



MODELISATION PLUIE-DEBIT DISTRIBUEE DANS DEUX BASSINS VERSANTS DE L'EST DE L'ALGERIE

ABDI I., MEDDI M.

Laboratoire Génie de l'eau et de l'environnement LGEE, Ecole nationale supérieure
d'hydraulique (ENSH), Blida BP 31,09000, Algérie.

abdi.ishak@gmail.com

RESUME

Le logiciel ATelier Hydrologique Spatialisé, ATHYS, réunit dans un environnement convivial et homogène un ensemble de modèles hydrologiques spatialisés, associés à des traitements de données hydro-climatiques et géographiques, il nous permet d'appliquer une panoplie de modèles distribués et de générer une série chronologique de débits sur base des pluies observées après un calage automatique de paramètres pris par défaut sur une période de pluies et débits connus, ceci en termes de données horaires, les résultats obtenus ont été comparé aux résultats issus d'un modèle Global HEC-HMS. L'étude a mis en évidence la performance des modèles distribués pour générer des débits calculés à base de pluies observées. Deux bassins versants ruraux de l'Est de l'Algérie ont fait l'objet de cette étude, le bassin versant de Bouhamdene (Willaya de Guelma) et le bassin versant de Kissir (Willaya de Jijel). Plusieurs modèles ont été appliqué, le modèle combinant la fonction de production SCS et la fonction de transfert Lag&route simple, le modèle combinant la fonction de production SCS et la fonction de transfert Lag&route géomorphologique, Le modèle combinant la fonction de production SCS et la fonction de transfert onde cinématique simple et le modèle global SCS (HEC-HMS). Le modèle combinant la fonction de production SCS et la fonction de transfert onde cinématique simple a donné les meilleurs résultats pour tous les événements et pour les deux bassins versants étudiés donnant un coefficient de Nash de l'ordre de 0,92 pour le bassin versant de Bouhamdene et de 0,96 pour le bassin versant de Kissir.

Mots clés : ATHYS, modèle pluie-débit, distribué, SCS, Est de l'Algérie, horaires, HEC-HMS.

ABSTRACT

The ATHYS software meets in a friendly environment and homogeneous set of spatialized hydrological models involving treatments hydro-climatic and geographic data, it allows us to apply a variety of distributed models and generate a time series of flows on Basic rainy observed after an automatic calibration parameters taken by default over known rains and flows, this in terms of hourly data, the results were compared with results from a HEC-HMS Global model. The study highlighted the performance of distributed models to generate flows calculated from observed rainfall. Two rural watersheds in eastern Algeria were the subject of this study, the watershed of Bouhamdene (wilaya of Guelma) and the watershed Kissir (wilaya of Jijel). Several models have been applied, the model combining CBS production function and the transfer function Lag&route, the model combining SCS production function and the transfer function Lag & geomorphological road model combining SCS production function and function Simple kinematic wave transfer and global model SCS (HEC-HMS). The model combines the SCS production function and the simple kinematic wave transfer function gave the best results for all events and for the two watersheds studied giving a Nash coefficient of 0.92 for Bouhamdene's watershed and 0.96 for Kissir's watershed.

Keywords: ATHYS, rainfall-runoff model, distributed, SCS, Eastern Algeria, Hourly, HEC-HMS.

INTRODUCTION

La modélisation du comportement hydrologique des bassins versants est incontournable dès lors que l'on s'intéresse à des problématiques relatives à la gestion des ressources en eau, à l'aménagement du territoire, ou à l'une des différentes facettes du risque hydrologique (Gnouma, 2006). Différentes approches sont utilisées : La modélisation physiquement basée (où chaque phénomène du cycle hydrologique est modélisé sur base de paramètres physiques), la modélisation conceptuelle (où les paramètres empiriques peuvent être abordés par voie itérative ou estimés, le cycle hydrologique restant la base de la conception du modèle) et la modélisation stochastique, qui fait appel à l'analyse statistique ou aux réseaux neuronaux (Todini, 1988 ; Singh, 1995). Jain et al. (2006) présentent une approche mixte dite " boîte grise " intégrant des principes conceptuels dans un réseau neuronal. Dans tous les cas, la validation

