



Cit this: JOWSET, 2016 (01), N°01, 10-14

Hydrological simulation (Rainfall-Runoff) of Kalaya watershed (Tangier, Morocco) using Geo-spatial tools

I. Khaddor^{*1}, M. Achab ^{*2}, A. Hafidi Alaoui¹

^[1] Laboratory of Civil Engineering and Mechanical Faculty of Science and Technology, Tangier, Morocco

E-mail: ilias.khaddor@gmail.com / pr_alaoui@yahoo.fr

^[2] Geology and Remote sensing Laboratory, URAC46 Mohammed V University in Rabat, Scientific Institut, Morocco

E-mail: achab@israbat.ac.ma

* Correspondence: achab@israbat.ac.ma / ilias.khaddor@gmail.com

In this study, the hydrologic modeling software HEC-HMS coupled with geo-spatial tools such as GIS and remote sensing have been used to establish the hydrological model in Kalaya watersheds located southeast of Tangier city (northwestern Morocco). The purpose is to simulate rainfall-runoff process in Kalaya watershed and to predict peak discharge for different return periods. In this hydrological simulation, SCS Curve Number method was selected as an infiltration part of the HEC-HMS model and direct runoff was transformed by US SCS unit hydrograph (UH). This model has allowed to establish unit hydrograph and various meteorological and hydrological processes for the flood hydrograph, as well as the estimation of runoff for 200, 100, 50, 20, 10, and 5 years return periods.

Received: 20 June 2016

Accepted: 29 June 2016

Available online: 10 July 2016

Keywords:

Hydrological simulation
HEC-HMS Model
SCS-CN method
Peak discharge
Kalaya watershed
Morocco

Introduction

Les dégâts provoqués par les inondations ne cessent d'augmenter menaçant la population ainsi que les divers aspects socio-économiques, environnementaux [1]. De ce fait, la gestion des ressources en eau superficielles et souterraines se situe au centre des préoccupations de l'humanité et devient au demeurant un objectif principal dans les principaux programmes de développement socioéconomique. Le Modèle Numérique de Terrain (MNT) est très utiles dans la gestion de la recherche et des ressources en eau hydrologique. Cette utilité trouve son origine dans la pertinence des MNT dans la simulation des processus relatifs à d'importants écoulements d'eau comme le ruissellement de surface, à l'évaporation et à l'infiltration. Ils sont également utilisés en amont de la méthodologie pour produire de nombreuses informations à destination de la modélisation hydrologique et hydraulique du

bassin. Cela leur permet de définir avec une précision acceptable les limites des bassins versants [8-11].

La modélisation des crues nécessite l'estimation des volumes de crue et les prévisions des modèles distribués pour informer les décisions importantes pour le développement de stratégies de gestion et pour la réduction des dégâts des inondations, [2]. Pour cet effet, les modèles hydrologiques aident à la compréhension des phénomènes naturels tels que les crues subites et tentent de simuler les processus hydrologiques complexes qui conduisent à la transformation de la pluie en débit. Le logiciel *Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS, version 3.5) du Centre d'ingénierie Hydrologique - est un modèle couramment utilisé développé par l'*US Army Corps of Engineers* qui pourrait être utilisé pour de nombreuses simulations hydrologiques pour estimer la réponse hydrologique du bassin [4] et simule la relation entre les précipitations et le ruissellement dans un bassin versant. Le modèle HEC-HMS est parmi les modèles hydrologiques les plus

applicables dans le monde, il est considéré comme un système complet de modélisation hydrologique des bassins versants qui permet de simuler le comportement hydrologique d'un bassin versant suite à des événements pluvieux prédéterminés [3]. La transformation de la pluie-débit se fait à un instant de temps donné depuis l'introduction des précipitations brutes, et ce, afin d'obtenir le débit total de ruissellement à l'exutoire du bassin. Ce modèle a été choisi pour estimer et simuler l'écoulement dans les unités hydrologiques. Parmi les différents modèles fournis par HEC-HMS, la méthode développée par le « *Natural Service Ressources Conservation* » (NRCS) du Département de l'Agriculture des États-Unis (USDA) qui est l'une des méthodes les plus populaires pour estimer les taux de ruissellement de surface et de volume de pointe [5].

