

MODELLING THE RAIN-RUNOFF RELATIONSHIP:
A TOOL FOR EVALUATING WATER RESOURCES

Eric Servat, ORSTOM
A. Dezetter, ORSTOM

Laboratoire d'Hydrologie, Centre ORSTOM d'Adiopodoumé, 01 BP V51,
Abidjan, Côte d'Ivoire

ABSTRACT

The paper describes an "operational" version of two conceptual and deterministic models for the relationship rain-runoff: CREC and MODGLO. The objective was to furnish real tools for water project managers. The concepts utilized in the two logiciels are briefly described from the theoretical point of view. However, more details are provided on the informatics structure as adapted to micro-computers. Examples for programming and for obtaining the results are given. Entries are available for ten-day periods, months, and/or years in the form of tables and graphs so as to permit the comparison of computed and observed data. Applications are presented for one catchment in Tunisia and two in Burkina Faso.

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 39705

Cote : B

13 JUIN 1994

81378

MODELISATION GLOBALE DE LA RELATION PLUIE DEBIT:
DES OUTILS AU SERVICE DE L'EVALUATION DES RESSOURCES EN EAU

Dr. SERVAT E., ORSTOM
DEZETTER A., ORSTOM
Laboratoire d'Hydrologie
Centre ORSTOM d'Adiopodoumé
01 BP V51 - Abidjan 01
Côte d'Ivoire

RESUME

Les travaux exposés dans cette communication présentent une version "opérationnelle" de deux modèles globaux conceptuels et déterministes de relation pluie-débit: CREC et MODGLO. L'objectif visé était de fournir de véritables outils aux aménageurs et aux gestionnaires de projets. Les concepts utilisés dans les deux logiciels concernés sont rapidement décrits d'un point de vue théorique. La structure informatique de ces modèles, adaptés sur micro-ordinateur, est ensuite détaillée. On présente des exemples de procédure de saisie et de sortie de résultats. Ceux-ci sont fournis aux pas de temps décennaux, mensuels et/ou annuels sous forme de tableaux et de graphiques permettant la comparaison des lames écoulées calculées et observées. Les applications présentées concernent un bassin tunisien et deux bassins burkinabés.

OBJECTIFS

L'accroissement des moyens de calcul mis à la disposition des hydrologues a permis un développement important de la modélisation hydrologique durant ces vingt dernières années. Concernant le domaine particulier de la relation pluie-débit, de nombreux modèles ont vu le jour durant cette période. Mais le bilan réel de leur exploitation n'est que rarement effectué et leur utilisation par une autre personne que leur concepteur s'avère généralement très délicate, voire même impossible. Comparé au foisonnement des modèles, le maigre bilan en matière d'utilisation "opérationnelle" de ces modèles vient renforcer le contexte général de scepticisme à l'égard de la modélisation. (Klemes, 1986, Beven, 1987)

Avant de se lancer dans tout nouveau développement, il nous a donc paru important d'arriver à une meilleure utilisation des modèles disponibles. Cela signifie qu'il faut s'assigner des objectifs en rapport avec ce que ces algorithmes peuvent réaliser. Cette démarche, moins ambitieuse, est plus réaliste que celle qui consiste à affirmer l'"universalité" d'un concept élaboré dans un cas particulier.

Notre objectif était de fournir aux gestionnaires de projets et aux aménageurs de véritables outils, c'est à dire des logiciels utilisables par des non spécialistes tant en Hydrologie qu'en Informatique. Ils doivent alors:

- être de mise en oeuvre rapide et pouvoir fonctionner sur micro-ordinateur,
- se montrer d'une utilisation particulièrement conviviale,

- pouvoir utiliser des données de réseaux,
- apporter des réponses utiles et adaptées aux problèmes traités (exemple: évaluations d'apports à pas de temps décennaux ou mensuels pour des projets à vocation agricole).

Parmi les modèles globaux conceptuels déterministes qui étaient à notre disposition, nous en avons retenu deux (les modèles CREC et MODGLO) sur lesquels faire porter nos efforts de manière à satisfaire les contraintes énoncées plus haut.

