
Soumis le : 15 Décembre 2011
 Forme révisée acceptée le : 05 Mai 2012
 Email de l'auteur correspondant :
 bouananir@yahoo.fr

Utilisation d'un modèle global pour la modélisation pluie-débit : cas du bassin d'Oued Sikkak (NW algérien).

Rahima Bouanani*, Kamila Baba-Hamed*, Abderrazak Bouanani*

**Laboratoire 25, Université Abou Bekr Belkaid, BP 119, 13 000 Tlemcen, Algérie*

Résumé

Cette étude de la relation pluie – débit à l'échelle annuelle et mensuelle est basée sur des débits mesurés à la station d'Ain Youcef (emplacement actuel du barrage Sikkak) et des pluies mesurées à la station météorologique de Tlemcen en amont du bassin. Les paramètres des modèles GR1A et GR2M ont été déterminés avec des critères de qualité satisfaisants. Le comportement à long terme du barrage, 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 et GR2M) indiquent que les modèles "à réservoirs" sont plus fiables et indiqués qu'un 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, Sikkak, Modèle, Génie rural, GR1A, GR2M.

Abstract

This study of the rainfall - runoff relationship on an annual scale is based on monthly flows measured at the station of Ain Youcef (current location of the dam Sikkak) and rainfall measured at the meteorological station of Tlemcen in the upper catchment. Model parameters of GR1A and GR2M were determined with satisfactory quality criteria. The long-term behaviour of the dam, 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 and GR2M 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, Sikkak, Rural Engineering model, GR1A, GR2M.

1. Introduction

La résolution des problèmes liés à la gestion des bassins versants notamment l'aménagement des 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 d'eau 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 [1], [2] et GR2M, proposé successivement par [3], [4], [5], [6], [1], [2] qui a 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, de l'évapotranspiration potentielle (ETP) et des débits pour le calage. Le nombre de paramètres à optimiser est limité à un pour le GR1A et à deux pour le GR2M. L'objectif visé ici est de déterminer pour le bassin versant de l'oued Sikkak les paramètres du modèle qui seront considérés comme celles relatives de son fonctionnement. Ces paramètres serviront à l'évaluation de la ressource en eau à long terme du barrage Sikkak, en utilisant les variables climatiques issues des modèles climatiques [7].

2. Méthode

2.1. Structure du modèle et fonctionnement des modèles GR1A et GR2M

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 est 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 .

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

eq.1 [8]

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 auquel est associée une fonction d'ouverture sur l'extérieur autre que le milieu atmosphérique. Le modèle utilise en entrée la pluie et l'ETP mensuelles et fournit en sortie les débits 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.

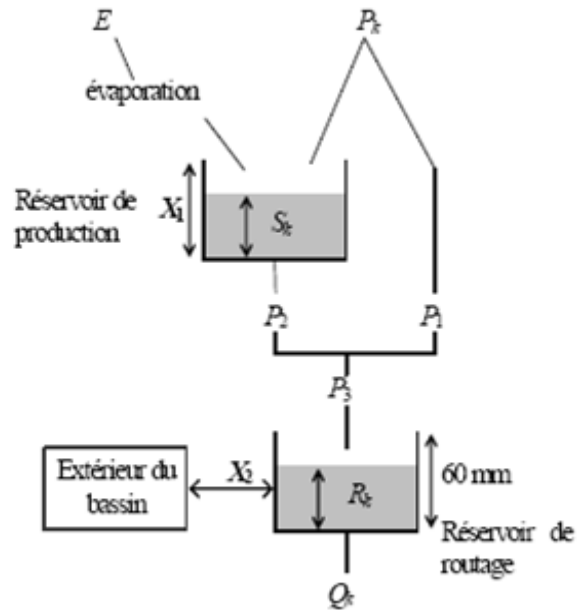


Fig.1. Structure du modèle GR2M [8]

2.2. 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) [9] qui s'exprime par l'équation suivante.

$$Nash(Q) = 100 \left[1 - \frac{\sum_i (Q_{i\text{ obs}} - Q_{i\text{ cal}})^2}{\sum_i Q_{i\text{ obs}} - (Q_{i\text{ obs}})^2} \right]$$

eq.2 [9]

Avec, $Q_{i\text{ obs}}$: débit observé, $Q_{i\text{ cal}}$: débit calculé par le

modèle, Q : moyenne des débits observés

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 des résultats meilleurs 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 qui se produit [10]. En pratique, on estime que la simulation est acceptable lorsque le Nash est supérieur à 70% [8].

