

Vasson

DOCUMENTATION
ANALYSE 453

UN MODELE HYDROMETEOROLOGIQUE SIMPLIFIE

ET QUELQUES APPLICATIONS REGIONALES

G. Girard ¹, J.P. Fortin ², R. Charbonneau ²

RESUME

L'originalité de ce modèle matriciel réside en son extrême simplicité de structure verticale et son application facile à tous les bassins, petits ou grands, quelle que soit leur situation géographique, et enfin, en son exécution très rapide sur calculateur électronique digital.

Les auteurs présentent ce modèle appelé "SIM", et les résultats obtenus pour des bassins versants de diverses superficies soumis à des climats différents. Conscients des imperfections de ce modèle et des hypothèses rudimentaires admises, ils attirent néanmoins l'attention des hydrologues désireux de développer des modèles conceptuels, sur une manière simple d'approcher la réalité fort complexe du cycle de l'eau dans le sol.

ABSTRACT

The originality of this distributed parameter mathematical

1. Directeur de recherches de l'ORSTOM, France.
2. Professeur, Centre Québécois des Sciences de l'Eau Côte ?

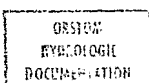
O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 39632

B

13 JUIN 1994

9 JUIN 1971



80616

model resides in the extreme simplicity of its vertical structure, in its very easy application to all basins, small or large, regardless of their geographical location, and also in the short time required for its execution on digital electronic computers.

The authors present this model, called SIM, and results from its application to basins of widely differing areas, subject to quite different climates. Conscious of the imperfections of the model and of the crude hypotheses underlying it, the authors nevertheless point out the potential usefulness of SIM to hydrologists interested in developing conceptual models, as a means of approximating the complex reality of the water cycle in the ground.

HISTORIQUE

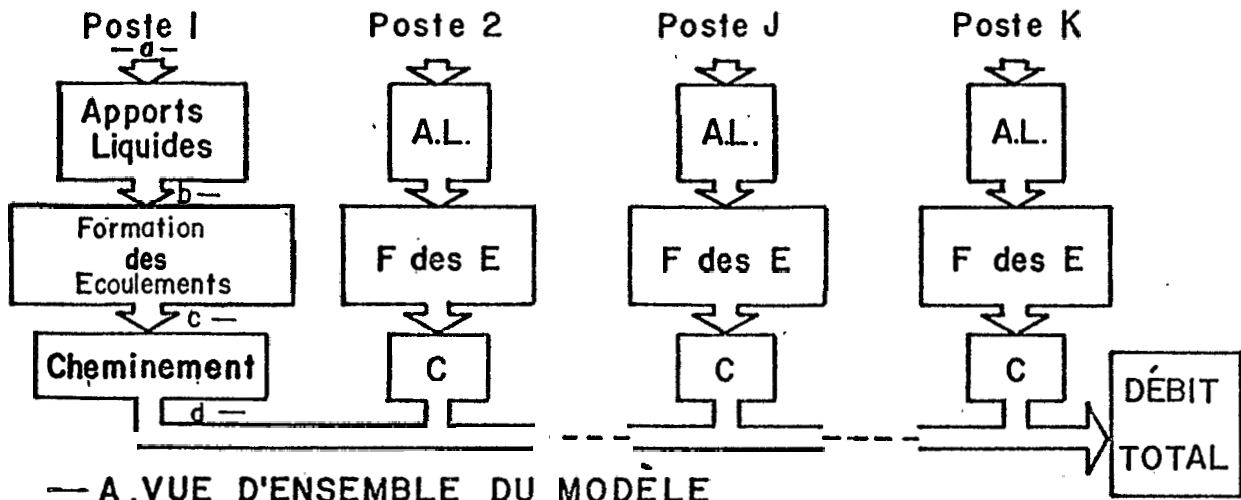
Les modèles antérieurs (Charbonneau, 1969; Girard, 1970; Fortin, 1970) que nous avons testés, modifiés, compliqués par addition de principes plus ou moins valables, ou bien allégés, étaient basés sur le bilan de l'eau dans le sol; bilan tenu à jour à chacune des étapes où cette eau était considérée. L'écoulement calculé devait égaler les écoulements observés, compte tenu des pertes par évapotranspiration et de la variation du stock d'eau aux divers étages retenus. Afin de mieux reproduire les crues et les étiages, et de satisfaire l'évapotranspiration, nous avons été amenés à augmenter le nombre de réservoirs linéaires en série, et à introduire des coefficients et des seuils indispensables dont les valeurs restaient difficilement chiffrables pour les réservoirs supérieurs.