LES MODELES CREC ET MODGLO

Le modèle CREC

CREC est un modèle mis au point au Laboratoire d'Hydrologie Mathématique de l'Université des Sciences de Montpellier au début des années 1970. C'est un modèle conceptuel global, appliqué de nombreuses fois, dans des conditions de bassins versants très variées (zone climatique tempérée), et qui a montré une grande capacité d'adaptation. (Guilbot, 1986). La fonction de production de CREC tient compte de l'état d'humidité du sol par le biais du taux de remplissage d'un réservoir alimentant l'évapotranspiration et fournit la fraction de l'eau précipitée participant à l'écoulement. La fonction de transfert comprend un écoulement rapide et un écoulement lent à décroissance exponentielle (cf. figure 1).

La fonction de production

La fonction de production effectue un prélèvement sur la lame précipitée qui permet de respecter le caractère conservatif du système. Son moteur est l'évapotranspiration, mais elle peut prendre en compte des éléments différents du type fuites hors du bassin. Cette fonction de production est, en fait, représentée par un réservoir en cul de sac, S, soumis à un contrôle amont (partage de la pluie) et à une sortie aval modulée sur l'ETP et qui génère une ETR (cf. figure 1).

La fonction de transfert

Dans le modèle CREC, la fonction de transfert est constituée d'un ensemble de deux réservoirs (H et G) à la fois en série et en parallèle grâce à la double sortie du réservoir H. (cf. figure 1). Celui-ci intervient à deux niveaux:

- laminage des débits permettant de rendre continue la réponse à une alimentation discontinue,
- répartition entre débit à décroissance rapide et débit à décroissance lente. Le transfert rapide se fait directement, alors que le transfert lent est régularisé par le biais d'un tarissement exponentiel (c'est le rôle du réservoir G).

La détermination des paramètres

Dans le cas particulier du modèle CREC, la détermination des valeurs des paramètres s'effectue automatiquement à l'aide d'une procédure

chacun des logiciels étudiés. On a développé une organisation modulaire des algorithmes et repris la programmation proprement dite de façon à les utiliser sur micro-ordinateur (pour accroître leur "portabilité").

La structure actuelle de ces logiciels, une organisation de type modulaire, est présentée en figure 3. On y distingue trois modules au sens large: Entrées, Calculs, Sorties. L'articulation, ou interface, entre les différents niveaux peut être définie par un état de la mémoire vive au moment du passage entre ces niveaux.

Le module ENTREES

Ce premier module a pour objectif de lire et de stocker en mémoire les données et les paramètres définissant un état de fonctionnement du modèle. Il comprend un fichier évaporation, un fichier pluie et un fichier débit (ou un fichier "pluie-débit" unique d'un type standard utilisé à l'ORSTOM), et un fichier paramètres. Ce dernier contient les paramètres du modèle (production, transfert) et les paramètres dits d'"environnement logiciel" (sortie ou non de tableaux, etc.); c'est le seul fichier spécifique du modèle. Les formats des fichiers d'évaporation, de pluie et de débit sont imposés. Par contre il a été développé une procédure permettant la création à l'écran du fichier des paramètres. Cette procédure peut être employée en phase de calage pour modifier les paramètres. L'utilisation de ces modèles est particulièrement commode et conviviale puisque l'opérateur est alors débarrassé de toute manipulation de fichiers. Le tableau 1 présente une copie d'écran de cette procédure de saisie et de constitution du fichier des paramètres dans le cas de MODGLO.

Le module CALCULS

Les différentes fonctions de ce module n'ont aucune interface directe avec l'utilisateur. Trois types de fonctionnement ont été distingués (calage "manuel", optimisation, simulation) qui ont conduit à deux types de programme pour chaque modèle: une version calage "manuel" et simulation d'une part, et une version optimisation d'autre part. Plusieurs points sont néanmoins communs aux deux versions:

- calcul des débits au pas de temps journalier. C'est le "coeur" du modèle, appelé à chaque pas de temps, et spécifique à chaque algorithme,
- calcul des lames décadaires, mensuelles et annuelles à partir d'un vecteur journalier,
- calcul d'autocorrélation sur un vecteur et de corrélation entre deux vecteurs.

