

Simulation numérique du risque d'inondation de l'ouvrage hydraulique de déviation à Saïdia (NORD EST DU MAROC).

A. GRARI¹, M. CHOURAK², F. BOUSHABA²

1. Department of Geology, University Mohamed Premier, faculty of sciences, Oujda, Morocco

2. Department of Mechanic and Applied Mathematics,
University Mohamed Premier, National School of Applied Sciences, Oujda, Morocco

Résumé

Dans ce papier on étudie l'impact des crues sur l'ouvrage hydraulique de protection contre les inondations aménagé à la ville littorale de Saïdia. Il s'agit d'un aménagement, constitué d'un fossé collectant les eaux des bassins versants ouest et évacuation à la limite Ouest de la ville vers l'Oued Moulouya. Dans ce présent travail, on utilise le logiciel Iber qui est basé sur un formalisme volume finis. Plusieurs scénarios de crues sont appliqués afin de montrer les défaillances et proposer des solutions ou des améliorations de l'ouvrage existant, permettant d'atténuer des dégâts occasionnées par les crues.

Mots clefs: *simulation, volume finis, crues, canal de déviation*

1. Introduction (12 gras)

La présente étude concerne la ville de Saïdia, localisée à l'extrême Nord-Est du Maroc, sur la Méditerranée. Elle est située en bordure de l'oued Kiss qui constitue la frontière Est avec l'Algérie. Ses coordonnées géographiques sont : 35°6' Latitude Nord, 2°15' Latitude Ouest [1].

La plaine de Saïdia, est parmi les 391 sites soumis à des risques d'inondation très forts à l'échelle nationale. (Plan national de protection contre les inondations, 2003) [2]. Les conditions d'accroissement du risque d'inondations sont liées à la morphologie du terrain, en effet le sol, partiellement ou totalement saturée en eau par une nappe souterraine superficielle, génèrera du ruissellement « par saturation ». Dans des cas bien particuliers, ces types de ruissellement peuvent se produire en même temps et produire subitement des inondations catastrophiques. En effet, cette plaine, appartenant au bassin subsident de Triffa, est caractérisée par une topographie très plane, et dont la surface est très proche de la nappe phréatique (Sadki, 1996 ; Melloul, 2007) [3]. De plus, sa situation enserrée d'une part entre deux oueds, le Kiss à l'Est et la

Moulouya à l'Ouest et d'autre part le plateau des Ouled Mansour au Sud, augmente considérablement les risques de crue brutale et d'inondation. Les aménagements urbains et touristiques non contrôlés et de plus en plus grandissants aggravent ces risques. (Mouzouri et al, 2011).



Plan de situation de la ville de Saïdia

Les études des écoulements à surface libres s'avèrent nécessaire, le contrôle de débit est de première nécessité pour la connaissance et la maîtrise de tels écoulements, elles permettent aussi de prévoir les dangers et les dégâts occasionnés par les inondations au niveau de certaines zones sensibles et aussi de remédier ou bien atténuer la gravité des crues, donc la bonne gestion et le bon contrôle des écoulements surfaciques permettent d'éviter ces catastrophes, et la détermination des grandeurs physiques telles que le débit et le niveau de la surface libre sont des données essentielles pour l'établissement de tout plan d'aménagement des cours d'eau. Le principal objectif du présent article est d'évaluer les risques induits par les tempêtes extrêmes sur un canal de déviation, utilisé dans le but de protéger la ville de Saïdia contre les submersions. Il s'agit d'un chenal de longueur 14km et largeur 11m, qui constitue l'exutoire de 9 sous bassins. Nous examinons principalement les impacts physiques de l'ouvrage et les solutions proposées pour l'améliorer.

Pour décrire les équations régissant la propagation des crues, le modèle de Saint-Venant des équations sera utilisé pour ces types d'écoulements, il est l'un des modèles les plus utilisés qui permette de décrire les écoulements surfaciques, il est établi à partir des lois de conservation de la masse et de quantité de mouvement en moyennant certaines hypothèses ; distribution hydrostatique de la pression et vitesse moyenne suivant la verticale.

Dans cet article, on utilise la méthode des volumes finis pour résoudre le modèle mathématique, qui se présente sous forme d'un système d'équations aux dérivées partielles. La méthode des volumes finis est une des techniques de discrétisation spatiale la plus répandue et fiable. Elle fut développée après les méthodes des différences finies et des éléments finis. Le principe de base de cette méthode repose sur l'intégration des équations aux dérivées partielles sur des cellules, dites « volumes de contrôle », produisant ainsi une solution faible du système. Contrairement à la méthode des différences finies où le domaine de calcul est généralement subdivisé en cellules rectangulaires, dans le cas de la méthode des volumes finis le maillage peut être quadrangulaire, triangulaire ou même hybride. Il peut être structuré ou non structuré, ce qui offre la possibilité à cette méthode de s'adapter aux géométries complexes.

