

**MODELISATION PLUIE-DEBIT PAR UNE APPROCHE GLOBALE:
CAS DUBASSINDE LA HAUTE TAFNA A BENI BAHDEL (NW
ALGERIEN).**

**RAINFALL-RUNOFF MODELING BY A GLOBAL APPROACH: CASE
OF THE BASIN OF THE UPPER TAFNA IN BENIBAHDEL (NW
ALGERIA).**

Rahima BOUANANI, Laboratoire 25, Univ. Tlemcen, Algérie. bouananir@yahoo.fr

Kamila BABA-HAMED, Laboratoire 25, Univ. Tlemcen, Algérie

Abderrazak BOUANANI, Laboratoire 25, Université de Tlemcen, BP 119, 13
000 Tlemcen, Algérie

RESUME : La modélisation hydrologique est une activité très répandue parmi les hydrologues. Le modèle hydrologique est aujourd'hui un outil incontournable dans la compréhension de la dynamique d'un bassin versant, dans la résolution de problèmes de gestion de la ressource en eau (irrigation), dans la prédétermination des crues et l'aménagement de l'environnement (édification de barrage) et dans la prévision des catastrophes naturelles (simulation des crues à court terme, prévision des étiages). Grâce aux progrès importants réalisés dans le domaine de l'informatique, de nombreux modèles hydrologiques ont vu le jour au cours de ces vingt dernières années surtout ceux qui traitent la relation pluie-débit, offrant ainsi beaucoup de flexibilité dans la manipulation des données et un gain en temps de calcul. L'utilisation par les modèles spatialement distribués d'un grand nombre de paramètres physiques et hydrologiques n'implique pas nécessairement qu'ils apportent de meilleurs résultats. C'est pourquoi dans cet article nous avons choisi un modèle global pouvant rendre compte du comportement du bassin versant sans pour autant nécessiter beaucoup de données et de paramètres à caler. Les modèles du CEMAGREF, GR1A, GR2M et GR4J ont été retenus. L'objectif est de déterminer les paramètres caractéristiques de ces modèles pour le bassin versant de la Haute Tafna à Beni-Bahdel. Cette étude de la relation pluie – débit à l'échelle annuelle, mensuelle et journalière est basée sur des débits et des pluies mesurés à la station de Béni-Bahdel. Les paramètres des modèles GR1A, GR2M et GR4J ont été déterminés avec des critères de qualité satisfaisants. Le comportement à long terme du barrage de Beni Bahdel, en tenant compte de l'évolution de la ressource en eau et des contraintes de leur gestion, pourra être étudié à une échelle de temps adéquate, en forçant le modèle hydrologique par les sorties des modèles climatiques. Les résultats

obtenus par la simulation de la transformation de la pluie en débit (par l'utilisation des modèles du Génie Rural GR1A, GR2M et GR4J) indiquent que les modèles « à réservoirs » sont plus fiables et indiqués comme modèle du type « boîte noire ». En effet, le modèle GR prend en compte la succession chronologique des différents phénomènes d'une part et l'influence des paramètres climatiques (évapotranspiration) et physico-hydrogéologiques du bassin versant (humidité du sol et échanges externes) d'autre part.

Mots clés : Modélisation, Pluie –Débit, Haute Tafna (Béni-Bahdel), Modèle, Génie rural, GR1A, GR2M, GR4J.

ABSTRACT: Hydrological modeling is a wide spread activity among hydrologists. The hydrological model is now an indispensable tool for understanding the dynamics of a watershed, in problems involving management of water resources (irrigation), in the predetermination of flooding and the development of the environment (dam building) and the prediction of natural disasters (flood simulation in the short term and prediction of low flows). Thanks to major advances in the field of computing, many hydrological models have merged over the last twenty years, especially those who watch the rainfall-runoff relationship, providing great flexibility in manipulating and gain time hardware. The use by spatially distributed models of many physical and hydrological parameters does not mean they provide better results. That is why in this article we have chosen a global model that can account for the behavior of the watershed without requiring a lot of data and parameters to be calibrated. CEMAGREF models GR1A, GR2M and GR4J were selected. The objective is to determine the characteristic parameters of these models for the watershed of Haute Tafna in Béni-Bahdel station. This study of the rainfall – runoff relationship on an annual monthly and daily scale is based on flows and rainfall measured at the station of Béni-Bahdel. Model parameters of GR1A, GR2M and GR4J were determined with satisfactory quality criteria. The long-term behavior of the dam of Béni-Bahdel, taking into account the evolution of the water resource and management constraints can be studied at the appropriate time scale in hydrological model by forcing the outputs of climate models. The results obtained by the simulation of the transformation of rain-flow by use of rural GR1A, GR2M and GR4J engineering models indicate that models "to tanks" are more satisfactory than a model of "black box" type. Indeed the GR model takes into account the chronological succession of phenomena and influence as well climate parameters (evapotranspiration) than physical and Hydrogeological of the basin (soil moisture and external exchanges)

Key words: modeling, rain, flow, Haute Tafna, Bén-Bahdel, Rural Engineering model, GR1A, GR2M and GR4J.

