medjerda (1/25000) (Gharbi, 2011).

En ce qui concerne le calage des modèles, on a choisi la crue survenue en avril 2009. Le but principal est le calcul du débit et de la hauteur d'eau à l'exutoire du bassin versant considéré.

Modèles hydrologiques

Appelés aussi modèles pluie-débit, ils permettent de transformer des séries décrivant les conditions météorologiques d'un bassin versant (précipitations, humidité du sol, etc...) en une série de débits. Cette transformation de la pluie en hydrogramme de crue se traduit par l'application successive de deux fonctions. Une première fonction de production permet de déterminer le hyétogramme de pluie nette à partir de la pluie brute. Une deuxième fonction de transfert permet, quant à elle, de déterminer l'hydrogramme de crue résultant de la pluie nette (Gharbi & Soualmia, 2012). Ces modèles admettent en entrée une donnée unique qui est la pluie moyenne pondérée, tombant sur le bassin pendant un intervalle de temps choisi, et en sortie les débits arrivant à l'exutoire du bassin versant.

Le choix des logiciels s'est orienté vers le code unidimensionnel HEC-HMS et le code bidimensionnel MARINE. Pour la mise en œuvre de ces codes, on a fixé les méthodes de calcul de différents paramètres mis en jeu. En effet, pour la modélisation des pertes par infiltration, on a choisi le modèle de Green-Ampt, basé sur les équations de Richard provenant de la loi de Darcy et sur l'équation de conservation de la masse. C'est l'une des méthodes les plus utilisées, puisque les paramètres peuvent être estimés directement à partir d'une analyse des sols. Pour la modélisation du ruissellement, on a utilisé la méthode des hydrogrammes unitaires « Unit Hydrograph » (Berterreche & Champredonde, 2007). Cette méthode est basée sur la linéarité de la transformation pluie-débit. Enfin, pour la modélisation de la propagation du débit dans la rivière, on a opté pour la méthode de Muskingum-Cunge. Le choix de cette méthode est justifié par le fait que ce modèle tient compte de la complexité des géométries des rivières (Musy, 2005).

Modèles hydrauliques

Les modèles hydrauliques (ou modèles de propagation de débit amont-aval) sont basés sur la résolution des équations de Saint-Venant. Les logiciels MIKE et HEC-RAS, utilisent et résolvent ces équations par la méthode des différences finies. D'autres variantes de ces modèles reposent sur des simplifications des équations de Saint-Venant, telle que l'onde cinématique et l'onde diffusive. Ils sont adaptés pour certaines rivières ayant peu d'apport intermédiaire. Ce sont des outils d'étude pour la construction et l'exploitation des aménagements fluviaux. Ils permettent l'analyse de l'évolution morphologique d'un cours d'eau, la correction des rivières, la mise au point de consignes de crue et de régulation des plans d'eau des retenues de barrages.

En outre, l'écoulement d'une rivière en crue a été décrit pour la première fois par Saint-Venant en 1871, en se basant sur des équations obtenues par intégration des équations de Navier Stokes (moyennées ponctuellement). En fait, le passage de Navier-Stokes (3D) à Saint-Venant (2D) se fait en se basant sur l'hypothèse de vitesses verticales faibles, et ainsi les variables peuvent être intégrées verticalement (Roche *et al.*, 2012). Pour les équations de Saint-Venant en bief simple (1D), on fait l'hypothèse d'une dimension privilégiée (suivant la longueur du bief) et d'un écoulement lentement varié, et ainsi, l'intégration des équations (3D) s'effectue sur les sections transversales.

On utilise la vitesse moyenne V et le débit $Q=SV$. Les équations de Saint-Venant (1D) peuvent s'écrire alors :

- L'équation de continuité

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

S : section mouillée

Q : débit

- L'équation de la dynamique

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial H}{\partial x} = g(I - J) \quad (3)$$

V : vitesse moyenne

H : tirant d'eau

I : pente longitudinale

J : perte de charge linéaire

g : accélération de la pesanteur

Enfin, la résolution des équations de Saint-Venant peut être faite par différences finies (MIKE et HEC-RAS), ou par éléments finis, comme TELEMAC 2D, ou par volumes finis (TOPMODEL, MAGE). Les besoins en temps de calcul peuvent être importants (Hazzab *et al.*, 2005), de ce fait, plusieurs essais de simplification peuvent être traités.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

En fait, comme on l'a signalé auparavant, le choix s'est porté sur le cours d'eau traversant la région de Boussalem. Le choix de cette zone d'étude est justifié par le fait que plusieurs crues éclair ont eu lieu récemment dans cette région, en particulier la crue d'avril 2009. On présente dans ce qui suit, une analyse des résultats des tests de simulation réalisés par les différents logiciels, en comparant leurs résultats.