d'un modèle nécessite des séries de données observées de pluies et de débits (Singh, 1995 ; Dawson et al., 2005). Un point critique dans la modélisation des crues est l'évaluation de l'humidité et l'état du bassin versant au début d'un intense événement. Les modèles pluie-débit continus sont en mesure d'évaluer l'humidité du sol au début d'un épisode de pluie. Ce sont des modèles minutieux comme les modèles Français de la famille Génie-rural (GR) (Perrin et al., 2003), qui sont très populaires parce qu'ils ont besoin seulement de l'évaluation de l'évapotranspiration potentielle, avec la pluie, pour calculer l'humidité du sol. Cependant, les modèles continus peuvent avoir certains inconvénients : (1) ils requièrent des séries chronologiques complètes de précipitations, de débits et de données météorologiques. (2) l'état de l'humidité du bassin versant résulte de plusieurs combinaisons de processus comme l'évapotranspiration, la percolation à l'aquifère profond, ou le flux des versants, qu'on ne peut pas décrire avec seulement quelques paramètres. Lorsque l'on considère seulement les inondations, une stratégie consiste à ne pas tenir compte de la période d'entre-inondations et en utilisant des modèles basés sur les événements. Toutefois, dans ce cas, l'état d'humidité initial du bassin versant doit être évalué à partir de l'information externe comme le débit de base (Franchini et al., 1996; Fourmigué et Lavabre, 2005). Le Logiciel ATHYS (Atelier Hydrologique Spatialisé) réunit dans un environnement convivial et homogène un ensemble de modèles hydrologiques associés à des traitements de données hydro-climatiques et géographiques. Il a été développé à l'IRD pour des applications diverses : gestion de la ressource en eau, prévision des événements extrêmes, études d'impact liées à des modifications anthropiques ou climatiques, il a été proposé par Bouvier et al (1996), le projet ATHYS a cherché en priorité à intégrer les fonctions, programmes et modèles existants. Cette première phase a permis de valoriser les différents logiciels jusque-là épars, et de consolider la réflexion concernant l'avenir du projet. Le but de cette présente étude est l'application de divers modèles distribués sur des événements extrêmes (crues) sur deux bassins versants de l'est de l'Algérie en comparaison avec des résultats issus d'un modèle Global SCS sur HEC-HMS.

MATERIEL ET METHODES

Les bassins versants étudiés

Deux bassins versants, situés à l'Est de l'Algérie, ont été sélectionnés pour la réalisation de cette étude. Ils sont présentés à la figure 1. Ces bassins correspondent à :

- Bassin versant de Bouhamdene (Willaya de Guelma), avec une superficie de 1105 km² et un périmètre de 140 Km, il est compris entre 7° et 7° 30' Est et

36° 10' et 36° 30' Nord. Il fait partie d'un ensemble plus vaste qui est le bassin de l'oued Seybouse.

- Bassin versant de Kissir (Willaya de Jijel), avec une superficie de 92 km² et un périmètre de 46,55 Km. Il est compris entre 5°38' et 5°44' Est et 36° 39' et 36° 44' Nord. C'est un bassin versant méditerranéen isolé d'autres bassins versant adjacents il déverse directement ces eaux dans la Mer.

Les contours des bassins versants ont été délimités avec le logiciel SIG Quantum GIS 1.8.0 sur base du modèle MNT (Modèle Numérique de Terrain), les données hydro-climatiques sur les deux bassins versants sont représentées dans le tableau.1.

Tableau 1 : Données de pluie et de débits disponibles sur les différents bassins versants

Bassin versant	Nature des données	Evénements disponibles	Taille de l'échantillon
Bouhamdene	Horaires	Du 11 Mars 1976, 00h au 20 mars 1976, 22h	238
		Du 15 Avril 1979 00h au 23 Avril 1979, 22h	214
		Du 29 Novembre 2003 19h au 06 Décembre 2003, 08h	181
Kissir	Horaires	Du 30 Décembre 1980, 00h au 2 Janvier 1981, 00h	96

Source : Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH)