2. Modèle mathématiques

Rappelons brièvement les bases du modèle hydrodynamiques bidimensionnel de Saint-Venant. Celui-ci peut être présenté sous forme conservative comme suit :

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial x} + \frac{\partial G}{\partial y} = R_s \quad (1.1)$$

Avec U vecteur inconnu, F et G vecteurs flux, R_s vecteur source qui traduit la différence entre la pente

du fond $S_{ox} = \frac{\partial Z}{\partial x}$ et $S_{oy} = \frac{\partial Z}{\partial y}$ où Z désigne la cote

Le modèle de Saint-Venant (1.1) est établi en appliquant les principes de conservations de la masse et de la quantité de mouvement moyennant certaines hypothèses :

1. Distribution hydrostatique de la pression, On note que cette l'hypothèse n'est plus valable dans des problèmes de fortes courbures des surfaces libres;
2. La vitesse est considérée constante selon la verticale ;
3. Fluide incompressible ;

Le système (1.1) est strictement hyperbolique. Les valeurs propres de la matrice Jacobiennne de la fonction flux sont données par :

$$\lambda_1 = u - \sqrt{gh} \quad , \quad \lambda_2 = u \quad , \quad \lambda_3 = u + \sqrt{gh}$$

$$\mu_1 = v - \sqrt{gh} \quad , \quad \mu_2 = v \quad , \quad \mu_3 = v + \sqrt{gh}$$

3. Méthode numérique

La résolution numérique du système d'équations (1.1) présente beaucoup de difficultés sur le plan numérique et fait encore objet de beaucoup de travaux récents. En effet, d'une part le caractère non linéaire de ce système combiné à son hyperbolicité exclut l'utilisation des techniques analytiques pour la plupart des problèmes pratiques, en plus, on peut aboutir à des solutions discontinues (sauts hydrauliques) même si la donnée initiale est régulière. D'autre part, la présence des termes sources raides provenant de l'irrégularité du fond du domaine, peut rendre inapproprié la plupart des schémas classiques existants. D'ailleurs, beaucoup d'articles ont été consacrés les dix dernières années à la construction de schémas vérifiant la propriété dite d'équilibre ou du lac ou repos pour les écoulements à surface libre avec topographie variable. On utilise le code de calcul IBER qui est s'avère robuste pour ce type de simulations.

3.1 Discrétisation Volumes Finis

On considère le modèle Saint-Venant 2D :

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial x} + \frac{\partial G}{\partial y} = S + R_d \quad (3.1)$$

Qui s'écrit sous la forme condensée suivante :

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \nabla F = S + R_d \quad (3.2)$$

Où

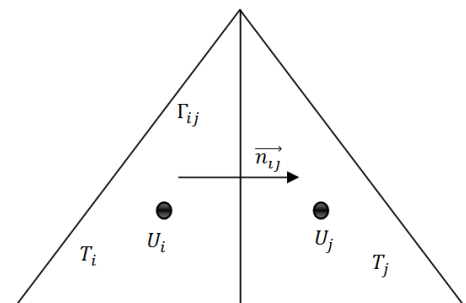
$$F(U, n) = F n_x + G n_y$$

Soit Ω le domaine de calcul. On discrétise Ω en cellules triangulaires :

$$\Omega = \bigcup_{i=1}^N T_i$$

Où les T_i sont les éléments de la triangulation et N le nombre de triangles qui constitue le domaine.

Nous considérons ici la formulation volumes finis « cell-centered » i.e les grandeurs physiques sont évaluées aux centres des cercles circonscrits aux triangles.



sortie de la chaâba Bel Arbi, Douar Ouled Bounouar à la sortie de la chaâba Sebba, Douar Ech Chebak à la sortie de l'oued Chebak ; l'exutoire de cette chaâba se fait vers l'oued Moulouya. La carte figure représente la délimitation des bassins versants drainant le canal sous forme de fosse objet de l'étude, le canal débouche vers l'oued Moulouya.