Dans ces différents modèles, seules les caractéristiques du réservoir linéaire de basses eaux, avec ses deux orifices situés l'un au-dessus de l'autre, étaient déterminés à partir des débits observés. En fait, le fonctionnement de ce réservoir a pu être assimilé à celui d'un réservoir possédant un seul orifice à écoulement proportionnel au carré de la charge. De plus, l'ensemble des réservoirs supérieurs pouvait être aussi assimilé au fonctionnement d'un réservoir unique alimentant à débit constant le réservoir de base et produisant au-dessus d'un seuil un écoulement proportionnel à la puissance $3/2$ de la charge. Nous avons donc opté pour un modèle très simplifié sur la verticale, c'est-à-dire, possédant un minimum de réservoirs en série tout en conservant le principe des réservoirs indépendants situés en parallèle pour tenir compte de la variation spatiale des facteurs conditionnels de formation de l'écoulement.

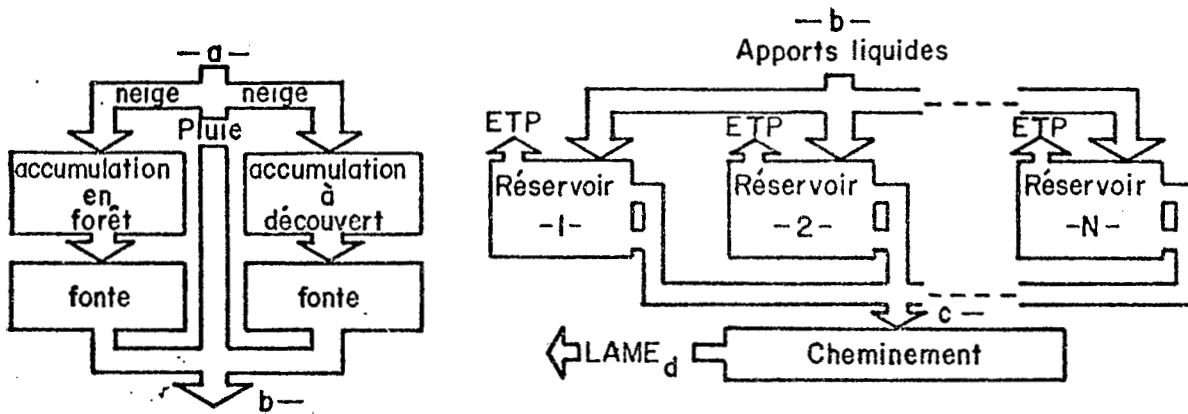
CONCEPTION DU MODELE SIM

Le bassin versant limité à la station de mesure, est découpé en un ensemble de polygones correspondant à l'aire d'influence de chacun des K postes pluviométriques associés à ce bassin versant (fig 1-A). Un nouveau découpage de ce bassin en zones "isochrones" permet d'obtenir la matrice caractéristique $S(I,J)$ de ce bassin fixant la superficie de la parcelle soumise à l'influence du pluviomètre J et incluse à la zone isochrone I (Roche, 1967).

Chaque polygone, ou toute zone de bassin procédant d'un découpage préalable, est représenté par un ensemble de L ou au maximum N



— A. VUE D'ENSEMBLE DU MODÈLE



— B. GENÈSE DES APPORTS LIQUIDES

— C. FORMATION DES ÉCOULEMENTS

Fig. 1. Schéma du modèle

réservoirs dont la superficie correspond à des zones homogènes du point de vue couverture végétale, structure des sols, épaisseur de la zone aérée.