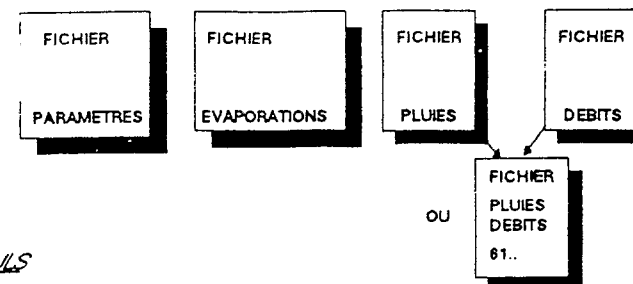
Les techniques d'optimisation disponibles sont actuellement au nombre de deux (Rosenbrock ou Nelder et Mead (Servat et Dezetter, 1988)). Le choix de la fonction critère et du test d'arrêt de la procédure ne dépend que de l'utilisateur.

Le module SORTIES

Les résultats, qui sortent sur écran ou sur imprimante (au choix de l'utilisateur), apparaissent sous la forme de tableaux de lames écoulées

ORGANISATION MODULAIRE DES PROGRAMMES

ENTREES



CALCULS

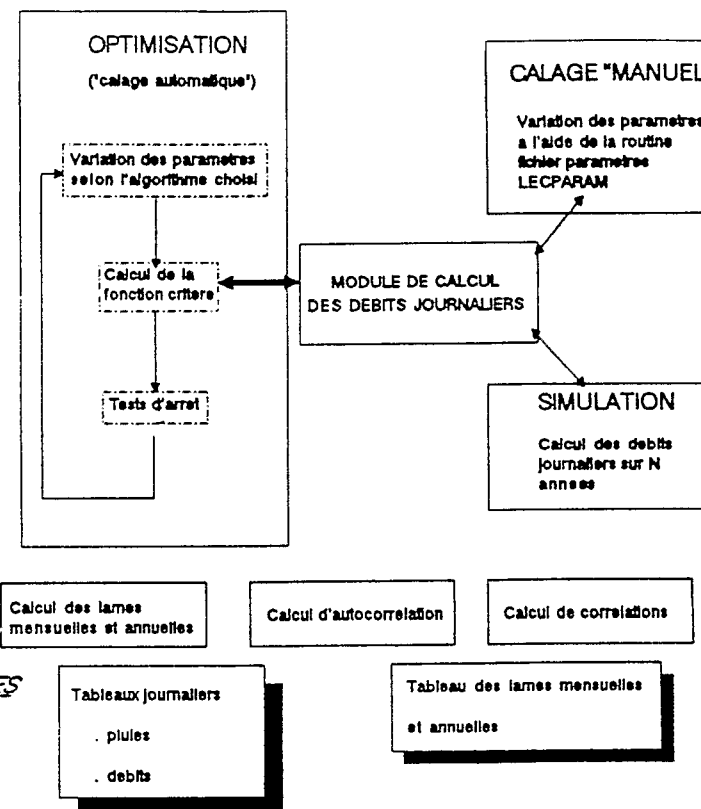


Figure 3

Tableau 1: Procédure de saisie des paramètres - MODGLO

PARAMETRES DE CALAGE DU MODELE

PARAMETRES DE LA FONCTION DE PRODUCTION

Surface du bassin versant km2 SURFBV : 13 900
 Coefficient de passage pluie brute-pluie au sol CPJ : 1 000
 Hétérogénéité des pluies sur le BV (BB) : 0 420
 Paramètres de l'infiltration XIN : 8 500 AXIN : 0 270
 Hétérogénéité AA : 0 300
 Hauteur d'eau dans le réservoir au départ SH : 80 000
 Capacité de rétention en eau du sol CRT : 150 000
 Hétérogénéité DCRT : 50.000
 Coefficient de pondération de l'évaporation mesurée(EVAS) CET : 1 000