La formulation variationnelle du problème (3.2) s'écrit sous la forme suivante :

$$\int_{\Omega} \frac{\partial U}{\partial t} P_i d\Omega + \int_{\Omega} \nabla F P_i d\Omega = \int_{\Omega} s(U) P_i d\Omega + \int_{\Omega} R_d(U) P_i d\Omega \quad (3.3)$$

Les P_i ($1 \leq i \leq N$) sont les fonctions de forme. En volume finis, on utilise des fonctions de base constantes par élément, définies par :

$$P_i(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{si } (x, y) \in T_i \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

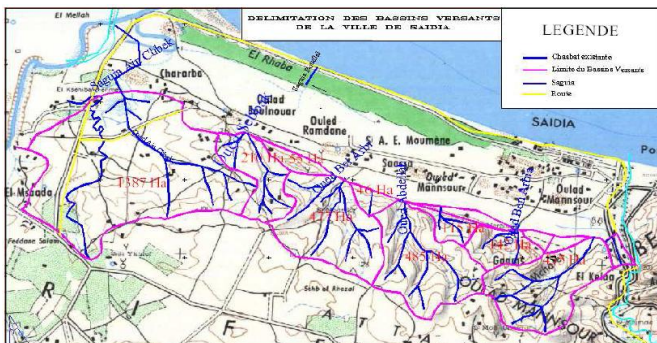
En appliquant le théorème de Green sur chaque volume de contrôle T_i , la formulation variationnelle (3.3) s'écrit :

$$A_i \frac{\partial U}{\partial t} + \sum_{j \in E(i)} \int_{\Gamma_{ij}} F(U, n) d\Gamma = \int_{\Gamma_{ij}} s(U) d\Omega = \int_{\Gamma_{ij}} R_d(U) d\Omega$$

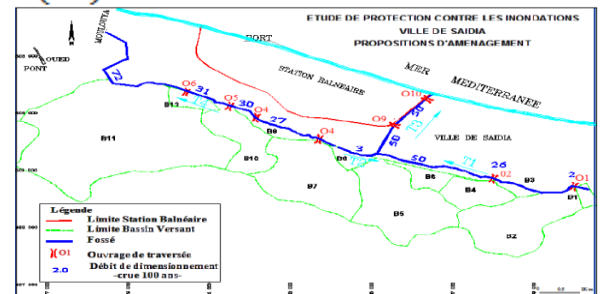
où A_i est l'aire du triangle T_i , n est le vecteur normal unitaire extérieur à la cellule T_i , $E(i)$ l'ensemble des triangles qui ont une arête en commun avec le triangle T_i et ij l'interface entre les triangles T_i et T_j

4. Application

La problématique des inondations de la ville de Saïdia est liée aux inondations provoquées en majeure partie aux débits générés par des petits oueds qui découpent la falaise des Ouleds Mansour. Les bassins versants qui dominent la ville du côté Sud, présentent de très fortes pentes et génèrent des débits et volumes qui provoquent fréquemment des inondations. La figure ci-dessous présente la délimitation des bassins versants de la ville de Saïdia[4].

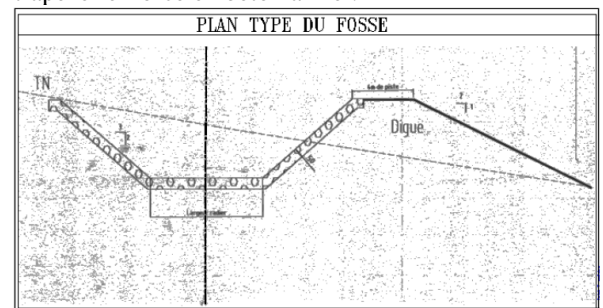


Le canal objet de cet étude draine les principaux oueds qui sont Est en Ouest: Oued Ben Arbia; Oued Abdellah; Oued Bel Arbi; Oued Sebba et Oued Chbak. Ces oueds ne montrent pas d'exutoires francs vers la mer et débouchent dans la vaste plaine côtière de Saïdia, très plate et de faible altitude par rapport à la mer. Ces dépressions constituent les zones principales de stagnation des eaux qui peuvent durer plusieurs mois. Dans les zones dépressionnaires, sont implantés plusieurs groupements d'habitats qui sont touchés par les inondations, on cite particulièrement, Douar Tfourga à l'Ouest de la plaine avec une superficie de la zone inondée, Douars Ajroud et plus à l'aval Ouled Mansour à la sortie de chaâba Ben Arbia, Douar Saassaa à la sortie de chaâba Abdellah. Douar Sidi A.E. Moumène à la

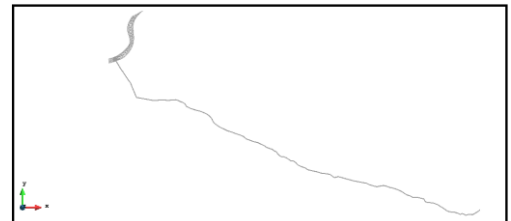


Le domaine d'étude est constitué par un fossé de longueur 14km et largeur 11m et une partie de Oued Moulouya.