Au temps t , sur le contenu en eau W de chacun de ces L réservoirs est, successivement, prélevée directement l'évapotranspiration E à un taux fixe ou en fonction de la quantité d'eau totale qu'il contient, ajoutée la quantité des apports liquides A provenant des eaux de fonte de neige et des eaux pluviales, et, retranchée la quantité d'eau d'écoulement q évacuée par les deux orifices affectés à chacun de ces réservoirs. Ce bilan peut s'exprimer de la façon suivante:

$$W_t = W_{t-1} - E + A - q \quad (1)$$

Chaque réservoir alimente directement le cours d'eau au moyen de deux orifices: l'un situé à la partie inférieure, l'autre au-dessus de ce dernier à la hauteur du seuil L_x . Chacun de ces réservoirs dont le contenu représente la hauteur d'eau disponible ou plutôt la hauteur d'eau mobilisable dans le sol, fournit un écoulement relativement lent, sensé représenter l'écoulement de base issu de la parcelle $S(I,J)$ et qui est défini par une loi de vidange du type laminaire c'est-à-dire proportionnelle au carré de la charge, égale dans ce cas à W . Temporairement, quand W a une valeur supérieure à L_x , chacun de ces réservoirs fournit un écoulement rapide, assimilé à un ruissellement pur ou retardé et défini par une loi de vidange du type turbulent. Cet écoulement est proportionnel à la puissance $3/2$ de la charge, égale dans ce cas à $W - L_x$ (fig 1-C).

Nous pouvons donc écrire:

$$q = K_1 W^{\frac{2}{3}} + K_2 (W - L_x)^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

où K_1 et K_2 sont des coefficients dépendant de la perméabilité du sol, de la dimension du bassin et enfin du pas de temps choisi.

Il est bien certain que cette manière brutale de gérer le bilan de l'eau mobilisable dans le sol, et de mêler dans un réservoir unique, toute la partie de l'eau disponible heurte l'esprit de tout spécialiste. On aimerait pouvoir séparer et quantifier l'eau sous ses différents aspects (eau des réserves profondes, eau de la nappe phréatique, eau capillaire suspendue, eau pelliculaire).

Toutefois, au cours de l'élaboration du modèle SIM, nous avons préféré nous en tenir à un point de vue strictement macroscopique.

La sommation des écoulements issus des L réservoirs, représente l'écoulement global fourni par le polygone affecté au poste pluviométrique J . Après redistribution de cet écoulement proportionnellement à la valeur des éléments des lignes I de la matrice $S(I,J)$ pour le poste pluviométrique J , nous assurons le transport de chacun de ces écoulements élémentaires du lieu de sa formation à l'exutoire selon la méthode de l'isochronisme (Roche, 1967) sans prévoir par ailleurs de variation des durées d'isochronisme ou d'étalement de l'onde de crue.

L'écoulement global à l'exutoire est obtenu par la sommation directe des écoulements élémentaires ainsi acheminés.

GENESE DES APPORTS LIQUIDES

Sur chacun des L ou au maximum N réservoirs affectés au poste météorologique J, les apports en eau liquide sont évalués à partir des précipitations liquides tombées au poste J et des lames d'eau de fusion (fig 1-B). La détermination de la lame d'eau de fonte demande la connaissance de nombreuses variables (humidité de l'air, isolation, température de l'air...) et exigerait pour être exacte de tenir compte de nombreux effets (répartition spatiale du stock de neige, murissement de celui-ci, rétention en eau, exposition, couvert végétal).

Par souci de simplification, seuls ont été retenus:

comme variables principales:	la température moyenne de l'air et l'équivalent en eau du stock de neige;
comme facteur principal:	la couverture végétale;
comme paramètres:	le seuil de température et le taux de fonte sous ces deux couverts;

Ainsi nous avons procédé à un autre découpage en surface du bassin versant, non seulement selon les polygones affectés au poste météorologique J comme précédemment, mais également en deux zones superficielles l'une entièrement recouverte de forêts et l'autre déboisée. A chacune de ces zones sont affectés les taux de fonte 0,05 et 0,06 pouce par degré-jour et des seuils de température de 32°F (sol boisé) et 27°F (sol déboisé) qui permettent d'évaluer la lame d'eau produite sur chacune d'elle en fonction de la température moyenne. La lame moyenne de fonte sur le polygone J est une pondération des lames calculées

sur chacune des zones superficielles. Cette partie du modèle de type matriciel se prête facilement à l'introduction de toutes nouvelles variables et facteurs conditionnels de fonte de neige (Charbonneau 1969, Girard 1970).

EVALUATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

Tous les modèles déterministes et conceptuels sont basés sur le bilan de l'eau dans le sol ou bien utilisent un indice d'humidité variable selon la saison. Dans ce bilan, le terme "perte par évapotranspiration" représente sous bien des climats un pourcentage très important des précipitations. Or, d'aucuns savent combien il est délicat de tenter d'apprécier la valeur de l'évapotranspiration potentielle (ETP) et surtout la valeur de l'évapotranspiration réelle véritable, compromis entre le pouvoir évaporant de l'atmosphère et les disponibilités en eau du sol.

Engagé dans la voie des approximations et des simplifications nous avons admis que pour un sol donné l'évapotranspiration réelle demeure égale à l'évapotranspiration potentielle tant que le déficit en eau du sol n'a pas atteint une certaine valeur, puis elle diminue linéairement ou non en fonction du pourcentage de l'humidité encore disponible. L'indice servant à évaluer ETP est choisi parmi les données dont on dispose:

- évaporation moyenne mensuelle ou journalière du bac de classe "A"
- évaporation journalière du bac WRIGHT
- données météorologiques (température-humidité)

Un paramètre de réglage permet d'ajuster les valeurs de l'indice choisi en vue du calcul de l'évapotranspiration réelle.

REMARQUES SUR LA FORMATION DES ECOULEMENTS

Il est bien connu que dans un bassin versant, il existe des zones qui absorbent toujours les précipitations, quelles que soient leurs intensités; d'autres qui gorgées temporairement d'eau deviennent imperméables; d'autres encore qui toujours soumise à l'emprise de la frange capillaire d'une nappe peu profonde vont réagir à chaque impulsion pluviométrique.

Dans ces conditions, il est inutile de rechercher la précision sur une verticale alors qu'actuellement il est même quasiment impossible de formuler dans un plan horizontal les écoulements et les divers échanges d'eau entre ces zones, sans parler d'ailleurs des variations et des interactions des écoulements souterrains. S'il est certain que le découpage de chaque polygone au maximum en N réservoirs indépendants dans l'espace ne représente pas directement la réalité, celui-ci permet de pouvoir représenter l'aire d'influence du poste pluviométrique ou météorologique par une série de zones homogènes du point de vue des caractéristiques du sol et de mieux suivre la formation des écoulements sur chacune d'elles. Un semblable découpage avait été suggéré par (KOHLER, 1962) pour déterminer la valeur de l'indice moyen d'humidité du sol nécessaire au calcul du rendement de l'averse. Bien que les hypothèses retenues ne soient valides que sous certaines conditions, le modèle appliqué aux divers bassins de superficie très variables et sous des climats différents donne des reproductions de débit forts encourageantes (fig 2, 3 et 4).

RESULTATS OBTENUSA) Bassin versant du réservoir Kénogami (province de Québec, Canada)a) Caractéristiques de la simulation

superficie du bassin versant: 3290 Km²

pas de temps: 24 heures

nombre de stations météorologiques: 4

variables: 1. température moyenne journalière de l'air
2. précipitation journalière

nombre de réservoirs: 5 valeurs du seuil L_x 0, 3, 5, 7, 10 pouces
pourcentage de la surface 10, 15, 15, 15, 45%

b) Précision des résultats

Pour les six années d'observation de 1964 à 1969, les débits maxima sont reproduits à +16, - 55, +1, -13, -16, +18% et les volumes annuels d'écoulement évalués à \pm 6%. Le critère d'évaluation quantitative¹ des résultats (Nash, 1969) prend les valeurs suivantes: 81, 71, 83, 70, 67 et 85% pour les six années simulées successivement. La figure 2 permet d'apprécier la simulation de l'hydrogramme pour l'année 1964.

B) Bassin versant des eaux-volées (province de Québec- Canada)a) Caractéristiques de la simulation

superficie du bassin versant: 3,93 Km²

pas de temps: 1 heure

¹ La valeur du critère C est calculée selon l'équation suivante:

$$C = 1 - \left(\frac{\sum (Q_o - Q_c)^2}{\sum (Q_o - \bar{Q}_o)^2} \right)$$

ou Q_o, \bar{Q}_o et Q_c sont respectivement les débits observé, moyen et calculé.