Modèles hydrologiques

La simulation du débit à l'exutoire d'un bassin versant est importante pour de nombreuses applications d'ingénierie et de gestion de la ressource en eau, telle que la prévision des crues. La Figure 4 présente l'hyétogramme et l'hydrogramme à l'entrée du bassin versant, suite à la crue d'avril 2009 au niveau de la haute vallée de la Medjerda.

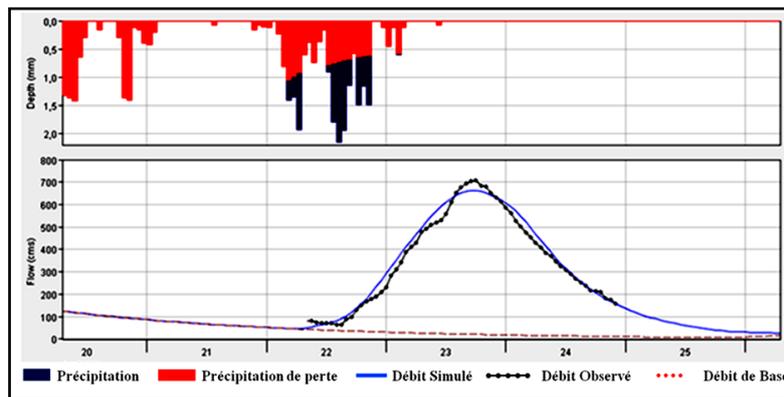


Figure 4. Hyétogramme et hydrogramme par HEC-HMS à l'entrée du réseau hydrographique « station de Jendouba », crue 2009.

Les résultats des simulations effectuées par HEC-HMS représentent le résultat d'une combinaison de plusieurs modèles mis en jeu (à titre d'exemple, un modèle pour la quantification des précipitations, un modèle pour le calcul de l'infiltration et la lame d'eau ruisselée ...).

La Figure ci-dessus renseigne sur les précipitations d'entrée ainsi que l'infiltration et le débit de base qui représente la quantité de pluie nette participant à l'apparition de l'hydrogramme de crue. Le débit de pointe mesuré à l'entrée du réseau lors de cette crue est de l'ordre de $707 \text{ m}^3/\text{s}$. On remarque que HEC-HMS a bien reproduit ce débit de pointe avec un faible décalage, qui peut être expliqué par le fait que l'onde simulée arrive légèrement avant l'onde enregistrée (de l'ordre de moins d'une heure). Ceci peut être dû dans le logiciel à une sous-estimation de la vitesse d'infiltration.

D'autre part, et dans le but de choisir le modèle hydrologique le plus adéquat pour l'étude du fonctionnement hydrologique du bassin versant de la Medjerda, on a procédé à une étude comparative des résultats obtenus par les logiciels HEC-HMS 1D et MARINE 2D, pour la crue d'avril 2009, au niveau de l'exutoire du bassin versant «Pont de Boussalem», l'hydrogramme observé présente deux pics successifs. Cette caractéristique est apparue intéressante et plus complexe qu'un simple pic de crue. En effet, un tel évènement permettra de mieux modéliser la réalité, sans omettre des processus hydrologiques pouvant être masqués par un seul pic de crue.

Les résultats des simulations obtenues représentent la réponse du bassin versant de Boussalem aux précipitations d'avril 2009, en termes de débit à l'exutoire (Figure 5).