Situation de la zone d'étude

Géographiquement le bassin de Kalaya est situé dans la partie sud de la ville de Tanger au Nord-Ouest du Maroc (Fig.1 et Fig.2). La zone d'étude est située entre 35° 38' et 35° 44' de latitude nord et 5° 38' et 5° 47' de longitude Est. Il couvre une superficie de 37,3 km². La longueur de la rivière principale est de 20 km avec une altitude de 513 m au-dessus du niveau moyen de la mer et un maximum de pente de 35, 97°. La moyenne annuelle des précipitations de la région est de 720mm.

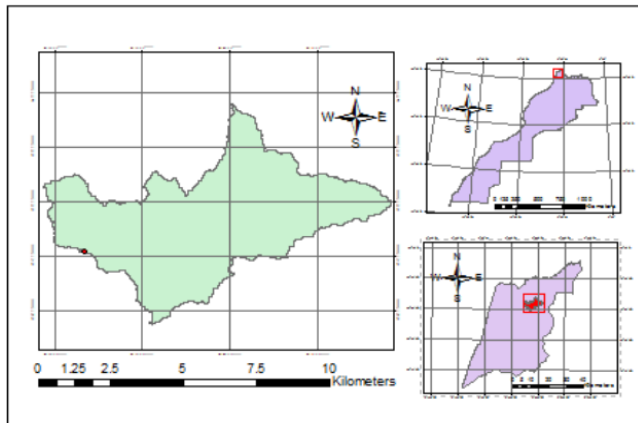


Fig. 1 : Localisation du bassin versant de KALAYA

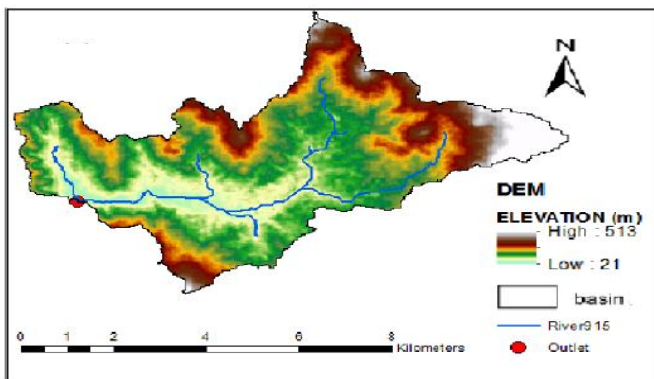


Fig. 2 : Modèle Numérique de Terrain du bassin de KALAYA

Matériel et méthodes

De nombreuses méthodes, de techniques et des logiciels ont été utilisés pour estimer le débit de pointe et le ruissellement comme la technique modèle release-55 (TR-55), la télédétection (RS), Système d'Information Géographique (SIG) et le modèle Hydrologique (HEC -HMS). Afin d'effectuer la modélisation pluie-débit, différents types d'informations sont nécessaires. Une partie de l'entrée du modèle peuvent être fournis par le traitement et l'analyse d'un modèle numérique de terrain (MNT ou DEM) de la zone d'étude. Dans notre cas le Modèle Numérique de Terrain type ASTER-DEM avec une précision de 30m a été utilisées pour délimiter la limite du bassin versant et pour extraire les caractéristiques morphologiques et physiques nécessaire pour le démarrage de la simulation hydrologique (limite du bassin, réseau hydrographique, géométrie du bassin, hiérarchisation des cours d'eau, profil en long...). L'image Spot (2,5 m) a été utilisée pour la génération de la carte de l'occupation des sols. La carte des sols et le groupe hydrologique des sols ont été préparés selon les caractéristiques du sol mentionnées dans la carte pédologique et géotechnique de Tanger ville. Le numéro de courbe (SCS-CN) pour le bassin versant de Kalaya est extrait de la texture du sol (Type de sols) et de données de l'occupation des sols qui affectent à la fois la capacité d'infiltration du sol [6]. La détermination du Numéro de Courbe a été mise œuvre en moyen de HEC-GeoHMS (ArcGIS 9.3 Version) et le logiciel Erdas. Les données annuelles maximales des précipitations de la station météorologique de Tanger ont été utilisées pour calculer les débits de pointe pour divers retour périodes en utilisant la méthode SCS-CN via le modèle HEC-HMS. La préparation des entrées pour la modélisation hydrologique sur HEC-HMS a été effectuée en utilisant l'extension GEO-HEC-HMS intégrée dans ArcGIS et qui permet la préparation de toutes les données, schémas et fichiers nécessaires au fonctionnement du modèle HEC-HMS. La version du logiciel utilisée dans ce travail est la version HEC-HMS 3.4 (Fig.3).