INTRODUCTION

La résolution des problèmes liée à la gestion des bassins versants notamment l'aménagement de ponts et des barrages, la prévision des conséquences des inondations nécessite une parfaite connaissance de leurs étiages et de leur crues. Les problèmes peuvent se poser en tout point d'un réseau hydrographique. Pour y répondre l'hydrologue doit disposer de données permettant la paramétrisation de modèles pertinents. Malheureusement, il ne dispose pas toujours de mesures des écoulements sur le point hydrographique auquel il s'intéresse. Le plus souvent, cependant, l'hydrologue dispose de données de pluie qui sont généralement beaucoup plus abondantes et mieux distribuées spatialement que les séries de débit. C'est la raison qui pousse naturellement à s'intéresser aux modèles pluie-débit qui permettent de reconstituer ou de compléter des séries de débit d'un cours d'eau à partir des séries de pluie existantes. Ils permettent aussi de prévoir les débits d'un cours à partir de pluies simulées. Différents modèles mathématiques sont utilisés : statistiques ou stochastiques (boîte noire), conceptuels, globaux ou distribués. Dans cet article, nous avons opté pour la classe des modèles hydrologiques conceptuels globaux tels que les modèles empiriques du Génie Rural mis au point par le CEMAGREF : GR1A (initié en 1990 et développé par Mouelhi(2003),Mouelhi et als(2006b), GR2M et GR4J proposés successivement par Kabouyac(1990) (Kabouya.M&Michel.C. (1991), Makhoulf& Michel (1994), Michel(1983),Mouelhi.(2003),Mouelhi et als(2006b), qui ont permis d'améliorer progressivement les performances du modèle. Ces modèles ne nécessitent pas une description fine du bassin versant. Les variables d'entrée sont limitées aux séries de pluies, d'ETP et des débits pour le calage. Le nombre de paramètres à optimiser est limité à un pour le GR1A, à deux pour le GR2M et à quatre pour le GR4J. L'objectif visé ici est de déterminer pour le bassin versant de la Haute Tafna les paramètres du modèle qui seront considérés comme ceux relatifs à son fonctionnement. Ces paramètres serviront à l'évaluation de la ressource en eau à long terme du barrage Béni-Bahdel, en utilisant les variables issues des modèles climatiques Soussou et als(2011).

METHODE

Structure du modèle et fonctionnement des modèles GR1A, GR2M et GR4J

Les modèles globaux offrent à l'utilisateur un choix très attractif, car ils présentent une structure très simplifiée, ne demandent pas trop de données et sont faciles à utiliser et à calibrer. Le modèle GR1A est un modèle annuel à un seul paramètre à optimiser (X adimensionnel) qui traduit l'influence d'une ouverture du bassin sur l'extérieur non atmosphérique (échange avec les nappes profondes ou les bassins adjacents). Il utilise en entrée la hauteur de pluie annuelle sur le bassin P (mm) et l'évapotranspiration potentielle E (mm). La structure du modèle se résume à une simple équation (eq.1), dans laquelle le débit Q_k de l'année k étant proportionnel à la pluie P_k de la même année, avec un coefficient d'écoulement dépendant de P_k , de la pluie P_{k-1} de l'année $k-1$ et de l'évapotranspiration potentielle annuelle moyenne E .

$$Q_k = P_k \left\{ 1 - \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{0,7P_k + 0,3P_{k-1}}{X.E} \right)^2 \right]^{0,5}} \right\} (1)$$

Le modèle GR2M est quant à lui utilise deux paramètres optimisables (X_1 , X_2)

X_1 : capacité du réservoir de production (mm),

X_2 : coefficient d'échanges souterrains (mm).

Le modèle fonctionne avec un pas de temps mensuel et comporte deux réservoirs ; l'un de production (ou humidité du sol) et l'autre de routage sur lesquels les ajustements et interceptions se font différemment sur les entrées auxquelles est associé une fonction d'ouverture sur l'extérieur autre que le milieu atmosphérique. Le modèle utilise en entrées la pluie et l'ETP mensuelles et fournit en sortie les lames d'eau écoulées en mm.

Un schéma de la structure est donné en figure 1 où P_k est la pluie mensuelle du mois k et E l'évapotranspiration potentielle moyenne pour le même mois calendaire.