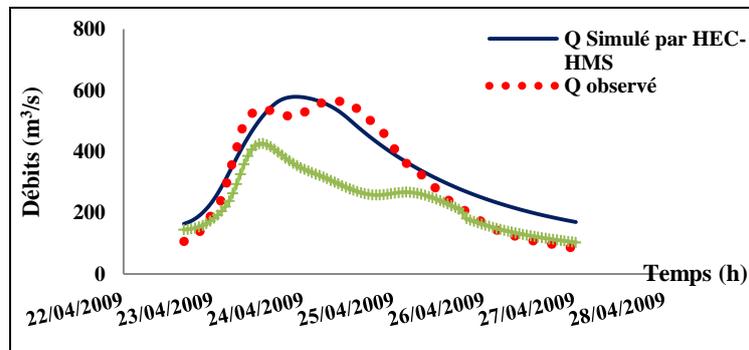


Figure 5. Simulations de la crue 2009, par HEC-HMS et MARINE « station de Boussalem ».

Pour mieux visualiser la corrélation entre les valeurs observées et les valeurs simulées, on a opté pour deux critères d'évaluation des hydrogrammes :

- Le critère de Nash

$$\text{Nash} = 1 - \frac{\sum (Q_{\text{simulé}} - Q_{\text{observé}})^2}{\sum (\overline{Q} - Q_{\text{observé}})^2} \quad (4)$$

\overline{Q} : débit moyen

Ce critère permet de juger de l'importance de la différence entre valeurs observées et simulées. Il est compris entre $-\infty$ et 1, une valeur unité correspond a une corrélation parfaite entre les valeurs observées et simulées.

- Le bilan de volume

$$\text{Bilande volume} = \frac{\sum Q_{\text{simulé}} \times dt}{\sum Q_{\text{observé}} \times dt} \quad (5)$$

Ce volume représente la quantité d'eau qui s'est écoulée lors de la crue durant l'intervalle de temps dt .

Le Tableau 1 ci-dessous regroupe les critères d'évaluation des hydrogrammes issus des deux simulations effectuées:

TABLEAU 1
Critères d'Évaluation des Hydrogrammes

| | MARINE | HEC-HMS |
|-----------------|--------|---------|
| Critère De Nash | 0,058 | 0,828 |
| Bilan Volume | 0,73 | 1,09 |

HEC-HMS donne des résultats plus acceptables que MARINE en termes de critère de Nash (une valeur de 0,82 qui est proche de 1), ainsi qu'une bonne estimation du bilan d'eau (de l'ordre de 1,09).

Mais il est important de remarquer que MARINE arrive à reproduire les deux pics de l'hydrogramme, avec une bonne définition du premier pic de crue, mais aussi avec un second pic simulé apparaissant bien en dessous de la valeur observée (Figure 5). Tandis que HEC-HMS n'arrive pas à reproduire les deux pics de l'hydrogramme de crue. Ceci peut s'expliquer par le fait que ce dernier logiciel est unidimensionnel et s'applique uniquement dans le cas de cours d'eau à faible pente.

Il est à noter que la simulation avec le code MARINE n'est que préliminaire. Les résultats pourront être plus précis, dans le cas où les données seront plus complètes, en particulier concernant les précipitations radar spatialisées, les cartes de profondeur des sols, l'humidité du sol, et les directions des pentes, *etc.* Ceci constitue les pistes explorées actuellement et qui vont être intégrées pour l'amélioration des prochaines études.

Modèles hydrauliques

Dans un second temps, et pour mieux contrôler le comportement de la ligne d'eau durant les périodes de crues, on a effectué des simulations avec des modèles hydrauliques (se basant sur les logiciels HEC-RAS, MIKE) sur le même tronçon de la Medjerda allant de la confluence Medjerda-Bouhertma jusqu'à la station de pont de Boussalem. On présente ici le profil en long de la ligne d'eau au niveau de la région de Boussalem, simulé avec le logiciel MIKE.

La Figure 6 renseigne sur le comportement de la ligne d'eau tout le long de la rivière. On constate qu'il y a eu débordement au droit du chaînage 60000 m correspondant à la ville de Boussalem, la hauteur maximale enregistrée est de l'ordre de 10,4 m.

Par analogie, on a réalisé aussi une étude comparative des hauteurs d'eau mesurées et celles simulées par les logiciels HEC-RAS et MIKE (Figure 7).