PARAMETRES DE LA FONCTION DE TRANSFERT :

Coefficients de répartition de l'EAU dans les réservoirs
 CQ7 : 0 300 CQ9 : 0 350 CQ10 : 0 350
 Coefficients de débit des réservoirs d'étalement :
 COEPQ7 : 0 250 COEPQ8 : 0 590 COEPQ9 : 0 460 COEPQ10 : 0 590
 Coefficients de reprise de l'évaporation réservoirs 9 et 10
 ET9 : 1000 000 ET10 : 1000 000
 Niveau d'eau dans les réservoirs d'étalement au départ :
 SH7 : 0 000 SH8 : 0 000 SH9 : 0 000 SH10 : 0 000
 Voulez-vous corriger un ou plusieurs de ces paramètres ? O/N

Tableau 2: Exemple de sortie des résultats - MODGLO

Edition des paramètres du modèle MODGLO

SURFBV = 13.900	ET9 = 1000.000	CQ7 = 0.300
BB = 0.420	SH7 = 0.000	CQ10 = 0.350
AXIN = 0.270	SH9 = 0.000	COEPQ8 = 0.590
SH = 80.000	CET = 1.000	COEPQ10 = 0.590
DCRT = 50.000	CPJ = 1.000	ET10 = 1000.000
CQ9 = 0.350	XIN = 8.500	SH8 = 0.000
COEPQ7 = 0.250	AA = 0.400	SH10 = 0.000
COEPQ9 = 0.460	CRT = 150.000	

Tableau des lames mensuelles et annuelles
 Année : 1975
 Station : Oued Sidi Ben Naceur

Unités : mm

LAME	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	T AN
Pluie	61.0	174.7	96.6	19.0	54.1	0.9	0.0	48.9	5.2	110.0	311.3	66.3	948.0
E Obs	9.8	91.9	28.7	2.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	115.9	28.9	278.6
E Calc	10.3	70.2	23.5	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	129.1	31.5	275.1

Evaporations moyennes mensuelles journalières en mm/j

1.8	2.0	2.9	3.5	3.7	4.2	4.8	4.8	3.5	3.1	2.2	1.7
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Total pluie	= 948.00	Evaporation	= 628.50
Pluie max. jour	= 64.90	Ruisselement	= 89.21
Lame maxi Journ.	= 30 91	Eau gravitaire	= 185.98
Niveau max. SH9	= 9.93	Ecoulement total	= 275.05

Valeurs des hauteurs d'eau dans les réservoirs à la fin de l'année

SH : 143.360	SH7 : 0.042	SH8 : 0.063	SH9 : 0.152	SH10 : 0.018
--------------	-------------	-------------	-------------	--------------

décadaires, mensuelles et annuelles, calculées et observées. Ces tableaux donnent également aux mêmes pas de temps les valeurs des lames précipitées et d'un certain nombre de paramètres d'écoulement propres à chaque modèle (le tableau 2 est un exemple de sortie des résultats fournis par MODGLO). L'impression des tableaux journaliers de pluie et de débits observés et calculés est optionnelle. Un environnement graphique a été développé qui permet le tracé des séries chronologiques de débits observés et calculés à des pas de temps journaliers et décadaires. Ces graphiques sont un élément d'appréciation supplémentaire important lors de la phase de calage.

EXEMPLES D'UTILISATION

Présentation des bassins versants

Nous présentons ici les essais réalisés sur trois bassins versants: un bassin tunisien (l'Oued Sidi Ben Naceur) et deux bassins burkinabés (le Kuo à Digouera et le Kuo à Badara).

L'Oued Sidi Ben Naceur

Ce bassin versant présente une superficie de 13.9 km² et une pente moyenne de 4%. Le sol est argileux et recouvert d'un manteau de colluvion sablo-argileux. La végétation est constituée d'un taillis de lentisques bien conservé. Le climat est méditerranéen humide: pluie interannuelle de l'ordre de 850 mm, et ETP évaluée à environ 1170 mm. (Ibiza, 1985). La période étudiée s'étend de 1974 à 1977.