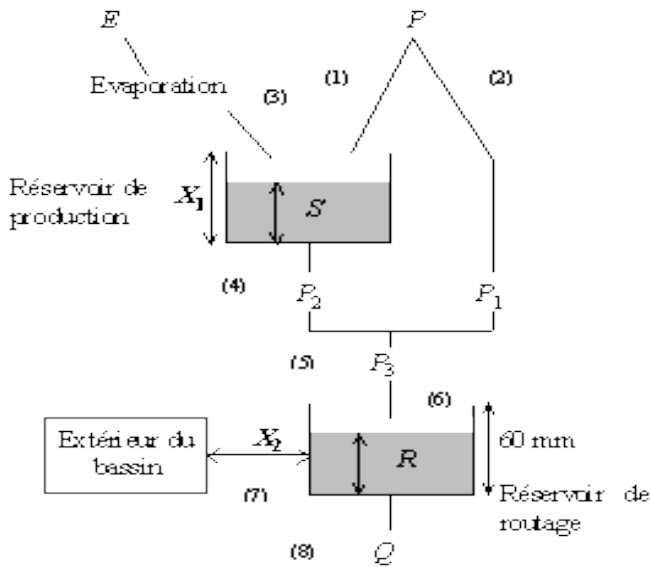


Fig.1. Structure du modèle GR2M

Le modèle GR4J (modèle du Génie Rural à 4 paramètres Journaliers) est un modèle pluie-débit global à quatre paramètres X_1 , X_2 , X_3 et X_4 .
 X_3 : capacité à un jour du réservoir de routage (mm)
 X_4 : temps de base de l'hydrogramme unitaire HU1(j)

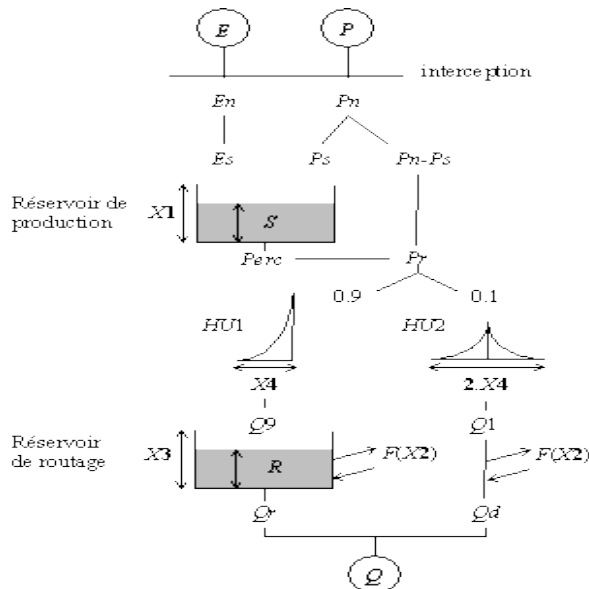


Fig.2. Structure du modèle GR4J

Critère de Qualité

La validité du modèle est vérifiée par une comparaison des débits calculés et observés à travers le critère le plus utilisé pour les modèles conceptuels : le critère de Nash et Sutcliffe (1970) qui s'exprime par l'équation 2.

$$Nash(Q) = 100 \left[1 - \frac{\sum_i (Q_{iobs} - Q_{ical})^2}{\sum_i (Q_{iobs} - Q_{obs})^2} \right] \quad (2)$$

Pour tenir compte de certaines valeurs particulières des débits, ce critère a été calculé en utilisant la racine carrée des débits pour atténuer l'importance des débits de pointe, ou le logarithme pour les débits d'étiage. Les résultats seront d'autant meilleurs que le Nash se rapproche de 1.

Par comparaison avec d'autres critères celui-ci a l'avantage d'être d'interprétation simple. En effet, s'il est positif, le modèle donne de meilleurs résultats qu'un modèle donnant à chaque pas de temps un débit constant égal à la moyenne des débits observés ; s'il est négatif, c'est l'inverse Gérard (2010). En pratique, on estime que la simulation est acceptable lorsque le Nash est supérieur à 70%.

PRESENTATION DU BASSIN DE LA HAUTE TAFNA (OUED SEBDOU)

Situé au Nord-Ouest algérien et faisant partie du bassin versant de la Tafna (Fig.3), le sous bassin de la Haute Tafna à Beni-Bahdel a une forme plus ou moins allongée, d'une superficie de 255.5km² et d'un périmètre de 165km. L'altitude moyenne étant de 1058m et près de 49% de la surface présente des pentes supérieures à 25%. La dénivelée moyenne donnée par l'indice de pente de Roche est de 1.46 (Bouanani, 2004). Ce bassin particulièrement faillé est bien drainé par l'oued Sebdo. Il prend naissance dans Ouled Ouriache et se dessine après un grand nombre de ramifications creusées dans les terrains Jurassiques principalement carbonatées (Benest & M. Bensalah, 1999), quidescendent de crêtes atteignant les 1465m. Ces ramifications se réunissent au niveau de la plaine de Sebdo à 900m dans les alluvions plio-Quaternaires. L'oued suit ensuite son cours dans une vallée encaissée (le fossé de la Tafna) et se creuse dans les marno-calcaires, les calcaire et dolomies du Jurassique jusqu'au barrage de Beni-Bahdel où il rencontre l'oued Khemis en rive gauche. Le bassin versant de la Haute-Tafna à

l’instar du Nord algérien à climat semi-aride est caractérisé par un nombre de jours de pluies réduit et très inégalement réparties durant le cycle hydrologique. Deux à trois mois au plus totalise près de 70% de la hauteur pluviométrique annuelle. Aussi, ce bassin se caractérise, par une sécheresse estivale marquée (moins de 1mm en juillet et août).