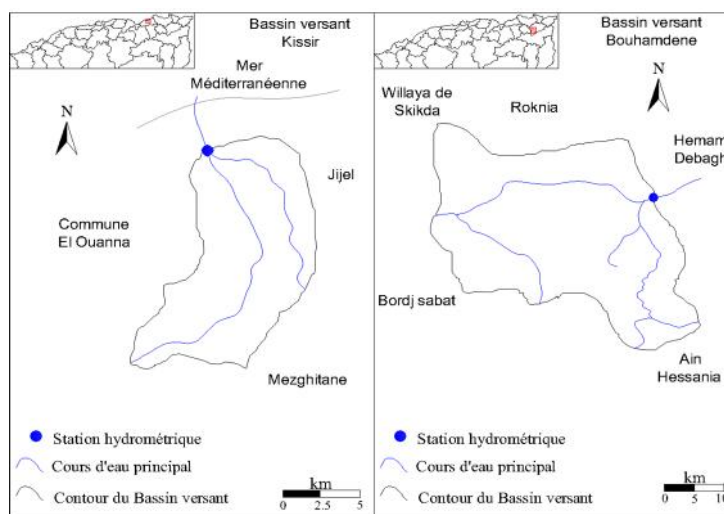


Figure 1 : Présentation des zones d'étude

Le logiciel ATHYS

Le Logiciel ATHYS Version 4.0.1 mise en ligne le 23 novembre 2012, ce logiciel a été développé à L'Institut de recherche pour le développement (IRD) par une équipe de chercheurs menée par Christophe Bouvier. ATHYS représente un environnement convivial à vocation hydrologique, destiné à l'analyse et à l'application de modèles spatialisés. Il comprend un module de traitement et de visualisation de données hydro-pluviométriques, un module de traitement et de visualisation de données géographiques et un catalogue de modèles. ATHYS est développé avec le langage Tcl/Tk et le générateur Xf, pour fonctionner sur station de travail. Le premier objectif d'ATHYS est donc de rassembler et d'uniformiser. Les possibilités de visualisation étant naturellement importantes pour préparer les données nécessaires aux modèles et interpréter leurs résultats, le second objectif d'ATHYS est de fournir dans ce domaine un support puissant. Enfin, ATHYS prétend être un outil ouvert, capable d'intégrer toute sorte de développement futur, programmé en C ou en fortran, sans autre travail que la réalisation de l'interface de présentation, et la transmission des options de traitement et des résultats par voie interne.

Les modules d'ATHYS

ATHYS permet de réaliser des simulations Pluies – Débits en intégrant tout une chaîne de traitement à travers 4 modules : MERCEDES : plate-forme de modélisation spatialisée, VISHYR: traitement des données hydro-climatiques stationnelles, VICAIR: traitement des données géographiques spatialisées, SPATIAL: plate-forme d'interpolation spatiale.

Le principal module de calcul est le module MERCEDES (Maillage Elémentaire Régulier Carré pour l'Etude Des Ecoulements Superficiels) qui est une plate-forme de modélisation spatialisée pour l'étude de la transformation pluie-débit qui propose ainsi un grand nombre de fonctions de production et de transfert, applicables dans un environnement homogène et convivial.

Méthodes

Plusieurs fonctions de production et de transfert sont proposées dans le module MERCEDES, notre étude se base sur la comparaison entre différentes combinaisons entre fonctions de transferts et de production.

Fonction de production

La fonction de production qui a été utilisée est la fonction SCS (Soil Conservation Service) de l'USDA relie le cumul de la pluie efficace P_e au cumul de la pluie brute P_b (Steenhuis et al., 1995), par l'équation:

$$P_e = \frac{(P_b - I_a)^2}{(P_b - I_a) + S} \quad (1)$$

Où I_a désigne les pertes intervenant en début d'événement et S la capacité de rétention en eau du sol (l'infiltration cumulée). Le modèle exprime l'évolution du coefficient de ruissellement, de 0 lorsque le cumul de pluie brute est inférieur à I_a à 1 lorsque le cumul de pluie brute tend vers l'infini. Dans MERCEDES, on utilise l'expression du coefficient de ruissellement instantané, qui s'écrit (Gaume et al., 2004) :

$$C(t) = \frac{\partial P_b}{\partial P_e} = \left(\frac{P_b - 0,2S}{P_b + 0,8S} \right) \left(2 - \frac{P_b - 0,2S}{P_b + 0,8S} \right) \quad (2)$$

Ce schéma a également été complété, dans MERCEDES, par un réservoir sol, dont le niveau décrit l'évolution du stock hydrique en continu. Le réservoir est alimenté par l'eau qui s'infiltré, et il est vidangé par la reprise évaporatoire, la percolation vers la nappe profonde et l'eau exfiltrée, remise en écoulement gravitaire. La vidange est calculée globalement à l'aide du modèle du réservoir linéaire. Les équations du schéma adopté deviennent donc ;

Le Ruissellement est donné par :

$$R(t) = C(t) \times i(t) \quad (3)$$

Et pour le coefficient du ruissellement on garde l'équation (2) et la pluie brute P_b devient P^* qui correspond au cumul de la pluie, diminué en fonction de la vidange du réservoir sol. Donc le modèle SCS comporte 3 paramètres: S ou CN , DS , S , en mm = la capacité maximale du réservoir sol. Cette capacité dépend de nombreuses caractéristiques du sol : profondeur, hétérogénéité, porosité, conductivité hydraulique, pendage du sous-sol ... Plusieurs interprétations sont possibles pour S : abaques figurant dans la littérature, et reliant S à la nature et à l'occupation des sols (dans le cas de processus dominants hortonien), ou produit de la profondeur du sol par la porosité moyenne sur un profil vertical (dans le cas de processus dominants de type aires contributives). CN , adimensionnel = le Curve Number du modèle SCS original. Si la valeur de CN est différente de 0, le paramètre S est calculé en fonction de CN , quelle que soit la valeur qui figure dans le champ réservé à S . Si la valeur déclarée pour CN est égale à 0, alors la valeur de S sera celle qui figure dans le champ réservé à S .