Les bassins versants du Kuo

Ces deux bassins versants situés en climat sub-soudanien présentent une végétation de savane classique. Les sols sont généralement de type ferrugineux mais l'on rencontre aussi des sols d'apport colluvial peu évolués. Le Kuo à Badara (période étudiée: 1955 à 1957) offre une superficie de 971 km² et le Kuo à Digouera (période étudiée: 1981 à 1983) une superficie de 67.8 km². Les pentes varient entre 2 et 4%. Ces bassins sont situés dans une zone où la pluie interannuelle est comprise entre 900 et 1200 mm. (Albergel, 1987).

Présentation de quelques résultats

Les figures 4, 5 et 6 présentent les résultats obtenus au pas de temps décadaire avec l'un ou l'autre des modèles. Comme on peut le voir, il existe une bonne correspondance entre lames écoulées calculées et observées, et ce dans des conditions de fonctionnement de bassins versants pourtant assez différentes les uns des autres: bassins de superficie allant de 14 à 971 km² et se trouvant dans des zones climatiques différentes, hétérogénéité des précipitations au sein même des périodes considérées, lames écoulées sur un même bassin pouvant varier d'un facteur 20 d'une année sur l'autre.

La figure 7 est un exemple de tracé au pas de temps mensuel qui présente, lui aussi, un bon niveau d'adéquation entre lames écoulées calculées et observées.

Fig. 4 Oued Sidi Ben Nasseur Tunisie
Modèle MODGLO - Années 1974 à 1977
Lames décennales observées et calculées

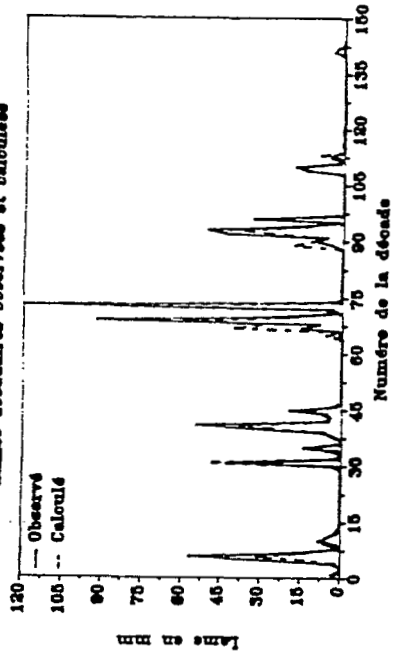


Fig. 5 Le Kuo à Bedara Burkina Faso
Modèle MODGLO - Années 1985 à 1987
Lames décennales observées et calculées

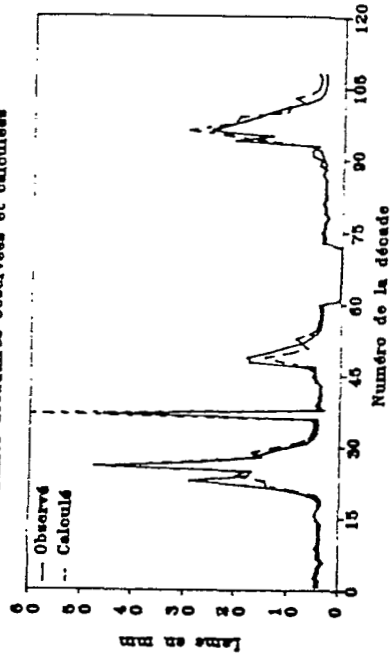


Fig. 6 Le Kuo à Digoneira Burkina Faso
Modèle CREC - Années 1981 à 1983
Lames décennales observées et calculées