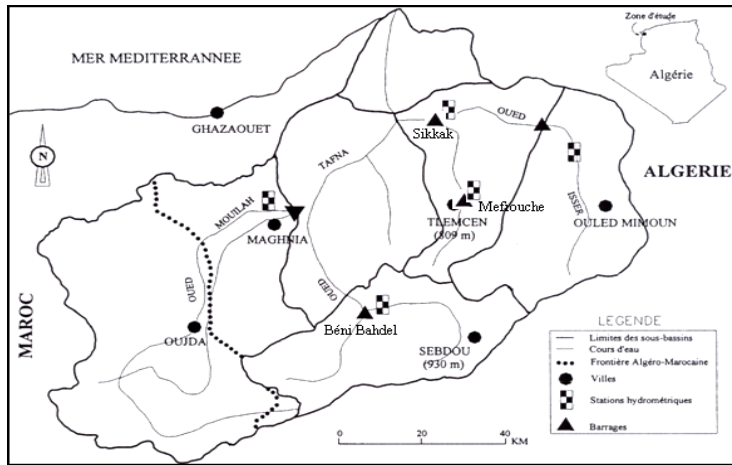


Fig.3. Situation du sous bassin versant de l’oued Sebdoou (Béni-Bahdel)

Paramètres hydrologiques

Pour cette étude, nous avons utilisé les valeurs annuelles et mensuelles des précipitations et des débits prises à la station de Béni-Bahdel entre Septembre 1977 et Août 2011 (Bouanani, 2010).

Les Précipitations

La moyenne interannuelle des précipitations est de 400mm. Le régime annuel est très irrégulier d’une année à l’autre ; 2008-2009 correspond à l’année la plus humide avec 731.8mm, l’année la plus sèche est celle de 1981-1982 avec 201mm (Fig. 4).

Les variations des précipitations moyennes mensuelles (Fig. 5) montrent que les mois les plus pluvieux sont Mars et Avril. Les mois de Juin, Juillet et Août sont pratiquement secs.

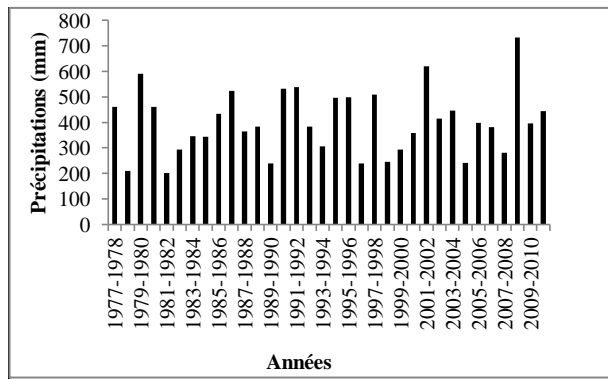


Fig.4.Pluviométrie annuelle dans le bassin de la Haute Tafna à la station de Béni-Bahdel

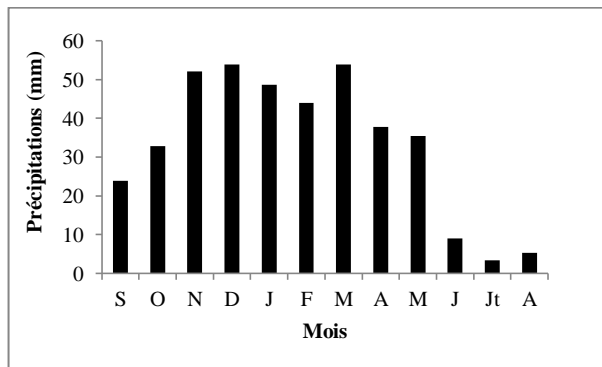


Fig. 5.Pluviométrie mensuelle dans le bassin de la Haute Tafna à la station de Béni-Bahdel

Les lames d'eau écoulées

La variation interannuelle des lames d'eau écoulées (Fig.6) suit celle des précipitations où, on observe une diminution importante à partir des années 1980. La moyenne interannuelle des lames d'eau écoulées s'élève à 104 mm, le maximum se présente en 1971/72 avec 270mm. Les écoulements moyens mensuels (Fig. 7) montrent une période d'écoulement relativement importante, s'étalant entre les mois de janvier et mai de chaque année. L'écoulement maximum moyen (30mm) est atteint au mois de mars.