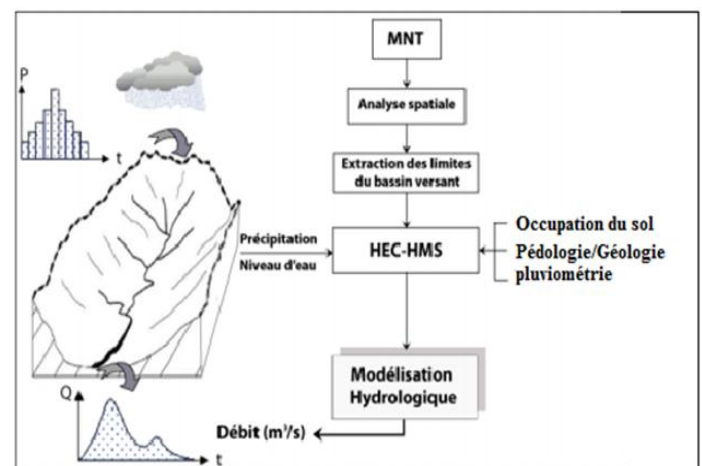


Fig. 3 : Procédures à la modélisation hydrologique

Résultats and discussion

La délimitation précise des frontières des bassins versants, le calcul de leurs caractéristiques physique et morphologique et l'extraction des réseaux hydrographiques sont des tâches essentielles dans la simulation hydrologique. Les données du sondage de la fin du 19^{ème} siècle ont été complétées par une haute résolution DEM moderne utilisée pour combler les lacunes dans les données historiques. Les données DEM ont été utilisées pour dériver des caractéristiques géomorphologiques et topographiques tels que la pente du terrain, altitude, courbes de niveaux, points cotés et le réseau hydrographique.

La technique de l'extraction du réseau hydrographique et des caractéristiques géomorphologiques à partir d'un MNT raster [7], s'appuie sur la détection des directions d'écoulement de l'eau à partir des valeurs altimétriques en chaque cellule de résolution ou pixel de l'MNT, partant de la condition que l'eau emprunte le chemin défini par la ligne de la plus grande pente. Ainsi les cellules se déversent les unes dans les autres en fonction de la pente locale.

La délimitation du bassin versant (Fig. 4) est suivie en exécutant les fonctions suivantes: Remplir, accumulation de flux, direction Flow, définition Stream, Stream Segmentation, Catchment Grille Délimitation, Catchment Polygon, ligne de drainage, traitement Adjoint Catchment et de point de drainage [12].

