

Influence de la nature et de l'origine des données sur la modélisation hydrologique de grands bassins versants en Afrique de l'Ouest

M. OUEDRAOGO, J. E. PATUREL, G. MAHE

Institut de Recherche pour le Développement (IRD), 01 BP 182, Ouagadougou 01, Burkina Faso

e-mail: jean-emmanuel.paturel@hydro.ird.bf

E. SERVAT, A. DEZETTER

Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Hydrologie-Vahyne, BP 5045, F-34032 Montpellier Cedex, France

D. CONWAY

Climatic Research Unit (CRU), University of East Anglia, Norwich NR4 7TJ, UK

Résumé Un important travail de récupération de données a été entrepris sur un domaine qui couvre principalement le Burkina Faso, la Côte d'Ivoire, et le Mali. Cette opération a abouti à la construction de trois grilles de données de pluie, de quatre grilles de données d'évapotranspiration potentielle (ETP). Les différents modèles à pas de temps mensuel utilisés faisant appel à une "donnée-sol", que l'on peut définir comme proche d'une capacité de rétention en eau du sol, on a obtenu, également, deux grilles de valeurs. Appliqués à différents bassins versants couvrant des espaces géographiques bien distincts, les modèles ont donné des résultats qui varient en fonction des grilles de données utilisées, des bassins versants et des modèles eux-mêmes. Ces premiers résultats posent le problème de l'influence de la nature et de l'origine des données sur la modélisation hydrologique en Afrique.

Mots clefs Afrique de l'Ouest; modélisation hydrologique; modélisation régionale; données

Key words West Africa; hydrological modelling; regional-scale modelling; data

DONNEES ET MODELES

La méthode employée consiste à estimer les lames d'eau sur des mailles régulières de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ en fonction de la pluie, de l'évapotranspiration potentielle en utilisant des modèles hydrologiques à base conceptuelle, à pas de temps mensuels (suffisant pour une étude régionale), couplés à un système d'information géographique (ArcView).

Données de pluie

Grâce à la banque de données du projet FRIEND AOC (Afrique de l'Ouest et Centrale) de l'UNESCO (alimentée par une information provenant principalement de l'IRD), les données de 200 postes pluviométriques couvrant l'ensemble de la zone d'étude ont permis de constituer des séries temporelles de données mensuelles sur une grille de résolution $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ pour une période 1950–1997 (grille TRAVAIL).

L'Université d'East Anglia nous a fournis deux fichiers de pluies mensuelles pour la période 1950–1995 à la même résolution spatiale: la première (grille CRU) est obtenue à partir des fichiers de l'Université d'East Anglia qui regroupent des données en une centaine de postes sur notre zone d'étude; la seconde (grille CRU-IRD) est obtenue par ajout à la grille CRU de données de l'IRD sur environ deux cents postes supplémentaires.

La Fig. 1 présente un exemple de comparaison des grilles CRU-IRD et TRAVAIL par application du test de Student d'égalité des moyennes de pluies annuelles au seuil de 5%. Des différences apparaissent (les écarts sont significatifs pour 298 cellules sur un total de 648) et il en est de même avec la grille CRU. Ces écarts, parfois importants, sont liés aux critères de sélection de l'information et aux modes de construction utilisés pour ces trois grilles.

Données d'évapotranspiration potentielle (ETP)

Nous disposons de quatre grilles d'ETP, de résolution $0.5^\circ \times 0.5$, sur la période 1950–1995 obtenues auprès de l'université d'East Anglia et constituées en utilisant quatre formulations d'estimation empirique de l'ETP inspirées des processus physiques décrits par Penman: l'ETP Reference Crop (grille RC) décrite par Shuttleworth (1993); l'ETP (grille TO) de Thom & Oliver (1977), l'ETP Penman-Monteith (grille PM) (Smith, 1992) et l'ETP Open Water (grille OW) (Shuttleworth, 1993).