DS, en jour-1 = coefficient de la vidange exponentielle de la lame infiltrée, simulant la vidange du réservoir sol (évaporation, percolation, ruissellement hypodermique). Une valeur 1 conduit à un taux journalier de vidange de 63% ($=1-\exp(-1)$), et à un taux horaire de vidange de 4% ($=1-\exp(-1/24)$). Les valeurs de DS sont théoriquement comprises entre 0 (pas de vidange) et (vidange complète du réservoir à chaque pas de temps de calcul, même pour des pas de temps inférieurs à 24h). En pratique, DS peut être assimilé à la pente de la décrue, représentée en coordonnées logarithmique. α , ad. = fraction de la vidange qui participe au ruissellement, sous forme d'exfiltration. Ce paramètre traduit l'écoulement retardé qui provient de la vidange des profils supérieurs des sols, et doit être calé sur des décrues observées.

Fonction de transfert

MERCEDES nous offre deux modes de transferts ; transfert en mode mailles indépendantes et transfert en mode mailles interactives ; En mode mailles indépendantes, chaque maille produit à chaque pas de temps un hydrogramme élémentaire à l'exutoire. L'addition de tous les hydrogrammes élémentaires, pour toutes les mailles et tous les pas de temps, fournit l'hydrogramme complet de la crue. L'hydrogramme élémentaire est déterminé par un schéma de type translation/stockage, dépend de :

T_m , le temps de propagation à l'exutoire de la contribution produite par la maille, calculé en fonction des longueurs l_k et des vitesses V_k relatives à chacune des k-mailles de la trajectoire :

$$T_m = \sum_k \frac{l_k}{V_k} \cdot \frac{60}{dt} \quad (4)$$

K_m , le temps d'amortissement, figurant les variations des vitesses dans le temps. L'amortissement est simulé par un réservoir linéaire, dont la capacité K_m .

$$K_m = K_0 \times T_m \quad (5)$$

Où l_k est les longueurs des k-cellules entre la cellule m et l'exutoire (figure.2), V_0 la vitesse de parcours, qui est censé être uniforme sur l'ensemble du bassin versant (paramètre de routage).

Le temps d'amortissement le K_m est supposé pour être proportionnel au temps de propagation T_m , utilisant un coefficient constant K_0 que l'on suppose aussi pour être uniforme sur le captage entier (le paramètre de décalage), donc le débit élémentaire pour chaque maille du bassin s'écrit :

$$Q_m(t) = \frac{i_t(t_0)}{K_m} \exp\left(-\frac{t - (t_0 + T_m)}{K_m}\right) \times A \quad (6)$$

Avec : A la superficie du bassin versant

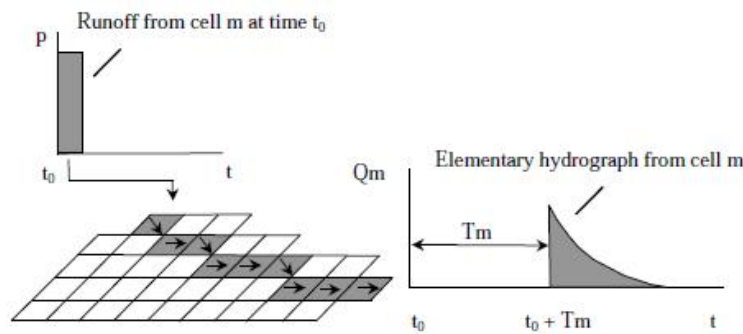


Figure 2 : Fonction de transfert pour chaque maille du bassin (Coustau et al., 2012)

En mode maille interactives, le transfert de l'écoulement de surface sur chacune des mailles est réalisé par le schéma de l'onde cinématique :

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (7)$$

$$S_0 = S_f$$

Où Q désigne le débit (en m³/s), A la surface de la section mouillée (en m²), S₀ et S_f respectivement la pente du fond et la pente de la ligne d'énergie (en m/m), x l'abscisse (en m) et t le temps (en s), ce schéma propose un nombre d'hypothèses pour son fonctionnement (figure.3). L'application de ce schéma à une structure de mailles carrées régulières a été proposée dans différents modèles, notamment r.water.fea (Vieux et Gaur, 1994), abc (Cappelaere et al., 2003), Marine (Estupina Borrell, 2004; Roux et al., 2011), A un pas de temps donné et pour une maille donnée, la hauteur d'eau est calculée par le bilan des apports amont (Q_e), du débit de sortie (Q_s), et du débit produit par la maille (Q_p). Le débit produit par la maille résulte de l'application de la fonction de production au total de la pluie reçue augmentée éventuellement d'une partie des apports de débit provenant des mailles amont. Le coefficient fixe la proportion des apports amont auxquels s'applique le schéma de production. Si Q_e est le débit d'entrée et P l'intensité de la pluie reçue sur une maille donnée, le schéma de production qui règle l'infiltration est appliquée à la quantité $(P + \alpha \frac{Q_e}{A})$.