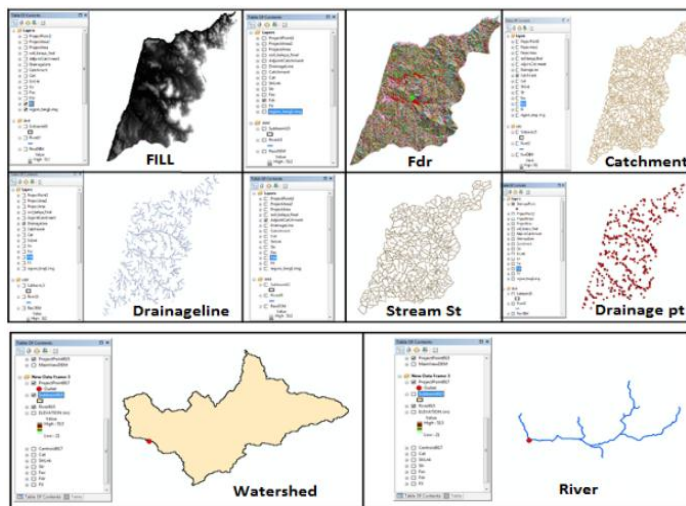


Fig. 4 : Procédures de la délimitation du bassin versant de KALAYA

Les caractéristiques et les paramètres du bassin (Tab.1) (ex. longueur et pente des rivières et du bassin, Cn, Lag Time, Initial abstraction, etc.) ont été exportés depuis le modèle de la rivière traité avec Hec-GeoHMS vers un fichier (.bassin) comprenant toutes les données à exploiter lors de l'étude hydrologique sous le modèle Hec-HMS.

Tab. 1 : Caractéristiques Hydrologique du bassin de kalaya extraites via HEC-GEOHMS

Curve Number	Initial Abstraction	Surface	Lag Time
82.07	7.46	37 (km ²)	121 min

Le paramètre clé du modèle SCS-CN est le numéro de courbe qui dépend de l'occupation des sols, groupe de sol hydrologique (HSG) et les antécédentes conditions d'humidité (AMC) [6]. Les entrées pour ce processus (occupation du sol et type de sol) sont sous forme de polygones (forme vectorielle). Ainsi, la table de consultation contenant les valeurs de CN pour chaque groupe hydrologique de sols sont primordiales pour identifier le pourcentage de l'imperméabilité. La carte de l'occupation des sols et la carte des groupes hydrologique des sols du bassin versant de Kalaya sont illustrées en dessous (Fig. 5) :

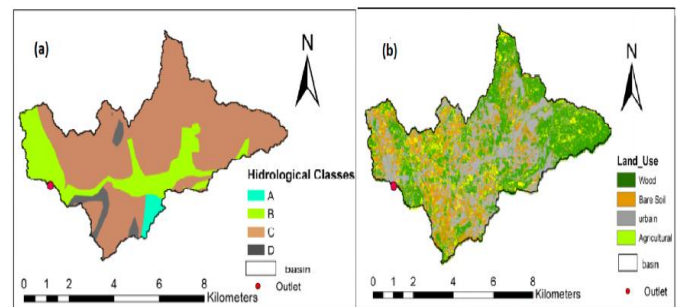


Fig.5 : (a) Classes hydrologiques des sols
(b) Occupation des sols

Afin d'affecter une valeur de CN pour chaque type d'occupation du sol et type des sols à tout endroit du bassin versant de Kalaya, il a fallu fusionner les deux tables « Land Use Layer » et du « Soil Layer ». La table résultante de ce fusionnement (CN look-up table) aura un champ « CN ». Une table de correspondance permet de faire le lien entre les deux tables d'origine et de peupler la colonne « CN » du CN Grid (Fig. 6).

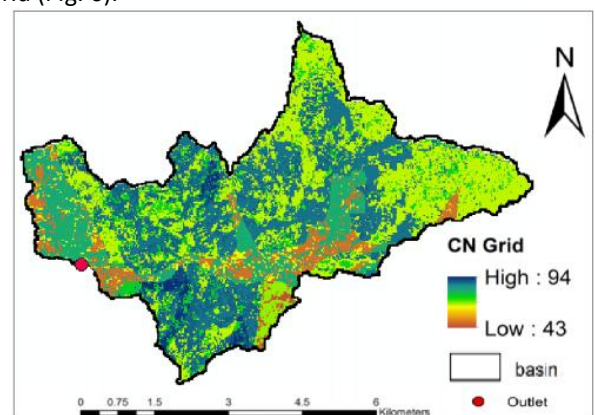


Fig. 6: La carte de Numéro de Courbe

Maintenant que le numéro de courbe (CN) moyen de la zone d'étude est déterminé, les données descriptives des bassins versant effectuée sous HEC-GeoHMS sont importées et intégrées dans le logiciel HEC-HMS. Les données comprennent la spécification des éléments hydrologiques dans laquelle le modèle de bassin est composé ainsi que les informations sur la façon dont les éléments hydrologiques sont connectés.