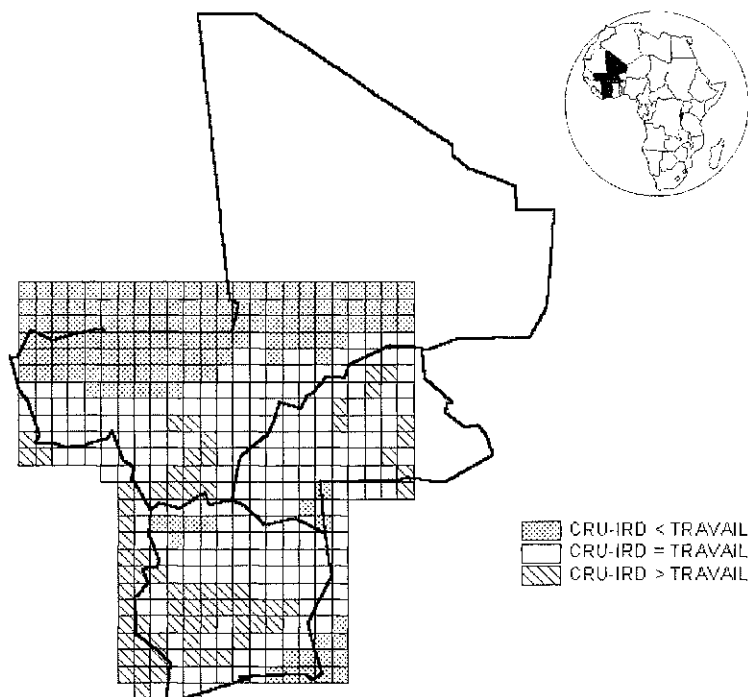


Fig. 1 Comparaison des moyennes des pluies annuelles des grilles CRU-IRD et TRAVAIL sur la période 1950–1995 par application du test de Student au seuil de 5%.

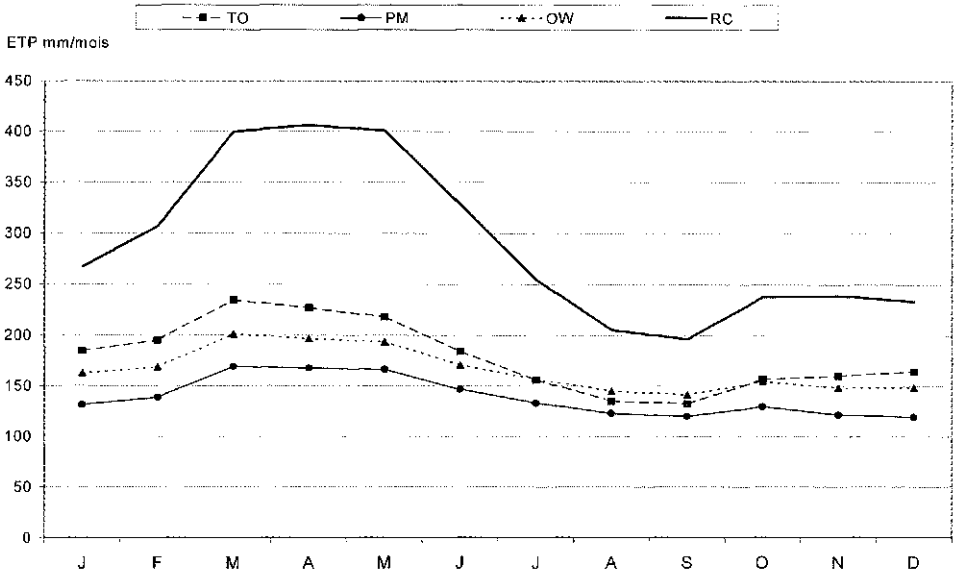


Fig. 2 Comparaison des moyennes mensuelles d'ETP sur la période 1950–1995 pour toutes les grilles.

Même si le cycle saisonnier de l'ETP (Fig. 2) est bien reproduit par les quatre types de formulation, l'ETP RC se distingue par des valeurs très importantes voire irréalistes. A l'inverse, les valeurs d'ETP Penman-Monteith présentent les plus faibles valeurs.

Données-sols

Nous avons deux grilles de "capacité de rétention en eau des sols" à une résolution de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$. La grille FAO dérive d'une vision pédologique de la définition des unités de sol auxquelles sont associées des classes de capacité de rétention en eau des sols telles qu'elles sont définies par la FAO dans son CD-Rom "Digital Soil Map of the World"; la grille CRU a été obtenue auprès de l'Université d'East Anglia qui se base sur les valeurs de capacité de rétention d'eau du sol estimées à partir de la carte d'unités de sols établie par la FAO mais en suivant une méthodologie plus agronomique décrite par Dunne & Willmott (1996).