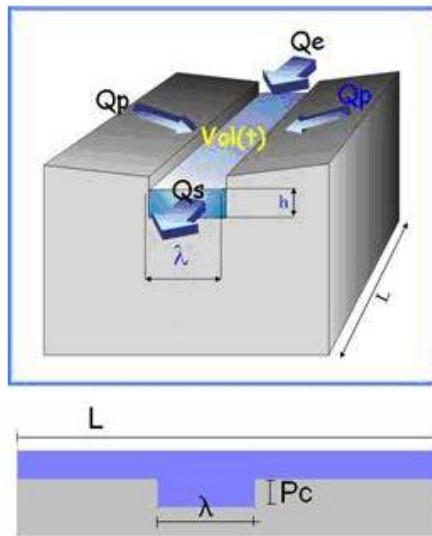


Figure 3 : Structure du modèle à mailles interactives
(<http://www.athys-soft.org>)

Où A désigne la superficie de la maille.

Les variations des volumes d'eau transitant sur la maille sont calculées par :

$$\frac{dVol(t)}{dt} = (1-\gamma) \cdot Q_e(t) \cdot dt - Q_s(t) \cdot dt + Q_p(t) \cdot dt \quad (8)$$

On en déduit la hauteur de l'écoulement dans le canal :

$$h_s(t) = \frac{Vol(t)}{\lambda \cdot L} \quad \text{Si } h_s(t) < P_c \quad (9)$$

$$h_s(t) = P_c + \frac{Vol(t) - L \cdot P_c}{L^2} \quad \text{Si } h_s(t) > P_c \quad (10)$$

Et le débit dans le canal, par application de la formule de Manning :

$$Q_s(t) = K \cdot t^{0.5} \cdot \left(\frac{h_s(t) \cdot \lambda}{2h_s(t) + \lambda} \right)^{0.66} \cdot h_s(t) \cdot \lambda \quad (11)$$

$$h_s(t) < P_c$$

$$Q_s(t) = K \cdot t^{0.5} \left[\left(\frac{P_c \cdot \lambda}{2P_c + \lambda} \right)^{0.66} \cdot P_c \cdot \lambda + \left(\frac{(h_s(t) - P_c) \cdot (L - \lambda)}{2(h_s(t) - P_c) + L - \lambda} \right)^{0.66} \cdot (h_s(t) - P_c) \cdot L \right] \quad (12)$$

$$h_s(t) > P_c$$

Le schéma fait intervenir 5 paramètres :

R_s : coefficient de rugosité de Strickler, en $m^{1/3}s^{-1}$

i : pente du canal, en m/m

b : largeur du canal, en m

P_c : profondeur du canal, en m

C : coefficient de contribution des apports amont au calcul du volume infiltré, adimensionnel

RESULTATS

Les données horaires de précipitations utilisées pour les simulations sont les moyennes sur le bassin versant calculées au moyen des polygones de Thiessen et des pluies relevées dans une station pluviométrique représentative.

Les événements choisis pour cette simulation sont des événements discrets sur des périodes différentes pour mettre en évidence l'effet de la pluviométrie sur la genèse du débit dans les bassins versants, les périodes sur lesquelles les données ont été recueillies sont indiquées dans le tableau.1.

Le fonctionnement de ATHYS repose sur un calage automatique, qui repose sur la détermination d'un jeu de paramètres optimal par minimisation d'une fonction critère, reprenant la procédure du simplexe de Nelder et Mead (Himmelblau, 1972; Rao, 1978), et analyse de la sensibilité de la fonction critère aux variations des paramètres.

Ces deux types de procédure sont complémentaires, et peuvent faciliter le calage d'un modèle, l'analyse des incertitudes associées aux paramètres. Plusieurs options disponibles dans MERCEDES permettent de faire un usage judicieux de ces procédures, en choisissant notamment :

- le calage séparé ou simultané des fonctions de production et de transfert : dans le premier cas, on optimise d'abord les paramètres de production, à l'aide d'une fonction critère calculée sur les volumes écoulés, puis les paramètres de transfert, à l'aide d'une fonction critère calculée sur les débits ; dans le second cas, les paramètres de production et de transfert sont optimisés en même temps, à l'aide d'une fonction critère calculée sur les débits.

- le calage sur des épisodes individualisés, ou sur un groupe d'épisodes : dans le premier cas, les paramètres optimisés sont distincts pour chaque épisode ; dans le second, commun à un groupe d'événements.

- le domaine de calage : la fonction critère peut être calculée soit sur l'ensemble de l'hydrogramme associé à un événement donné, soit sur le seul débit de pointe de crue, soit sur l'ensemble des débits compris entre 2 valeurs minimum et maximum, soit sur l'ensemble des débits compris entre 2 dates minimum et maximum.