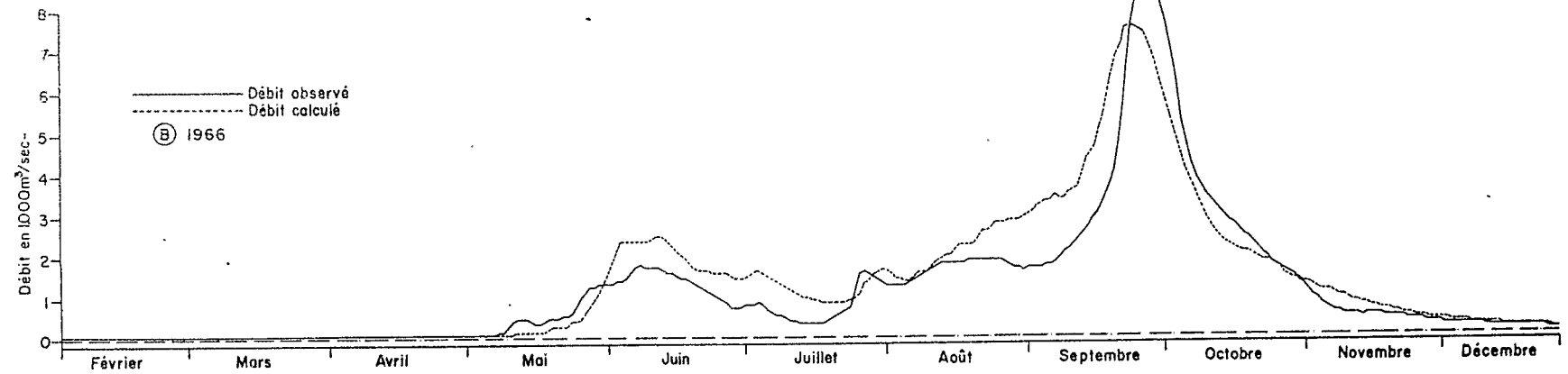
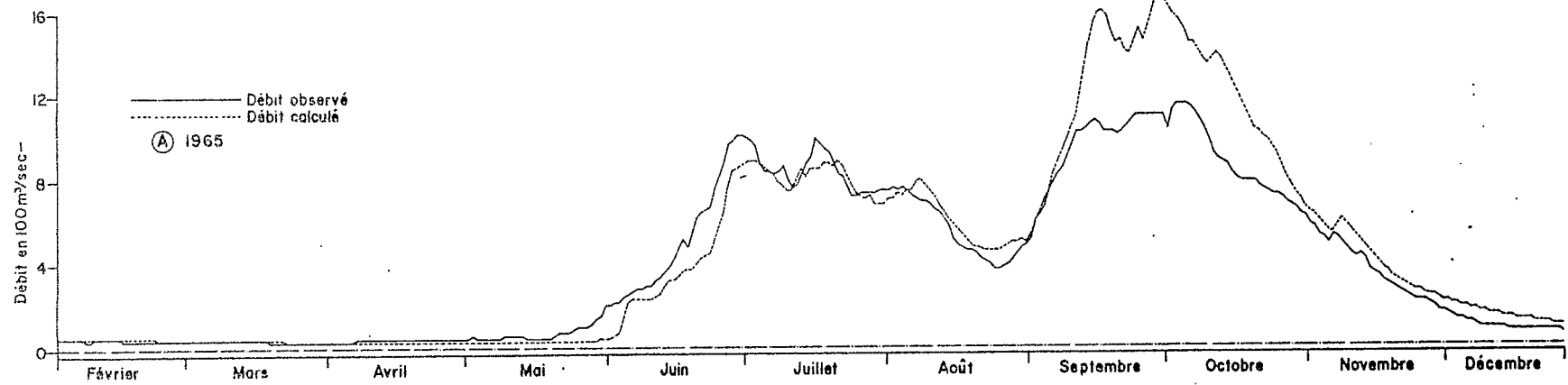


Fig. 4. Débits moyens quotidiens de la Nam Mun à Pak Mun en Thaïlande.

nombre de stations pluviométriques: 1

variables: 1. précipitation horaire

2. évaporation journalière du Bac WRIGHT

nombre de réservoirs: 5 valeur de L_x 0, 3, 5, 7, 9 pouces

pourcentage de la surface 10, 15, 15, 15, 45%

b) Précision des résultats

Sur une période d'observation de 38 jours (fig 3) le même critère de reproduction est de 95%. D'autres essais sur des périodes différentes non reproduites ici, ont conduit à des résultats similaires.