3. Présentation du bassin de Sikkak

Le bassin versant d'oued Sikkak où est érigé un barrage d'une capacité de 30 Hm³, couvre une surface de 218 km² pour un périmètre de 65 km. Oued Sikkak est un affluent rive gauche de l'oued Isser. Son altitude moyenne est de 475m. Le relief est assez fort avec un indice de pente global de Roche (I_g) de 0,037. Le bassin du Sikkak est assez bien drainée (Dd=2,42) [11].

Sur le plan géologique, Le bassin de l'oued Sikkak présente deux secteurs bien distincts :

- au Nord une dépression où le principal élément ayant contribué au remplissage est représenté par le Miocène marneux. Il est surmonté par les graviers argileux et conglomérats plio-quaternaires sous les alluvions récentes de la plaine d'Hennaya [12].

- au Sud, et à l'Est les massifs montagneux où affluent principalement des terrains jurassiques (grés, calcaires, marno-calcaires et dolomies) faillés et bien karstifiés [13]. Les massifs jurassiques rocheux, calcaires et dolomitiques admettent une maigre couverture forestière. Les grés de Boumediène sont caractérisés par l'abondance de *cistus daniferus* et par *quercus suber* qui constituent de belles forêts d'Hafir et Zarifet. Les marnes miocènes et les alluvions quaternaires sont occupées par les céréales et les prairies naturelles. Les broussailles occupent une petite surface dans le bassin et sont concentrées dans la région de la commune de Aïn Fezza et au djebel Aïn El Hout.

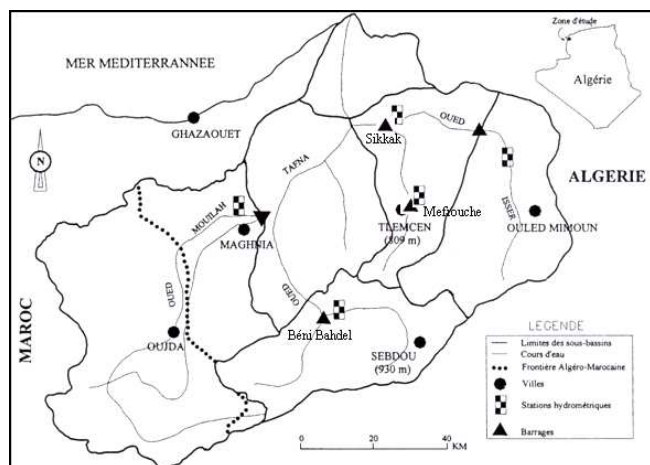


Fig.2. Situation du bassin versant de Sikkak [14]

4. Paramètres hydrologiques

Pour cette étude, nous avons utilisé les valeurs annuelles et mensuelles des précipitations prises à la station de Tlemcen et celles des débits mesurés à la station d'Aïn Youcef entre Septembre 1963 et Août 2001 obtenues auprès de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) [14].

4.1. Les Précipitations

La moyenne interannuelle des précipitations est de 480.5 mm. Le régime annuel est très irrégulier d'une année à l'autre ; la période 1963-1982 correspond à des années humides avec un maximum de 800mm en 1963-1964, l'année la plus sèche est celle de 1994-1995 avec 206 mm (Fig. 3).

Les variations des précipitations moyennes mensuelles (Fig. 4) montrent que les mois les plus pluvieux sont Mars et Avril. Les mois de Juin, Juillet et Août sont pratiquement secs.