Une comparaison des grilles FAO et CRU, illustrée sur la Fig. 3, montre que les valeurs de la grille FAO sont, globalement, nettement supérieures aux valeurs de la grille CRU (465 cellules sur un total de 565).

Bassins étudiés

Nous avons sélectionné sept sous-bassins du Bandama, du Niger et du Mouhoun (Volta Noire), représentatifs de la zone d'étude, de superficie variant de 1000 km^2 à $120\,000 \text{ km}^2$ et où nous avons suffisamment d'informations disponibles.

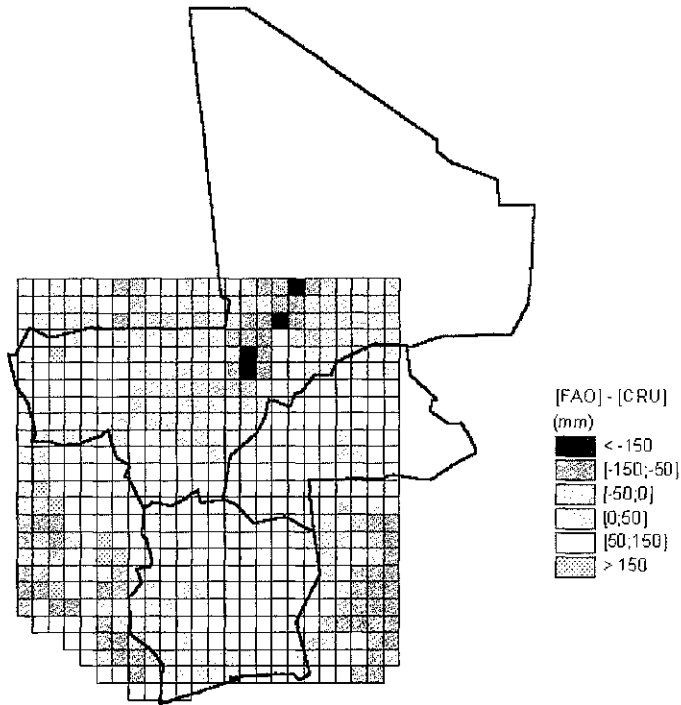


Fig. 3 Différence des capacités de rétention d'eau du sol entre les grilles FAO et CRU.

Modèles utilisés

Nous disposons de deux modèles hydrologiques à base conceptuelle et à pas de temps mensuels: le modèle CONWAY qui est un modèle de bilan défini par Thornthwaite et modifié par Conway & Jones (1999) et le modèle à réservoir GR2M du Cemagref (Makhlouf, 1994). Nous ne détaillerons pas là les deux modèles et invitons les lecteurs à consulter la bibliographie. Ces modèles à deux paramètres présentent un mode de fonctionnement comparable mais les équations qui les décrivent sont différentes:

- une fraction de la pluie mensuelle participe à l'écoulement direct (paramètre 1),
- le niveau d'un réservoir qui représente le stock d'eau évolue en fonction de la pluie et de l'évapotranspiration potentielle par l'intermédiaire d'une évapotranspiration réelle,
- une vidange progressive de ce stock d'eau produit l'écoulement lent (paramètre 2).

METHODOLOGIE D'ETUDE ET RESULTATS

Méthodologie

En se basant sur la discrétisation des bassins en mailles régulières, on simule à l'aide des modèles les variations de l'humidité du sol, de l'évapotranspiration réelle, et de l'écoulement en fonction de la précipitation, de l'évapotranspiration réelle et des

caractéristiques physiographiques de la maille considérée. L'écoulement total à l'exutoire du bassin est obtenu par sommation des différentes contributions élémentaires, calculées pour chaque maille et pour chaque pas de temps, indépendamment les unes des autres.