C) Bassin versant de la Nam Mum à Pak Mune (Thaïlande)

a) Caractéristiques de la simulation

superficie du bassin versant: 114000 Km²

pas de temps: 24 heures

nombre de stations pluviométriques: 49

variables: 1. précipitation journalière

2. évaporation mensuelle moyenne d'un seul bac de classe "A"

nombre de réservoirs: 2 pourcentage de la surface 30 et 70%

Pour ce bassin versant, il a été tenu compte de l'homogénéité des caractéristiques géographiques principales (rizière, forêt, savane) des zones polygonales affectées au pluviomètre J. Pour chaque regroupement de ces zones homogènes les caractéristiques de deux réservoirs décroissaient selon l'ordre des caractéristiques géographiques indiqués.

b) Précision des résultats

Pour trois données de reproduction des débits, les erreurs sur

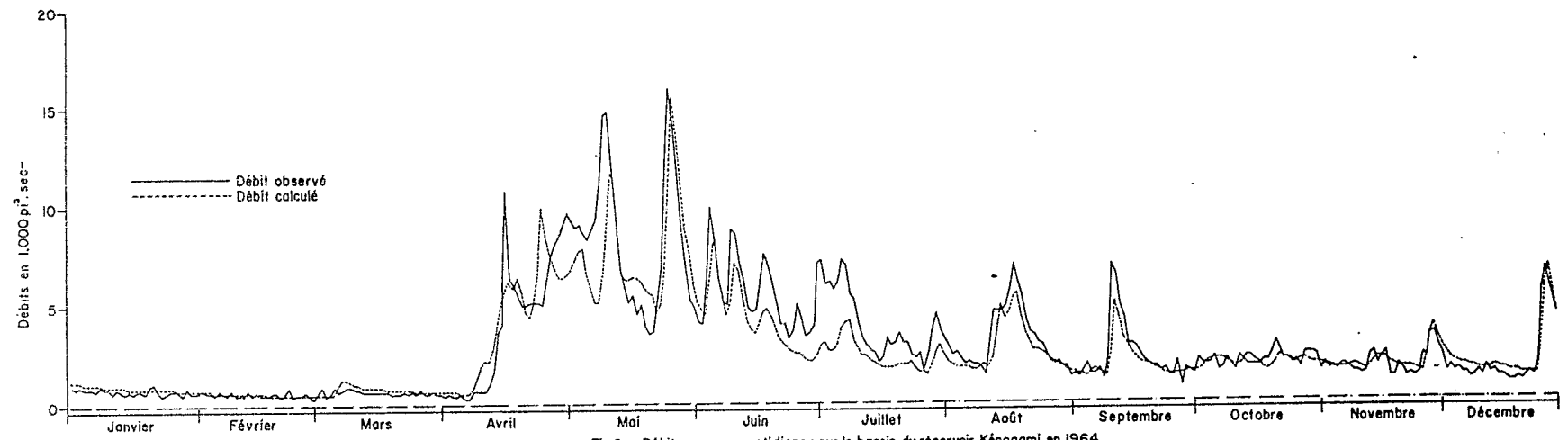


Fig.2. Débits moyens quotidiens pour le bassin du réservoir Kénogami en 1964.