- le choix de la fonction critère : 4 fonctions sont actuellement proposées ; EAM (écart arithmétique moyen), EQM (écart quadratique moyen), critère de Nash et critère de Crec.

$$EAM = \frac{\sum |Q_{calculé} - Q_{observé}|}{\sum Q_{observé}} \quad (13)$$

$$EQM = \sqrt{\frac{\sum (Q_{calculé} - Q_{observé})^2}{\sum Q_{observé}}} \times \sqrt{N} \quad (14)$$

$$Nash = \frac{\sum (Q_{calculé} - Q_{observé})^2}{\sum (Q_{observé} - \bar{Q})^2} \quad (15)$$

$$Crec = \sum \left(1 - \frac{Q_{calculé}}{Q_{observé}}\right) \times \sum \left(1 - \frac{Q_{calculé}}{\bar{Q}}\right) \times \frac{1}{N} \quad (16)$$

Où les $Q_{calculé}$ désignent les N valeurs calculées et $Q_{observé}$ les N valeurs observées, et \bar{Q} la moyenne des débits observés sur une période N .

Le tableau 2 représente les résultats de simulation relatifs à un calage automatique des modèles utilisés sur tous les évènements de tous les bassins versants. Ces évènements représentent des crues exceptionnelles qui ont été choisi pour mettre en évidence les comportements des bassins versants et des modèles spatialisés. La capacité du modèle ATHYS à simuler les débits extrêmes présentant une statistique plausible a été éprouvée pour chacun des bassins versants telle que le critère de Nash est supérieur à 0,7 sur tous les évènements pour tous les bassins versants.

La figure (4) représente les résultats et les courbes des débits simulés et observés, nous notons un phénomène d'hystérèse quant à la forme de la crue elle-même. Les débits croissants (montée de l'hydrogramme) et les débits décroissant (récession) sont surestimés par le modèle pour le bassin versant de Bouhamdene, Les débits croissants (montée de l'hydrogramme) sont sous-estimés par le modèle tandis que les débits décroissants (récession) sont légèrement surestimés pour le bassin versant de Kissir.

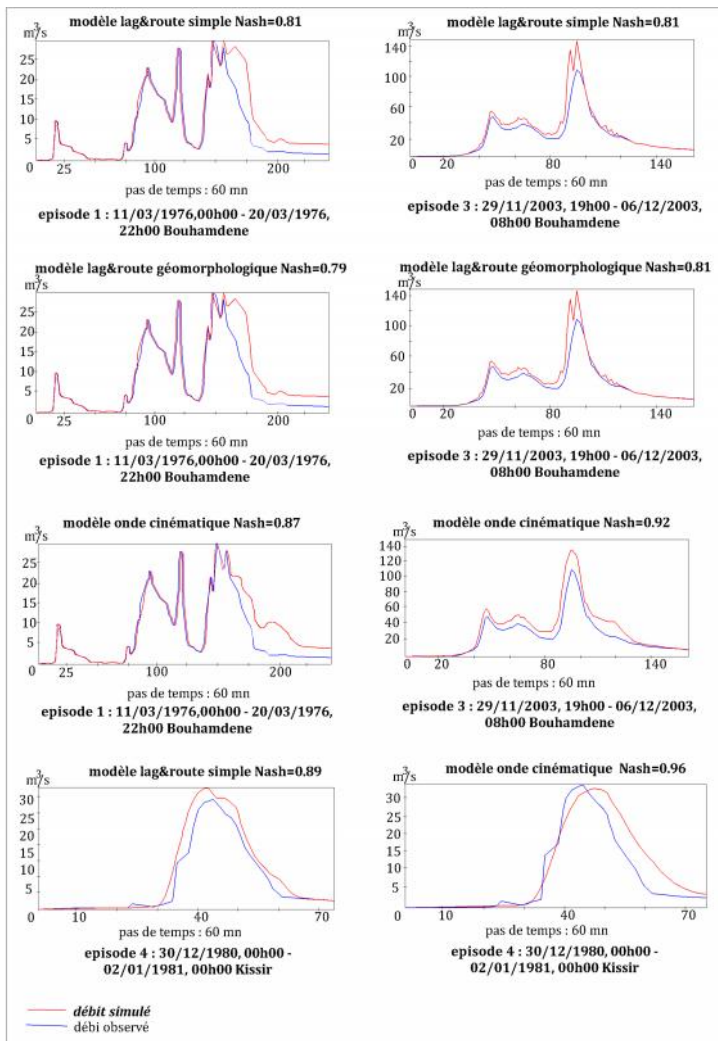


Figure 4 : Hydrogrammes observés et simulés pour 3 crues majeures dans les deux bassins versants

DISCUSSION

L'application proposée par HSM et IRD de la modélisation des systèmes hydrologiques est d'utilisation simple. Le test de ses performances tant que pour la simulation de séries chronologiques de débits que pour la simulation des débits extrêmes, dans quelques applications spécifiques, tend à apporter les constatations suivantes :

- les données de départ revêtent une importance majeure tant que par leur qualité et leur quantité, La disponibilité de longues séries ininterrompues de données de pluies est la condition sine qua non au bon fonctionnement d'ATHYS. En cela, ce modèle a les mêmes exigences que ses homologues stochastiques et que les modèles conceptuels basés sur le calage
- le calage automatique des paramètres par défaut du modèle permet dans chacune des applications réalisées de rencontrer les critères de convergence du logiciel ATHYS

L'analyse a porté sur les simulations de débit extrêmes, ces simulations portent une variabilité des débits simulés en fonction des débits observés avec des coefficients de Nash acceptable, La superficie des bassins versants a une certaine influence sur cette dispersion, notamment sur les pluies utilisées lors de la simulation et leur irrégularités spatiales.