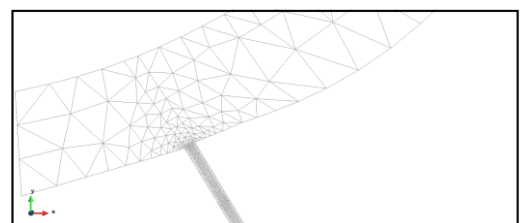
Le profil en travers du canal est sous forme de trapèze renforcé en béton armé :



Le maillage est de forme triangulaire non structuré, le nombre d'éléments xx et de nœuds x .



Le canal présente une longueur importante par rapport à la largeur, pour visualiser le type de maillage on zoome sur une partie de l'embouchure canal- Oued Moulouya voir figure 000



Conditions aux limites et scénarios envisagés

Les différents Oued et Chaiba alimentent le canal sont regroupés en cinq affluents de débit de crue et de période de retour 50 ans. Le tableau ci-dessous présente les débits de crues pour différentes période de retour.

Période de retour (ans)	Débit (m ³ /s)				
	Oued Ben Arbia	Oued Abdellah	Oued Bel Arbi	Oued Sebbak	Oued Chbak
10	5.2	16.3	12.8	7.9	20.3
20	6.3	20.6	16.1	9.9	26.3
50	7.6	25.5	10.7	12.7	33.1
100	8.3	29.6	22.7	14.1	37.6

Le schéma ci-dessous montre les conditions de limites concernant les entrées de débit de crue sur le contour du domaine. On impose des conditions de Neumann (sortie libre) à la sortie de Moulouya.

Schéma conditions de limites de debit//////////
//////////

Discussions des résultats :

On lance une simulation pour une durée de 12 heures, on utilise des débits de crues de période de retour de 50 ans. Ces débits de crues sont générés par les bassins versants qui dominent la ville du côté Sud, présentent de très fortes pentes.

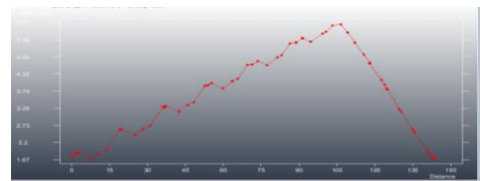
Pour illustrer l'écoulement de l'onde de crue, sur le canal artificiel, on a localisé trois zones voir figure ci-dessous. Les zones sélectionnées sont les plus favorables pour des débordements importants sur les rives du fossé. On note que la zone 2 qui est étalée sur une longueur de xxxxxxx, présente une lame d'eau d'environ 6m, la hauteur d'eau dépasse de loin la profondeur du fossé.



Zones critiques de débordements



On simule les champs de vitesses engendré par les débits de crues alimentant le chenal.



La vitesse dépasse 5m/s dans la zone 2. Cette vitesse est relativement importante, donc le cours d'eau transporte de grandes quantités de sédiments et de flottants (bois morts, etc.), ce qui se traduit par une forte érosion du lit et un dépôt des matières transportées.

La variante d'aménagement retenue en vue de la protection de la ville contre les Crues, qui est assurée par le fossé objet de l'étude, comprend une insuffisance en sécurité, le débit de crue surtout de période de retour 50 ans, crée des submersions et débordements au voisinage de la zone 2xxxxxx. On propose des élargissements en largeur et en profondeur, ou la confection de bassin de rétention et déviation.

Conclusion

La gestion de l'eau est devenue d'une actualité quotidienne, que se soit par rareté ou par excédent générés par les grandes crues. Dans ce contexte, on étudie l'influence de la propagation des crues cinquantennale, sur le chenal de protection de la ville de Saïdia. Cette ville touristique, qu'elle dispose de l'une des plages les plus longues du Maroc, caractérisée par son sable fin et doré, et son climat méditerranéen. Elle est désormais une destination très appréciée, au niveau international, d'où importance de cet étude. On montre que des débordements se produisent le long du canal surtout au voisinage des hauteurs d'eau dépassant 6m, provoquent des torrents surtout dans les zones caractérisés par de forte pente. On peut conclure que le fossé pluvial, pour la situation actuelle, sa capacité est négligeable par rapport aux débordements le long des rives.

Reference

- [1] Mouzouri et al, 2011.
- [2] R. J. LEVEQUE; “Finite volume methods for hyperbolic problems”, 2002.
- [3] M.Abdallah. “Sur les méthodes de discrétisation numérique de problèmes Hyperboliques non linéaires appliquées aux équations de Barré de Saint-Venant pour la modélisation de l’hydraulique en réseau d’assainissement”, Thèse 2005.
- [4] F.Boushaba, Résolution des équations de Saint-Venant par les éléments finis, DESA, 2005.
- [5] P. L. Roe. Approximate Riemann solvers, parameter vectors and difference schemes. Journal of Computational Physics, 43:357{372, 1981.