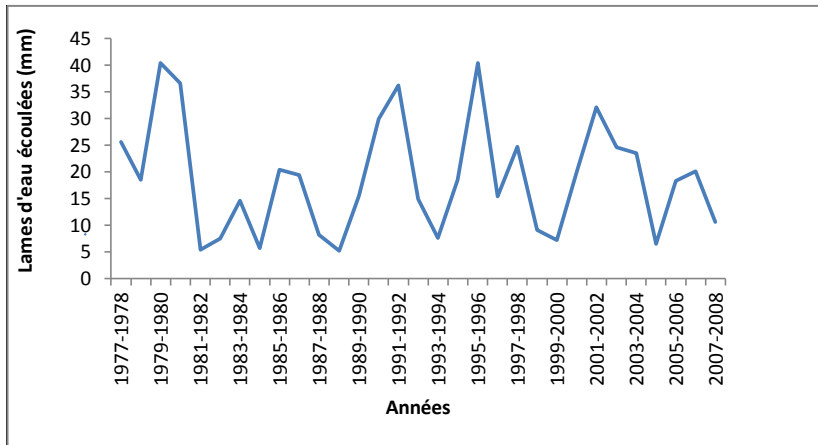


Fig. 6. Les lames d'eau écoulées annuelles à la station de Béni-Bahdel

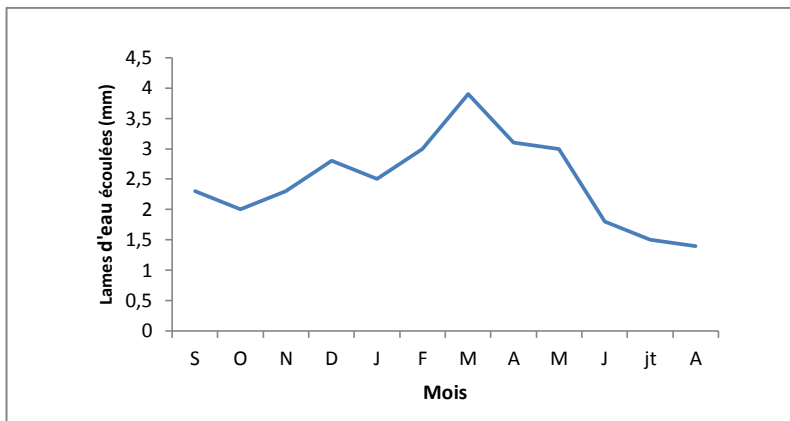


Fig. 7. Les lames d'eau écoulées mensuelles à la station de Béni-Bahdel

MODELISATION DE LA RELATION PLUIE-DEBIT

Dans cette étude, pour prédire le débit à une année donnée, on utilise à l'entrée du modèle des valeurs des pluies observées (mm), des ETP calculées par la méthode de Turc (mm) et des débits observés (exprimés en lames d'eau écoulées). Pour cela, les données de pluies (mm) mesurées et les débits (mm) mesurés au niveau de la station de Béni-Bahdel relatives aux périodes (1977-2011) sont utilisées. La procédure de calage a consisté à déterminer les paramètres optimisés à

partir des différents critères de qualité. Nous avons retenu les paramètres pour lesquels les critères de qualité sont optimaux.

Le modèle annuel GR1A

Pour la phase de calage, nous avons utilisé les données d'entrée du modèle (pluie, ETP, lame d'eau écoulee observée) correspondant à la période 1977/2000 alors que pour la validation nous avons pris la série de 2000/2008.

Le calage, du paramètre X du modèle, est réalisé manuellement en procédant au changement de sa valeur entre l'intervalle [0.13 - 3.5] correspondant à un large échantillon de bassins versants dont la médiane est de 0.7 avec un intervalle de confiance à 90% (Perrin et als, 2007).

Cette valeur de X est modifiée jusqu'à l'obtention d'une valeur du critère de Nash- Sutcliffe égale ou supérieure à 70% et un coefficient de corrélation R entre les débits mesurés et ceux calculés proche de 1.

Les résultats trouvés (Nash=86,8%, X=1,34, R=0,94) (Fig. 8a) et la superposition des deux courbes des débits simulés et calculés (Fig. 8b), expriment un bon calage du modèle.

Pour la validation du modèle de nouvelles données des précipitations et d'évapotranspiration correspondant à la période (2000/2008) et qui n'ont pas été utilisées lors du calage sont introduites. Le calcul est lancé en prenant pour le paramètre X la valeur trouvée lors du calage. Les valeurs trouvées des débits sont alors comparées aux valeurs observées par corrélation linéaire simple (Fig. 9). Aussi, le coefficient de corrélation de 0.95 trouvé, confirme la validité du modèle.