Les résultats de modélisations semblent tirer profit de l'augmentation du nombre de mailles lors de la simulation distribuée dans le bassin versant étudié, mais induit un temps de calcul plus important, pour la crue d'Avril 1979 au bassin versant de Bouhamdene nous avons observé un débit important de l'ordre de 140 m³/s, le modèle global Hec-Hms nous a donné un débit maximum de 112 m³/s, alors que le modèle d'onde cinématique a donné un débit de 143 m³/s, on remarque que le modèle global a tendance a sous-estimé les valeurs maximal alors que les modèles distribués utilisés les surestime, Nous expliquons cette différence entre les débits simulées et observées par d'éventuelles pertes qui n'ont pas été prise en considérations ou qui n'ont pas été bien optimisés lors de la simulation. En effet les pertes par percolations et par évapotranspiration sont difficiles à modéliser pour des pas de temps horaires, et sans connaissance de l'état du sol initial lors de la simulation ainsi que sa texture et également les écoulements hypodermiques qui ne sont pas pris en considération par le modèle.

Même si l'utilisation des données de pluies issues d'une seule station pluviométrique présente des avantages pratiques. Les essais menés sur les bassins de Kissir et Bouhamdene montrent que cette approche peut utilement se substituer à la pluviométrie Thiessen pour autant que la station soit suffisamment représentative, mais néanmoins des anomalies peuvent existé. La modélisation distribuée, via la méthode des mailles interactives, est la méthode qui a donné un Nash plus important pour tous les évènements. Il a atteint 0,96 pour le cas d'oued Kissir et 0,92 pour l'oued de Bouhamdene; on remarque que le transfert des débits d'une maille à une maille adjacente, en incluant les pertes donne de bons résultats, ce modèle proposé est un modèle hybride selon la classification de Berthier (2008), il se base sur le couplage d'un modèle conceptuel pour la fonction de production et un modèle hydrodynamique basé sur l'équation de Saint Venant pour la fonction de transfert (Abdi , 2013).

Tableau 2 : Tableau récapitulatif des résultats obtenus par les différents modèles pour les deux bassins versants

Bassin versant	Evénements disponibles	Fonction de transfert	Critères d'erreur			
			EAM	EQM	CREC	Nash
Bouhamdene	Du 11 Mars 1976, 00h au 20 mars 1976, 22h	Lag&rout simple	0.23	0.48	0.31	0.81
		Lag&rout géomorphologique	0.24	0.52	0.31	0.78
		Onde cinématique simple	0.21	0.4	0.39	0.87
		Modèle global SCS (Hec-Hms)	0.38	0.59	0.33	0.73
	Du 15 Avril 1979 00h au 23 Avril 1979, 22h	Lag&rout simple	0.38	0.47	1.74	0.91
		Lag&rout géomorphologique	0.38	0.48	1.61	0.91
		Onde cinématique simple	0.38	0.45	2.32	0.92
		Modèle global SCS (Hec-Hms)	0.43	0.54	2.11	0.78
	Du 29 Novembre 2003 19h au 06 Décembre 2003, 08h	Lag&rout simple	0.17	0.38	0.07	0.81
		Lag&rout géomorphologique	0.17	0.38	0.07	0.81
		Onde cinématique simple	0.17	0.24	0.06	0.92
		Modèle global SCS (Hec-Hms)	0.18	0.43	0.09	0.78
Kissir Du 30 Décembre 1980, 00h au 2 Janvier 1981, 00h	Lag&rout simple	0.24	0.36	0.45	0.89	
	Lag&rout géomorphologique	0.33	0.45	0.47	0.83	
	Onde cinématique simple	0.15	0.22	0.24	0.96	

CONCLUSION

Le modèle ATHYS, est d'une grande simplicité d'utilisation, il réunit dans un environnement convivial et homogène un ensemble de modèles hydrologiques spatialisés, des séries chronologiques pluviométriques horaires permettent le calage automatique des paramètres du modèle, avec l'information sur Le MNT et les directions drainage du bassin versant, les 4 modules d'ATHYS se chargent de réunir ces données préalables à la simulation.