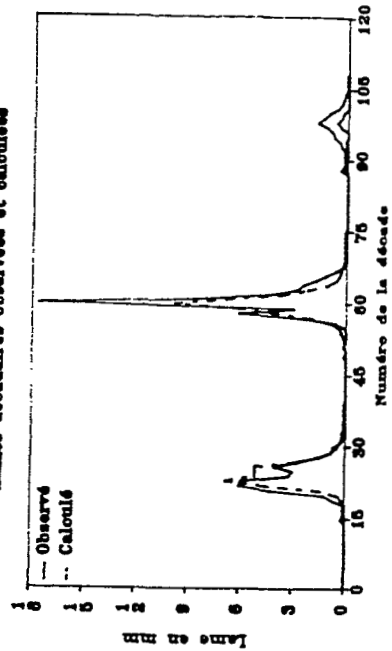
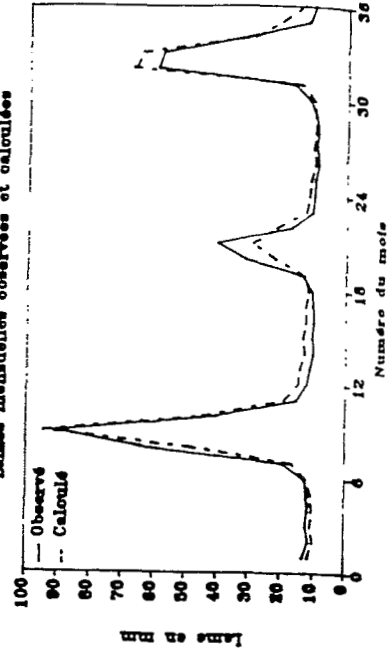


Fig. 7 Le Kuo à Bedara Burkina Faso
Modèle MODGLO - Années 1985 à 1987
Lames mensuelles observées et calculées



Ces différentes possibilités de sorties graphiques combinées aux tableaux de résultats présentés plus haut permettent à l'utilisateur de visualiser rapidement et précisément toute modification apportées aux paramètres des modèles.

CONCLUSIONS

Restructurés en modules distincts et adaptés sur micro-ordinateur, les modèles globaux conceptuels déterministes présentés, CREC et MODGLO, sont d'une utilisation simple pour un non spécialiste tant en Hydrologie qu'en Informatique. Ils présentent aux pas de temps décennales et mensuels un degré de précision des résultats tout à fait satisfaisant pour un aménageur ou un gestionnaire de projet. Dans ces conditions ces deux algorithmes constituent donc des outils opérationnels adaptés à l'évaluation des ressources en eau.

REFERENCES

- Albergel, J. (1987). Genèse et Prédétermination des Crues au Burkina Faso. Du m^2 au km^2 , Etude des Paramètres Hydrologiques et de leur Evolution. Thèse de Doctorat. Univ. Paris VI.
- Beven, K. (1987). Towards a New Paradigm in Hydrology. IAHS Publication 164
- Dezetter, A. (1987). Modèle Global "ORSTOM 74". Analyse des Structures et du Fonctionnement en vue d'une Reformulation. DEA USTL Montpellier.
- Guilbot, A. (1986). Des Multiples Applications d'un Modèle Conceptuel du Cycle de l'Eau en France. Rev. Int. Sciences de l'Eau. Vol 2, 1, pp 19-26.
- Ibiza, D. (1985). Point de Vue sur les Fonctions de Production. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol. XXI, 3.
- Klemes V., (1986). Dilettantism in Hydrology, Transition or Destiny. Wat. Resour. Res. 22, supplement 9, Aout 1986.
- Nelder, J. A., Mead, R., (1964). A Simple Method for Function Minimization. Computer Journal, 7: 308-313.
- Rosenbrock, H. H., (1960). An Automatic Method for Finding the Greatest or Least Value of a Function. Computer Journal, 3, 175.
- Servat, E., (1986). Présentation de Trois Modèles Globaux Conceptuels Déterministes: CREC5, MODGLO et MODIBI. Rapport ORSTOM, Dépt.F. UR 604.
- Servat, E., Dezetter A., (1988). Deux Méthodes d'Optimisation Non Linéaire. Théorie et Pratique. Publication OVNIh, Groupe de Recherche ULM, ORSTOM Montpellier.