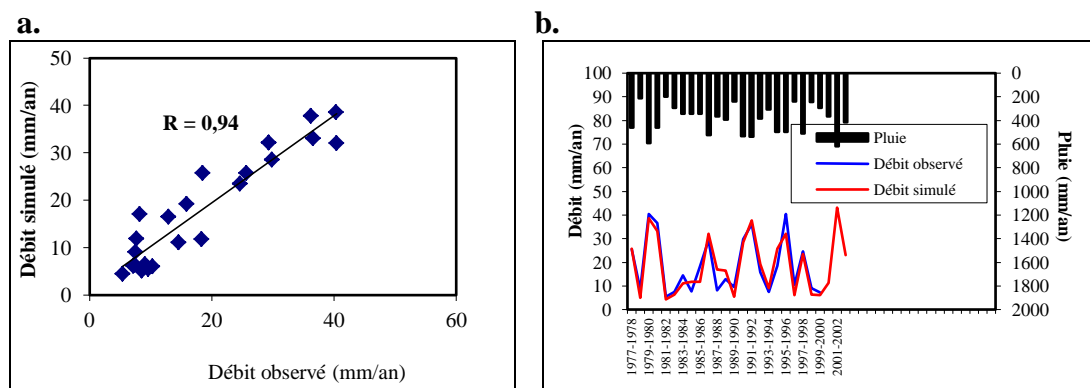


Fig.8. Calage du modèle GR1A obtenu pour la Haute Tafna à la station de Béni-Bahdel

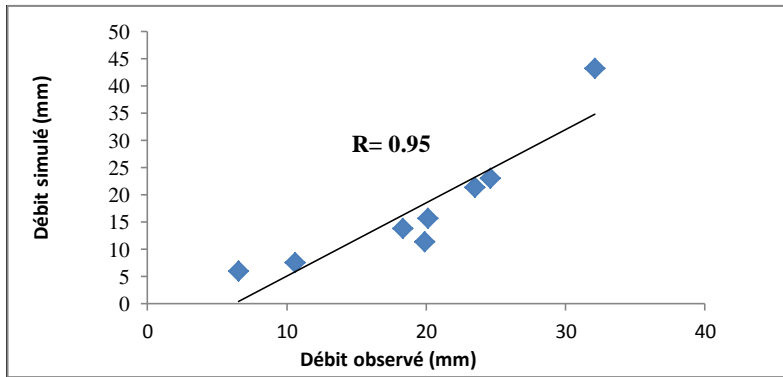


Fig.9. Validation du modèle GR1A sur les données annuelles

Le modèle mensuel GR2M

L’application au bassin de Béni-Bahdel apporté sur les données mensuelles de Janvier 1991 à Décembre 2001 pour le calage et celle de Janvier 2002 à Décembre 2007 pour la validation.

Pour le calage du modèle, nous avons procédé aux changements des valeurs des paramètres X_1 et X_2 jusqu’à l’obtention des valeurs optimales du coefficient du critère de qualité de Nash-Sutcliffe et du coefficient de détermination R^2 de la corrélation entre les débits calculés et ceux observés. Cette opération est conduite entre les intervalles des valeurs trouvées sur un large échantillon par l’équipe du CEMAGREF (tableau 1) (Perrin et als, 2007).

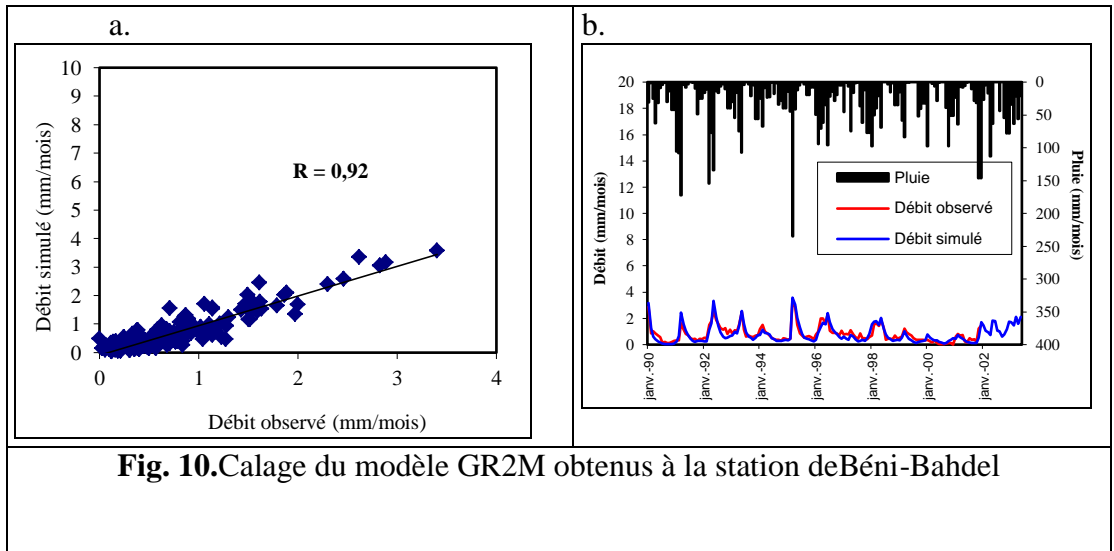
Tableau1. Valeurs des paramètres du modèle GR2M obtenues sur un large échantillon de bassins versants

Paramètre	Médiane	Intervalle de confiance à 90%
X_1 (mm)	380	140 -- 2640
X_2 (-)	0.92	0.21 -- 1.31

Les résultats ($X_1=2921,93$, $X_2=0,75$, Nash=72,1%, $R=0.92$ (fig. 10a) et la bonne superposition des deux courbes, des débits simulés et

calculés pour l'oued Sebdou (Fig. 10b), permettent de dire que le modèle est bien calé.