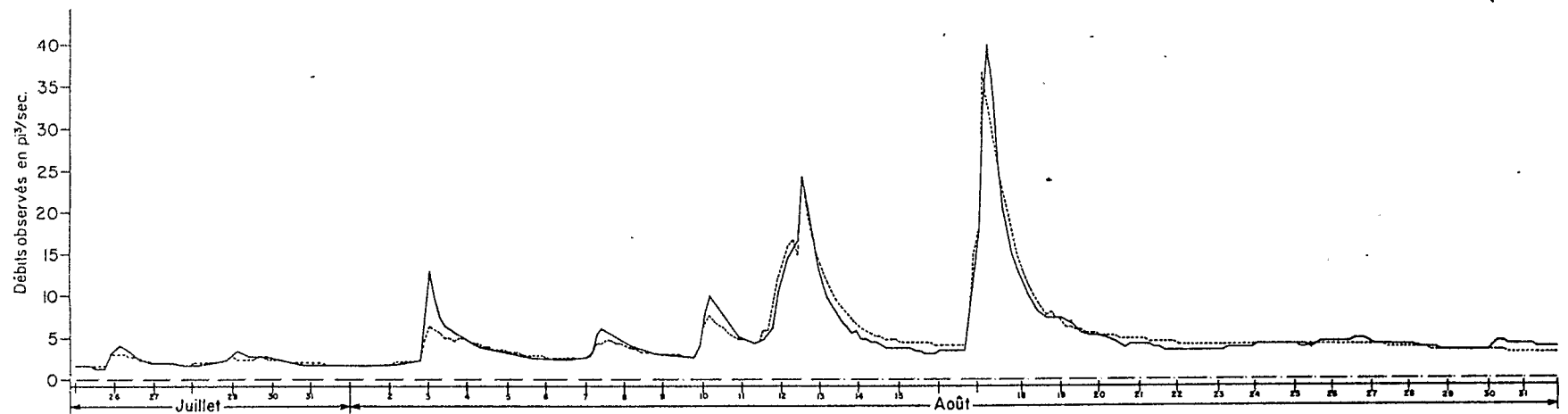


Fig. 3. Débits horaires pour le bassin du ruisseau des Eaux-volées du 25 juillet au 31 août 1966.

les maxima annuels 8580, 3720 et 1120 m³/sec furent respectivement de -14; 38; 60% et celles sur l'écoulement annuel de 5; 10; 4%.

Les valeurs extrêmes ponctuelles de la précipitation totale annuelle sont pour une même année de 900 et 2500 mm et celle de la lame d'eau stockée dans les rizières est en moyenne de 200 mm. Nous pouvons donc constater la souplesse de ce modèle et son efficacité à prendre en compte les variations spatiales et temporelles des variables (précipitations) et les facteurs conditionnels de l'écoulement (végétation, stockage d'eau).

CONCLUSION

Les résultats obtenus avec ce modèle hydrométéorologique pour une gamme de bassins versants (3,9 Km² à 114,000 Km²) situés sous des climats différents, bien qu'ils soient entachés d'erreurs, montrent les possibilités et d'adaptabilité de ce modèle à reproduire les débits des cours d'eau issus de zones possédant des caractéristiques physiques variées.

Du type matriciel, ce modèle déterministe se prête à l'analyse des composantes. Il a permis aux auteurs de détecter les facteurs importants du processus de formation puis l'écoulement des eaux et les faiblesses même du modèle.

Pour mieux comprendre le comportement d'un bassin versant, il est indispensable de pouvoir travailler sur une longue période continue, mais surtout d'évaluer à partir des équations éner-

gétiques l'évapotranspiration potentielle, puis l'évapotranspiration réelle compte tenu des disponibilités en eau du sol, et, d'améliorer la fonction cheminement de l'eau dans le réseau hydrographique.

Toutefois, la qualité et la quantité des variables hydro-météorologiques disponibles ainsi que leur non-représentativité spatiale engendrent des erreurs de reproduction des débits (Charbonneau, 1971) et influencent les valeurs trouvées pour certains paramètres, aussi l'extrême prudence conduirait les auteurs à rechercher une reproduction statistiquement valable.

BIBLIOGRAPHIE

CHARBONNEAU, R. 1969

Modèle mathématique de crues dues à la fonte de la neige.
Le naturaliste canadien, no. 96

CHARBONNEAU, R., FORTIN, J.P., GIRARD, G. 1971

Précision et sensibilité des modèles paramétriques.
Huitième symposium canadien sur l'hydrologie, Québec 26, 27 mai 1971

FORTIN, J.P., GIRARD, G. 1970

Modèle budgétaire de crue estivale
Ministère des Richesses naturelles du Québec, pub. H-12

GIRARD, G. 1970

Un modèle mathématique pour crues de fonte de neige et son application au Québec.
Cahiers ORSTOM, série hydrologie, Vol. VII, no 1

KOHLER ET RICHARDS 1962

Multicapacity basin accounting for predicting runoff from storm precipitation.
Journal of Geophysical Research, vol 67 no. 13,

NASH, J.E. 1969

A course of lectures on parametric or analytical hydrology.
Great Lakes Institute. University of Toronto, p. 238, lecture no 12

ROCHE, M., SLIVITZKY, M. 1967

Modèle mathématique pour une crue de fonte de neige.
Cahiers ORSTOM, série hydrologie Vol. IV, no. 1