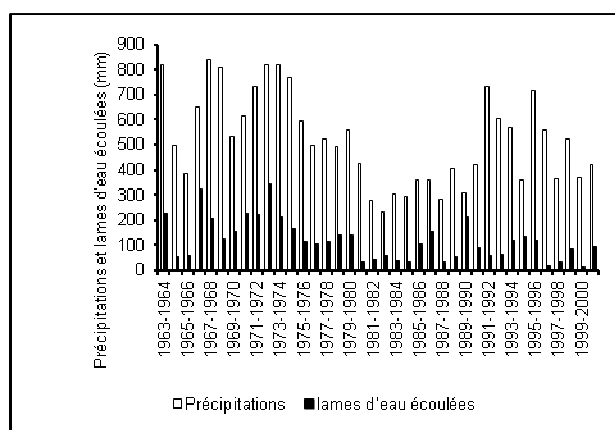


Fig. 3. Pluviométrie et lames d'eau écoulées annuelles dans le bassin d'oued Sikkak (1963/64-00/01)

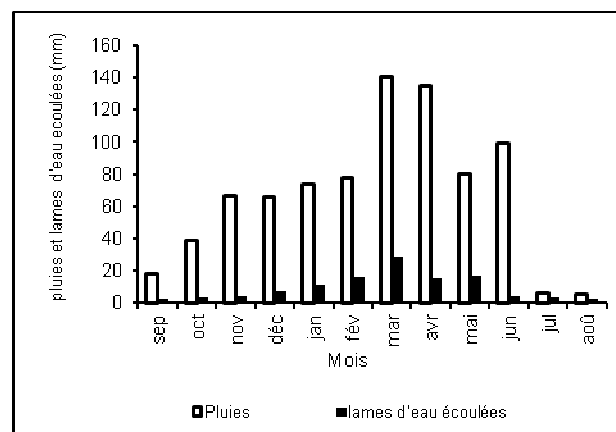


Fig. 4. Pluviométrie et lames d'eau écoulées mensuelles dans le bassin d'oued Sikkak (1963/64-00/01)

4.2. Les débits (lames d'eau écoulées) :

L'écoulement dans le bassin de l'oued Sikkak à l'instar des bassins méditerranéens présente une irrégularité inter et intra-annuelle assez prononcée. En effet La variation interannuelle des lames d'eau écoulées (Fig. 3) 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 270 mm. Les écoulements moyens mensuels (Fig. 4) montrent une période d'écoulement relativement importante, s'étalant entre les mois de janvier et mai de chaque année. Le débit maximum moyen (30 mm) est atteint au mois de mars de chaque année.

5. Modélisation de la relation pluie-débit

Dans cette étude, pour prédire le débit d'une année donnée, on utilise à l'entrée des valeurs de pluies observées (mm), des valeurs de l'ETP calculées par la méthode de Turc (mm) et des débits (exprimés en lames d'eau écoulées) observés. Pour cela les données de pluies (mm) mesurées au niveau de la station de Tlemcen et les débits (mm) mesurées au niveau de la station d'Aïn Youcef (Sikkak) relatives aux périodes (1964-2001) 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.

5.1. Le modèle annuel GR1A

Pour la phase de calage, nous avons utilisé les données d'entrée du modèle (pluie, ETP, lame d'eau écoulée observée) correspondant à la période 1963/1989 alors que pour la validation nous avons pris la série de 1989/2001.

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% [12].

Cette valeur de X est modifiée plusieurs fois en commençant par la valeur minimale de 0.13 en la faisant augmenter de 0.01 à chaque manipulation jusqu'à l'obtention d'une valeur du critère de Nash- Sutcliffe optimale supérieure à 70% et un coefficient de corrélation R^2 entre les débits mesurés et ceux calculés proche de 1.

Les résultats trouvés (Nash=96%, $X=1.16$, $R^2=0.976$) (Fig. 5a) et la superposition des deux graphes, des débits simulés et calculés (Fig. 5b), dénotent d'un bon calage du modèle.

Pour la validation du modèle de nouvelles données des précipitations et d'évapotranspiration correspondant à la période (1989/ 2001) 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. 6). Aussi, le coefficient de corrélation de 0.94 trouvé, confirme la validité du modèle.