La conception des précipitations pour estimer les débits de pointe à différentes fréquences, sur la base de l'hypothèse de la distribution maximale de vraisemblance Gamma, a été calculée à l'aide du logiciel d'analyse statistique spécialisé (Fig. 7) HYFRAN PLUS. Dans cette partie, la série annuelle maximale de précipitations pour une longue série d'observation (1970-2010), tiré de la même station a été utilisé afin d'obtenir des séries de décharge à long terme.

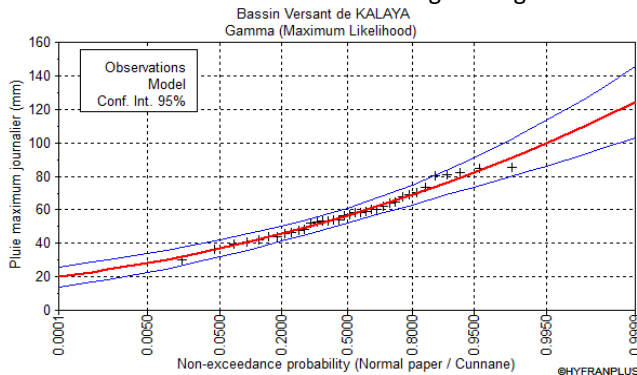


Fig. 7 : Ajustement à des lois – probabilité de non dépassement avec intervalles de confiance à 95% - Station de Tanger

Les 2, 5, 10, 20, 50, 100 et 200 années à 24 heures SCS Storm ont été modélisées et représentés dans le tableau 2. Ce dernier présente les résultats de l'injection des pluies journalières maximales issues par l'ajustement des lois statistiques dans le modèle hydrologique HEC-HMS. Le modèle SCS-CN pour l'infiltration, SCS unit Hydrographe pour le ruissellement et la méthode SCS Storm (type I) pour définir le modèle météorologique ont été utilisés avec un pas de temps de 1 min.

Tab. 2 : Débits de pointe pour chaque période de retour

Période de retour	Pluies (mm)	Débits
1	1	23.1
2	2	55.6
5	5	69.8
10	10	79.2
20	20	88.3
50	50	100
100	100	109
200	200	117

Le débit de pointe de la période de retour de 200 ans est 99.8 m³/s. autrement dit, la probabilité que le débit correspondant à cette période de retour soit atteint ou dépassé est de 1/200. Tandis que la valeur pour la période de retour 100 ans est 94.9 m³/s, pour les 50 ans de période de retour, le débit de pointe atteint 89.8 m³/s, pour la période de retour de 20 ans, il est de 72.9 m³/s. Le ruissellement dans le bassin versant KALAYA prédit par le modèle SCS-CN augmente progressivement avec l'augmentation des précipitations. Cependant, les eaux de ruissellement montrent une augmentation rapide lorsque la pluie a dépassé 23,1 mm. En utilisant les données présentées dans le Tableau 2, une relation de régression polynomiale du second ordre a été réalisée pour minimiser l'erreur statistique sur l'équation du modèle. Afin d'estimer le débit de pointe pour chaque période de retour, une équation a été dérivée et une très bonne corrélation entre les ruissellements et les précipitations a été observée avec une valeur de 0,9966 (Fig. 8).