L'objet de cette étude est la comparaison entre différents modèles issus plusieurs familles, les modèles distribués ont donné des résultats encourageant et meilleurs que ceux issus des modèles globaux, et parmi ces modèles distribués le modèle à mailles interactives basé sur l'équation de l'onde cinématique a donné une dispersion moins importante s des débits simulés par rapport aux débits observés et ce, pour les deux bassins versants étudiés. Le nombre réduit des paramètres du modèle, et sa capacité à simuler en utilisant des données nous donnent un large nombre d'applications hydrologiques qui peuvent être envisagées sur le long terme comme la prédiction en temps réel des crues éclairées dans les bassins versants étudiés, une étude est nécessaire pour s'étendre aux bassins versants de l'Est de l'Algérie pour confirmer nos conclusions.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABDI I. (2013). Prévission des événements extrêmes dans deux bassins versant de l'Est de l'Algérie, mémoire de magister soutenu à l'école nationale supérieure de l'hydraulique (ENSH) Blida, 102p.
- BERTHIER É. (2008). Recul des glaciers de montagne: que nous apprennent les satellites, La Météorologie, N°63, 32-39.

- BOUVIER Ch., DELCLAUX F. (1996). ATHYS: a hydrological environment for spatial modelling and coupling with a GIS, Proceedings HydroGIS96, Vienna, Austria, 19-28, IAHS publication, N° 235.
- CAPPELAERE B., VIEUX B.E., PEUGEOT C., MAIA A., SEGUI S. L. (2003). Hydrologic process simulation of a semiarid, endoreic catchment in Sahelian West Niger, 2, Model calibration and uncertainty characterization, Journal of Hydrology, Vol. 279, Issues 1-4, 244-261.
- COUSTAU M., BOUVIER C., BORRELL-ESTUPINA V., JOURDE H. (2012). Flood modelling with a distributed event-based parsimonious rainfall-runoff model: case of the karstic Lez river catchment, Natural Hazards and Earth System Science, Vol. 12, N°4, 1119-1133.
- DAWSON C.W., ABRAHART R.J., SHAMSELDIN A.Y., WILBY R.L. (2006). Flood estimation at ungauged sites using artificial neural networks, J. Hydrol., Vol. 319, Issues 1-4, Pages 391-409.
- ESTUPINA BORRELL V. (2004). Vers une modélisation hydrologique adaptée à la prévision opérationnelle des crues éclair Application à de petits bassins versants du sud de la France. Thèse de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, 254 p.
- FOURMIGUE P., LAVABRE J. (2005). Flood forecasting with GR3H conceptual rainfall-runoff model. Adaptability to rainfall uncertainties, Revue des sciences de l'eau, Vol. 18, N°1, 87-102
- FRANCHINI M., WENDLING C., OBLED C., TODINI E. (1996). Physical interpretation and sensitivity analysis of the TOPMODEL, J. Hydrol., Vol. 175, Issues 1-4, 293-338.
- GAUME E., LIVET M., DESBORDES M., VILLENEUVE J.P. (2004). Hydrological analysis of the river Aude, France, flash flood on 12 and 13 November 1999, J. Hydrol., Vol. 286, Issues 1-4, 135-154.
- GNOUMA R. (2006). Aide à la calibration d'un modèle hydrologique distribué au moyen d'une analyse des processus hydrologiques : application au bassin versant de l'Yzeron, 412 p.
- HIMMELBLAU D.M. (1972). Applied nonlinear programming, Ed. McGraw-Hill, N.Y., 497p.
- JAIN A., SRINIVASULU S., (2006). Integrated approach to model decomposed flow hydrograph using artificial neural network and conceptual techniques. J. Hydrol., Vol. 317, Issues 3-4, 291-306.
- PERRIN C., MICHEL C., ANDREASSIAN V. (2003). Improvement of a parsimonious model for stream flow simulation, J. Hydrol., Vol. 279, Issues 1-4, 275-289.
- RAO S.S. (1978). Optimization – Theory and applications, Wiley Eastern Limited, 747 p.

- ROUX H., LABAT D., GARAMBOIS P.A., MAUBOURGUET M.M., CHORDA J., DARTUS D. (2011). A physically-based parsimonious hydrological model for flash floods in Mediterranean catchments, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci., Natural Hazards & Earth System Sciences*, Vol. 11, N°9, 2567-2582.
- SINGH V.P. (1995). Watershed modeling. In: Singh P., ed. *Computer models of watershed hydrology*, Colorado, USA: Water Resources Publications, Highlands Ranch, 1-22.
- STEENHUIS T.S., WINCHELL M., ROSSING J., ZOLLWEG J.A., WALTER M.F. (1995). SCS Runoff equation revisited for variable-source runoff areas. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 121, Issue 3, 234-238.
- TODINI E. (1988). Rainfall-runoff modeling: past, present and future, *J. Hydrol.*, Vol. 100, Issues 1-3, 341-352.
- VIEUX B.E., GAUR N., (1994): Finite-element modelling of storm water runoff using Grass GIS. *Microcomput., Civil Eng.*, Vol. 9, N°4, 263–270.