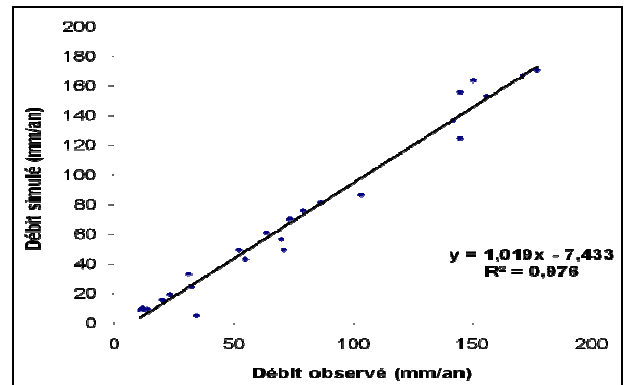


Fig. 5a

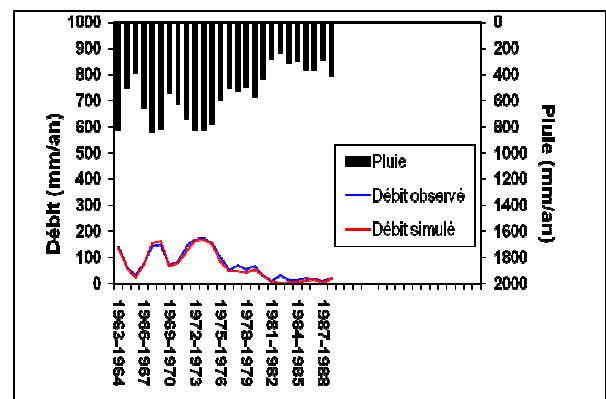


Fig. 5b

Fig. 5. : Calage du modèle GR1A obtenu à la station de Sikkak

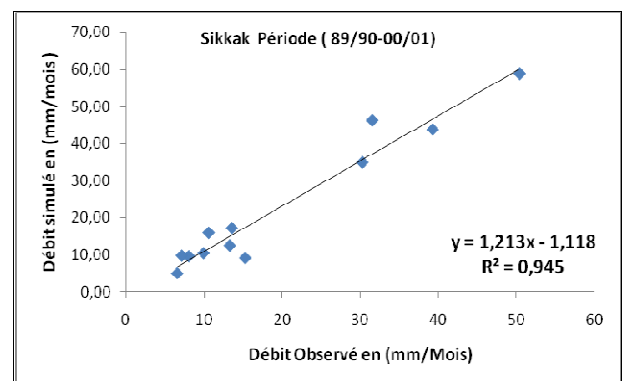


Fig. 6 : Validation du modèle GR1A sur les données annuelles

5.2. Le modèle mensuel GR2M

L'application au bassin de Sikkak a porté sur les données mensuelles de Janvier 1964 à Décembre 1975 pour le calage et celle de Janvier 1976 à Décembre 1989 pour la validation.

Pour le calage du modèle, nous avons procédé manuellement aux changements des valeurs des paramètres X_1 et X_2 plusieurs fois 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) [14].

Tableau.1 : 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 (X₁=897.85, X₂=1, Nash=86.5%, R²=0.886 (fig. 7a) et la bonne superposition des deux courbes, des débits simulés et calculés pour l'oued Sikkak (Fig. 7b), 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 (1976/ 89) et qui n'ont pas été utilisées lors du calage sont introduites. Le calcul est lancé en prenant pour les paramètres X₁et X₂ les valeurs optimisées lors du calage. Les valeurs des débits issues du modèle sont alors comparées aux valeurs observées par corrélation linéaire simple (Fig. 8). Avec un coefficient de 0.95, le résultat de la validation confirme la bonne performance du modèle.