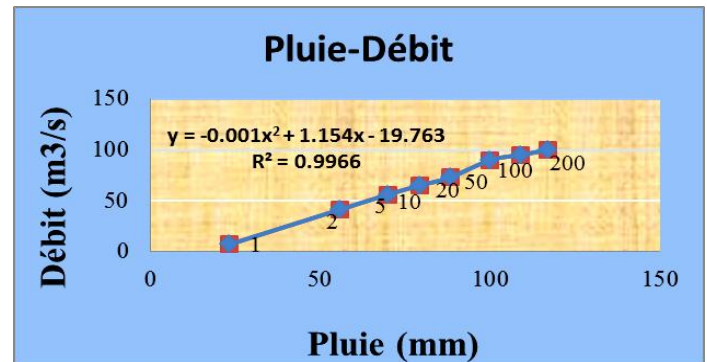


Fig. 8 : Courbe de l'équation des débits fréquents par rapport aux pluies fréquentielles

Conclusions

Dans ce travail, l'analyse et le traitement du Model Numérique de Terrain (MNT) de la zone d'étude nous a permis d'extraire les différentes types d'informations, notamment les caractéristiques morphologiques et physiques (relief, l'occupation des sols et les types de sol) nécessaires pour la démarrage de la simulation hydrologique au niveau du bassin de Kalaya . A cet effet, le logiciel de modélisation hydrologique HEC-HMS couplé au techniques géo-spatiales tel que le système d'information géographique (SIG) et la Télédétection ont été utilisées afin de mettre en place le modèle hydrologique et pour l'estimation du ruissellement. La combinaison de ces techniques avec le modèle SCS au sein du bassin versant de KALAYA donne une estimation de ruissellement considérable.

La modélisation hydrologique type pluie-débit au niveau du bassin versant de Kalaya a été mise en œuvre à l'aide du

Service de conservation des sols (SCS) au moyen du modèle HEC-HMS. Tous les paramètres nécessaires ont été calculés par ARCGIS et HEC-GeoHMS pour prédire le ruissellement de surface qui se produirait dans le bassin versant de Kalaya à la suite de différentes périodes de retour. Les résultats montrent que le ruissellement dans le bassin versant KALAYA prédit par le modèle SCS-CN augmente progressivement avec

Remerciements

Nous remercions Monsieur Benjbara Abdelkader de l'Agence de Bassin Hydraulique du Loukkos (ABHL) de nous avoir facilité les données de hauteurs d'eaux et les données de pluies, ainsi pour son aide et conseils concernant la modélisation hydrologique.

Références bibliographiques

1. M Heistermann, C Muller, K Ronneberger, *Ecosystems and Environment*, **2006**, 114, 141.
2. P D Bates, *Hydrological Processes*, **2004**, 18, 2593
3. E BECKERS, A DEGRE, *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, **2011**, 15, 143
4. US Army Corps of Hydraulic Engineers, HEC-2 User's Manual. **2001**. F Fenglei, Y Deng, X. Hu, Q Weng, *Estimating Composite Curve Number Using an Improved SCS-CN Method with Remotely Sensed Variables in Guangzhou, China*. Remote Sensing ISSN 2072-4292
5. J. V Tyagi, S. K Mishra, S Ranvir, V.P Singh. *Journal of Hydrology*, **2008**, 352, 388
6. I. D Moore, R B. Grayson, *Water Resour.* **1991**, 27, 1177
7. D Da. Ros, M Borge, *Hydrol. Process*, **1997**, 11, 13
8. Jonathan, I Green, E J. Nelson. *Journal of Hydroinformatics*. **2002**, 4, 75
9. O Martin, A Rugumayo, Ovcharovichova. *Global Journal of engineering, design & technology*, **2012**, 1, 19
10. L O.B. Lahlabat, *Rainfall-Runoff Analysis of Wadis Contributing to the Dead Sea: Wadi Og as a case study*, Ph.D. Thesis, an-Najah National University, Faculty of Graduate Study, Palestine. **2013**
11. O Martin, A Rugumayo, J Ovcharovichova. *GLOBAL journal of engineering, design & technology*, **2012**, Vol. 1, 19