Pour la validation du modèle de nouvelles données des précipitations et d'évapotranspiration correspondant à la période (2002/2007) et qui n'ont pas été utilisées lors du calage sont introduites. Le calcul est lancé en prenant pour les paramètres X_1 et X_2 les valeurs optimisées lors du calage. Les valeurs des débits issues du modèle sont alors comparées aux valeurs observées par corrélation linéaire simple (Fig. 11). Avec un coefficient de 0.55, le résultat de la validation indique que lors de cette phase la qualité du calage a diminué. Il faut voir là, la nature des données utilisées pour la validation qui correspondent soit à des valeurs trop faibles ou trop fortes par rapport à celles utilisées lors du calage.



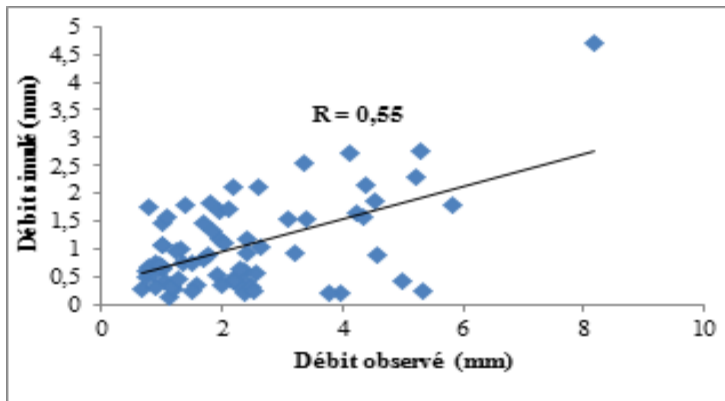


Fig. 11.Résultat de la validation du modèle GR2M sur les données mensuelles

Le modèle journalier GR4J

L’application de ce modèle a été effectuée sur les données journalières (2004/2005) de pluviométrie P, de l’évapotranspiration (ETP) et des débits Q. Ces paramètres étant mesurés à la station de Béni-Bahdel. Pour la validation les données utilisées correspondent à l’année (2006-2007).

Pour le calage du modèle, nous avons procédé aux changements des valeurs des paramètres X_1 , X_2 , X_3 , et X_4 jusqu’à l’obtention des valeurs optimales du coefficient du critère de qualité de Nash-Sutcliffe et du coefficient de détermination R^2 de la corrélation entre les débits calculés et ceux observés. Cette opération est conduite entre les intervalles des valeurs trouvées sur un large échantillon par l’équipe du CEMAGREF (tableau 2) Perrin et al (2007).

Tableau 2. Valeur des paramètres du modèle GR4J obtenues sur un large échantillon de bassins versants.

Paramètres	Médiane	Intervalle de confiance à 80%
X1 (mm)	350	100 à 1200
X2	0	-5 à 3
X3 (mm)	90	20 à 300
X4 (jours)	1,7	1,1 à 2,9

D'après les résultats ($X_1=184,93$, $X_2=-0,12$, $X_3= 33,45$, $X_4=1,03$, Nash=70,1%, $R=0,73$ (fig. 12a)), et la bonne superposition des deux courbes, des débits simulés et calculés (Fig. 12b), le calage est acceptable. Le résultat de la validation ($R=0,73$), confirme que lors de cette phase la qualité du calage est restée la même.

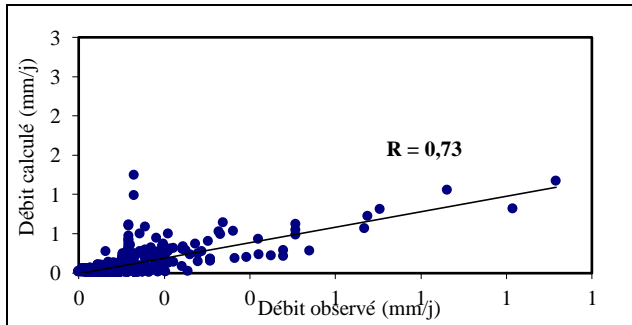


Fig.12a

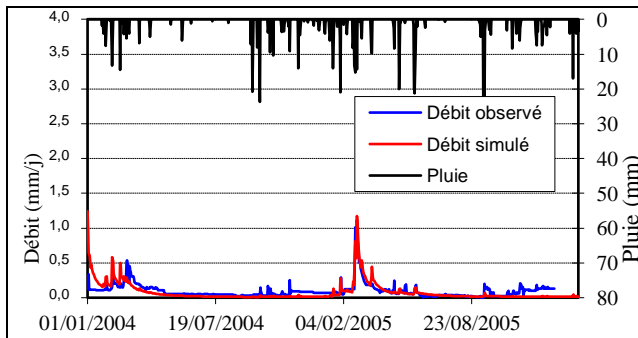


Fig. 12b

Fig. 12. Calage du modèle GR4J sur les données journalière de la Haute Tafna à Beni Bahdel