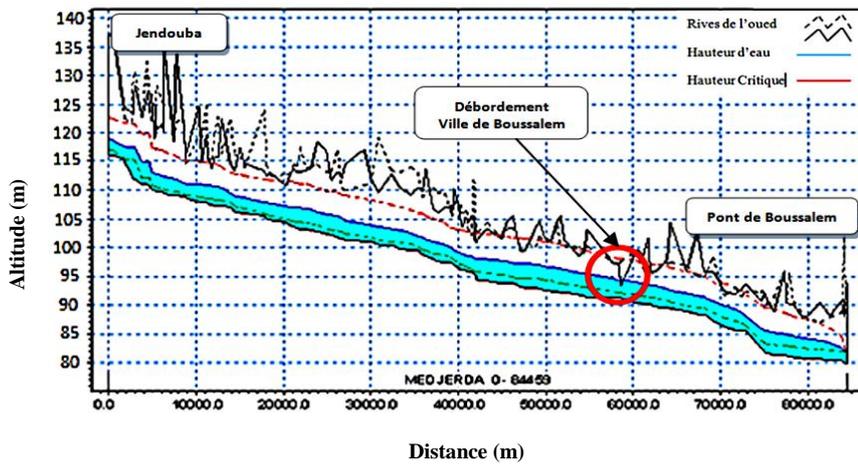


Figure 6. Profil en long de la ligne d'eau, crue 2009, à Boussalem.

Pour le calage de ces logiciels, on s'est basé sur les paramètres de calage, en particulier, la rugosité du fond et des berges représentée par le coefficient de Strickler (K_s).

Pour ce cas d'étude on a retenu $K_s=5$. Il est clair que cette valeur ($K_s=5$) est élevée, mais ceci est tout à fait acceptable, vu la composition des sols ainsi que la nature de la végétation existante au niveau de l'oued Medjerda conduisant à des rugosités importantes.

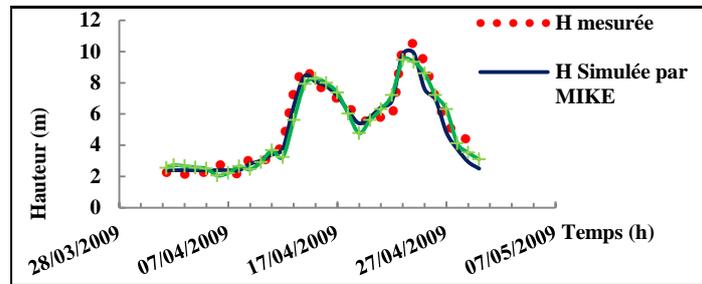


Figure 7. Comparaison des hauteurs d'eau mesurées et simulées par HEC-RAS et MIKE, crue 2009, Station de Boussalem.

Les hauteurs d'eau enregistrées varient entre une hauteur minimale de 2,5 m et une hauteur maximale de 10,5 m, ce qui a provoqué le débordement de l'oued au niveau de la région de Boussalem. Pour les résultats des tests de simulation réalisés par MIKE, la hauteur d'eau maximale observée est de 10,49 m alors que la hauteur d'eau simulée est de l'ordre de 9,91 m. On remarque que l'écart entre ces valeurs maximales observées et mesurées est

faible, de l'ordre de 0,5 m. D'autre part, concernant les résultats obtenus par HEC-RAS, on remarque que l'écart entre les hauteurs maximales est un peu plus élevé, de l'ordre de 1 m. Mais cet écart reste toujours acceptable. Ces résultats peuvent être améliorés si l'on dispose de données complémentaires.

CONCLUSION

À travers ces résultats, il apparaît clairement que les simulations effectuées par les différents modèles sont encourageantes. Elles montrent que la modélisation des rivières est complexe, demandant une bonne connaissance du terrain et des écoulements ; elle nécessite aussi la collecte d'une importante base de données spatio-temporelle multi-sources et multi-disciplines. D'autre part, la zone d'étude présente une autre contrainte de modélisation, puisque le réseau hydrographique correspondant montre plusieurs méandres, et la pente est très faible (terrain plat).

La présente étude a permis d'effectuer, en premier lieu, des tests de simulations par HEC-HMS et MARINE, dont le but était de contrôler la réponse hydrologique du bassin versant, en termes de transfert à l'exutoire de l'information débitmétrique. En second lieu, d'autres tests de simulation ont été réalisés par HEC-RAS et MIKE (modélisations hydrauliques) afin d'obtenir une première visualisation de l'étendue de la crue ainsi que la ligne d'eau. Les résultats issus des modèles hydrologiques montrent que les variations du débit simulé par les deux logiciels sont assez proches. En particulier HEC-HMS semble bien convenir à l'étude de réponse hydrologique simple et à des terrains de faible pente. Tandis que MARINE est plus conçu pour des bassins versant à forte pente, il exige plus de données en entrée. En ce qui concerne les modèles hydrauliques, on a constaté à partir de l'étude comparative réalisée, que les résultats enregistrés se situent dans la même fourchette de valeurs.