Échantillons de calage et de validation

On procède aux différents calage-validation des paramètres des modèles pour chaque "jeu" de grilles possibles ($4 \times 3 \times 2 = 24$ possibilités). Il apparaît que les performances des modèles, mesurées au sens du critère de Nash qui permet de comparer les hydrogrammes observés avec les hydrogrammes estimés, diffèrent selon les bassins considérés. Rappelons que plus la valeur de Nash est proche de 100, plus la reproduction de l'hydrogramme observé est bonne.

Résultats

Du Tableau 1 qui synthétise les résultats en validation du meilleur jeu de grille pour chaque bassin et chaque modèle, il ressort les résultats suivants:

- les grilles de pluie TRAVAIL (modèle GR2M) et CRU (modèle CONWAY) fournissent les meilleurs résultats.
- la grille ETP RC fournit les meilleurs résultats, tous modèles confondus.
- la grille sol FAO fournit les meilleurs résultats, tous modèles confondus.
- le modèle GR2M fournit les meilleurs valeurs de Nash.

CONCLUSIONS

Pour les bassins, les modèles et le pas de temps sélectionnés, ce premier travail a permis de mettre en évidence des résultats qui peuvent apparaître curieux et non

Tableau 1 Synthèse des meilleurs jeux de grille de données en validation.

Bassin	Surface (km ²)	Modèle	Grille pluie	Grille ETP	Grille sol	Nash
Semien	29 300	GR2M	TRAVAIL	TO	FAO	90
Semien	29 300	CONWAY	CRU	PM	CRU	44
Samandeni	4 575	GR2M	TRAVAIL	RC	FAO	46
Samandeni	4 575	CONWAY	CRU	RC	CRU	43
Koulikoro	120 000	GR2M	CRU-IRD	RC	FAO	66
Koulikoro	120 000	CONWAY	CRU-IRD	RC	FAO	90
Iradougou	1 990	GR2M	TRAVAIL	TO	FAO	82
Iradougou	1 990	CONWAY	TRAVAIL	RC	FAO	84
Douna	101 600	GR2M	mauvais résultats			
Douna	101 600	CONWAY	CRU	RC	FAO	23
Boromo	58 000	GR2M	TRAVAIL	OW	CRU	68
Boromo	58 000	CONWAY	CRU	TO	FAO	40
Bada	24 050	GR2M	TRAVAIL	TO	FAO	62
Bada	24 050	CONWAY	CRU	RC	FAO	48

forcément explicables. La grille de pluie CRU-IRD ne donne pas de meilleurs résultats que la grille CRU alors qu'elle est plus proche de la réalité locale pluviométrique (les modèles préféreraient une information "pluie" plus lissée). Alors que les valeurs nous semblaient extrêmement élevées et peu réalistes, la grille ETP RC donne les meilleurs résultats (le concept ETP n'est probablement pas bien décrit dans chacun de ces modèles et mériterait d'être revu).

Ces deux exemples montrent que le choix de ses données de base et de son modèle dans le cadre d'une modélisation régionale est loin d'être une opération sans risque et qui ne semble pas résulter de règles qui nous sembleraient, au premier abord, logiques.

Ce travail devra être approfondi et étendu à d'autres régions, à d'autres modèles travaillant à des pas de temps différents.

REFERENCES

- Conway, D. & Jones, P. D. (1999) Assessing the impact of future climatic change on the water resources and the hydrology of the Rio de la Plata basin, Argentina. *Final Report, Climatic Research Unit, University of East Anglia, Norfolk, UK.*
- Dunne, K. A. & Willmott, C. J. (1996) Global distribution of plant-extractable water capacity of soil. *Int. J. Climatol.* **16**, 841–859.
- Makhlouf, Z. (1994) Compléments sur le modèle pluie-débit GR4J et essai d'estimation de ses paramètres. Thèse de doctorat, Université Paris-Sud, Paris, France.
- Shuttleworth, W. J. (1993) Evaporation. Chapter 4 in: *Handbook of Hydrology* (ed. by R. D. Maidment). McGraw-Hill, New York, USA.
- Smith, M. (1992) Expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. *Report, Land and Water Development Division, FAO, Rome, Italy.*
- Thom, A. S. & Oliver, H. R. (1977) On Penman's equation for estimating regional evapotranspiration. *Quart. J. Roy. Met. Soc.* **103**, 345–357.