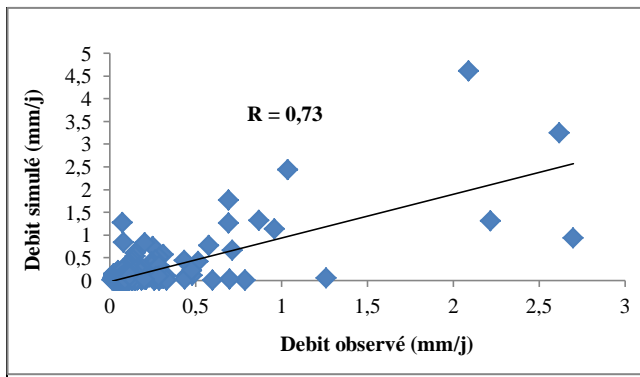


Fig. 13. Résultat de la validation du modèle GR4J sur les données journalière de la Haute Tafna à Beni Bahdel

CONCLUSION

Les paramètres des modèles à pas de temps annuel GR1A, mensuel GR2M, et journalier GR4J du CEMAGREF caractéristiques du bassin versant de la Haute Tafna à BeniBahdel ont été déterminés.

Leur optimisation a été obtenue pour des valeurs élevées des critères de qualité.

La phase de validation a donné de très bons résultats confirmant le bon calage de notre modèle sur le bassin et l'excellente performance quant à l'utilisation des modèles GR pour des bassins à climats semi-arides méditerranéens.

L'étape suivante consistera à utiliser les sorties des modèles climatiques pour forcer les modèles GR1A et GR2M. Il s'agit par exemple de sorties du modèle régional REMO qui permettront de faire des prévisions saisonnières et d'étudier l'évolution de la ressource en eau à moyenne et long terme au niveau du barrage Beni Bahdel.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Benest. M&Bensalah.M., 1999. *La couverture mésozoïque et Cénozoïque du domaine Tlemcenien (avant pays d'Algérie occidentale) : Stratigraphie et paléo-environnement*. Bull. Serv. Géol. Algérie. 6 n°1 (41-59).

- Bouanani. A., 2004. *Hydrologie, Transport solide et Modélisation. Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW-Algérie)*. Thèse, Doc d'Etat, univ. Tlemcen, 250p.
- Bouanani.R., 2010. *Modélisation de la fonction Pluie-Débit. Application au bassin versant de la Tafna (NW algérien)*. Mem. Magister, univ. Tlemcen, 105p.
- Gerard.L., 2010. *Sensibilité des performances d'un modèle de prévision des crues au critère de calage*. Mem. Master, Eau Environnement. INP Toulouse.
- Kabouya.M., 1990. *Modélisation pluie-débit aux pas de temps mensuel et annuel en Algérie septentrionale*. Thèse de Doctorat, Université Paris Sud Orsay, 347 p.
- Kabouya.M&Michel.C.,1991. *Estimation des ressources en eau superficielle aux pas de temps mensuel et annuel, application à un pays semi-aride*. Revue des Sciences de l'Eau 4, 569-587.
- Makhlouf. Z & Michel. C., 1994. *A two-parameter monthly water balance model for French watersheds*. Journal of Hydrology 162, 299-318.
- Michel.C., 1983. *Que peut-on faire en hydrologie avec un modèle conceptuel à un seul paramètre ?* La Houille Blanche(1), 39-44.
- Mouelhi.S., 2003. *Vers une chaîne cohérente de modèles pluie-débit conceptuels globaux aux pas de temps pluriannuel, annuel, mensuel et journalier*. Thèse de Doctorat, ENGREF, Cemagref Antony, France, 323 p.
- Mouelhi. S, Michel.C, Perrin. C & Andréassian. V., 2006b. *Stepwise development of a two-parameter monthly water balance model*. Journal of Hydrology 318(1-4), 200-214,
- Nash. J.E et Sutcliffe. J.V., 1970. *River flow forecasting through conceptual models part I- A discussion of principles*. Journal of Hydrology, 10 (3), 282–290.
- Perrin.C, Michel.C&Andréassian.V., 2007. *Modèles hydrologiques du Génie Rural (GR), rap.CEMAGREF*. <http://www.cemagref.fr/webgr>. 16p.
- Soussou.S, Masseck.B&Badji.A.,2011. *Calage et validation des modèles hydrologiques GR4j et GR2M sur le bassin du Bafing en amont du Bafing_Makanavers l'étude de l'impact du climat sur les ressources en eau de la retenue du Manantali*. 6^{ième}ed. jour. Sci. 2iE. France

&&&&&