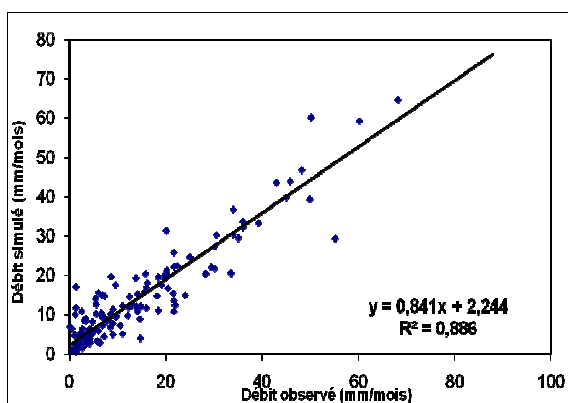


Fig. 7a

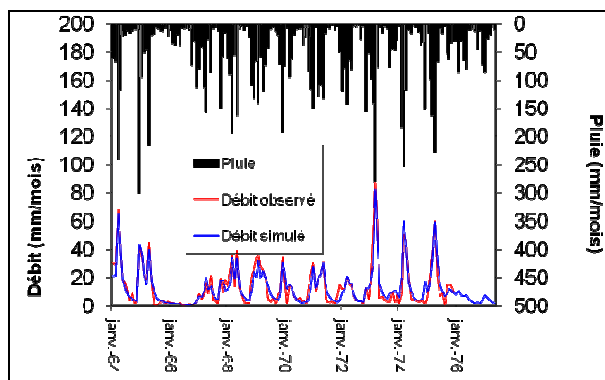


Fig. 7b

Fig. 7 : Calage du modèle GR2M obtenus à la station de Sikkak

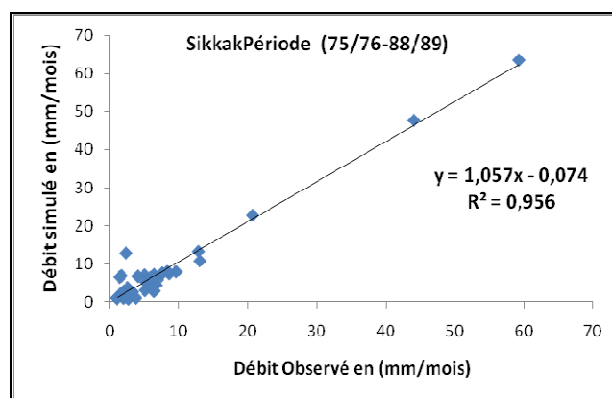


Fig. 8 : résultat de la validation du modèle GR2M sur les données mensuelles

6. Conclusion

Les paramètres des modèles à pas de temps annuel GR1A et mensuel GR2M du CEMAGREF caractéristiques du bassin versant d'oued Sikkak ont été déterminés.

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

La phase de validation a donné de très bons résultats confirmant le bon calage du 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 de sortie 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.

References

- [1] S. Mouelhi., 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 pp. 2003
- [2] S. Mouelhi. C. Michel.,C. Perrin & V. Andréassian., Stepwise development of a two-parameter monthly water balance model. Journal of Hydrology 318(1-4), 200-214, 2006b.
- [3] M. Kabouya., Modélisation pluie-débit aux pas de temps mensuel et annuel en Algérie septentrionale. Thèse de Doctorat, Université Paris Sud Orsay, 347 p. 1990
- [4] M. Kabouya. et C.Michel., 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. 1991
- [5] Z. Makhlof. et C. Michel., A two-parameter monthly water balance model for French watersheds. Journal of Hydrology 162, 299-318. 1994
- [6] C. Michel., Que peut-on faire en hydrologie avec un modèle conceptuel à un seul paramètre ? La Houille Blanche(1), 39-44. 1983.
- [7] S. Soussou, B. Masseck, A. Badji, 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, 4-8 avr. 2011.
- [8] C. Perrin, C. Michel, V. Andréassian., Modèles hydrologiques du Génie Rural (GR), rap. CEMAGREF. <http://www.cemagref.fr/webgr>. 16p. 2007.
- [9] J.E. Nash. and J. V. Sutcliffe., River flow forecasting through conceptual models part I- A discussion of principles. Journal of Hydrology, 10 (3), 282–290, 1970.
- [10] L. Gerard., Sensibilité des performances d'un modèle de prévision des crues au critère de calage. Mem. Master, Eau Environnement. INP Toulouse. 2010.
- [11] A. Bouanani., Hydrologie, Transport solide et Modélisation. Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW-Algérie). Thèse, Doc d'Etat, univ. Tlemcen, 250p, 2004.
- [12] SM.Hayane., Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du bassin versant d'oued Sikkak. Thèse, 3^{ième} cycle, univ. Oran, 189p, 1983.
- [13] M. Benest et M. Bensalah., 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). 1999.
- [14] R. Bouanani., Modélisation de la fonction Pluie-Débit. Application au bassin versant de la Tafna (NW algérien). Mem, Magister, univ. Tlemcen, 105p. 2010