Enfin, on peut souligner que ces résultats acceptables peuvent être améliorés s'il est possible de disposer de données complémentaires, telles que les précipitations radar, les cartes de profondeur des sols, l'humidité du sol et les directions des pentes. C'est l'objet de la suite de ce travail.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Monsieur Denis Dartus (Professeur à l'INP de Toulouse et Responsable du groupe HYDROECO à l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse) pour sa collaboration, en nous transmettant le code MARINE qu'il avait développé, et pour ses aides et remarques pertinentes ; nous remercions également Monsieur Lucien Masbernat (Professeur à l'INP de Toulouse) pour ses discussions constructives.

RÉFÉRENCES

Berterreche, L., Champredonde, R. 2007. *Étude de la génération de crues rapides par la confrontation de deux logiciels*. Rapport « le Gardon à Générargues », hydrologie.

- Braud, I., Roux, H., Anquetin, S., Maubourguet, M.M., Manus, C., Viallet, P., Dartus, D. 2010. The use of distributed hydrological models for the Gard flash flood event: analysis of associated hydrological processes. *Journal of Hydrology, Special Issue Flash Floods*, 394(1–2): 162–181.
- Fadil, A., Rhinane, H., Kaoukaya, A., Kharchaf, Y. 2013. Comparaison de deux modèles hydrologiques sur une zone pilote du bassin versant de Bouregreg. *Proceedings of the 1st International Congress on G.I.S. & Land Management*, Casablanca, Morocco.
- Estupina Borrell, V., Chorda, J., Dartus, D. 2005. Prédiction des crues éclair. *Comptes-Rendus Géosciences*, 337(13): 1109-1119.
- Estupina Borrell, V. 2004. *Vers une modélisation hydrologique adaptée à la prévision opérationnelle des crues éclair – application à de petits bassins du Sud de la France*. Thèse INPT, Toulouse, 241 p.
- Fdhila, M. K. 2006. *Étude de la dynamique fluviale de la Medjerda en période de crue et élaboration des cartes d'inondation*. Mémoire de mastère, INAT, 119p.
- Gharbi, M., Soualmia, A. 2013. Prédiction des crues éclair au niveau du bassin versant de la Medjerda. 11ème congrès de mécanique, Agadir, Maroc.
- Gharbi, M., Soualmia, A. 2012. Simulation des crues éclair au niveau du bassin versant de la Medjerda (Boussalem). *3ème Forum de l'eau : vers une gestion participative des ressources en eau*, Djerba, Tunisie.
- Gharbi, M. 2011. *Simulations des crues éclair au niveau du bassin versant de la Medjerda (Boussalem)*. Mémoire de mastère, INAT, Tunisie.
- Hazzab, A., Atalla, M., Hafiane, M. 2005. Étude comparative des schémas d'éléments finis appliqués aux écoulements unidimensionnels à surface libre. *Larhyss Journal*, 4: 91-105.
- Laborde, J.P.L., Antipolis S. 2000. *Éléments d'hydrologie de surface*. Université de Nice - Sophia Antipolis, centre national de la recherche scientifique, équipe «gestion et valorisation de l'environnement».
- Musy, A. 2005. Cours «Hydrologie générale». Laboratoire d'hydrologie et aménagements (ISTE/HYDRAM), école polytechnique fédérale de Lausanne.
- Roche, P. A., Miquel, J., Gaume, E. 2012. *Hydrologie quantitative, processus, modèles et aide à la décision*. Préface de Marsily, membre de l'Académie des Sciences. Ingénierie et développement durable, Springer.
- Rodier, A.J., Colombani, J., Claude, J., Kallel, R. 1981. *Monographie hydrologique du bassin de la Medjerda*. ORSTOM, France.
- Talbi, S.H., Soualmia, A. 2012. Étude et modélisation de la propagation de l'onde de crue, Amélioration de modèle. *3ème forum de l'eau : vers une gestion participative des ressources en eau*, Djerba, Tunisie.