

Note

« Simulation de la fonte printanière au bassin des Eaux Volées, forêt Montmorency, Québec »

Mohamed Berraja, Mireille Bouchard et Danielle Lauzier
Géographie physique et Quaternaire, vol. 42, n° 2, 1988, p. 197-203.

Pour citer cette note, utiliser l'information suivante :

URI: <http://id.erudit.org/iderudit/032726ar>

DOI: 10.7202/032726ar

Note : les règles d'écriture des références bibliographiques peuvent varier selon les différents domaines du savoir.

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter à l'URI <https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/>

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche. Érudit offre des services d'édition numérique de documents scientifiques depuis 1998.

Pour communiquer avec les responsables d'Érudit : info@erudit.org

SIMULATION DE LA FONTE PRINTANIÈRE AU BASSIN DES EAUX VOLÉES, FORÊT MONTMORENCY, QUÉBEC

Mohamed BERRAJA, Mireille BOUCHARD et Danielle LAUZIER, Département de géographie, Université du Québec à Montréal, C.P. 8888, succ. «A», Montréal, Québec H3C 3P8.

RÉSUMÉ Les auteurs présentent une étude sur la simulation de la période de fonte de la neige au bassin des Eaux Volées (forêt Montmorency) par le modèle SSARR. Si la reconstitution des débits moyens de la fonte printanière est acceptable, la sous-estimation des débits journaliers de pointe et la fonte rapide des années 1972, 1974, 1976, 1978 et 1980 ont poussé les auteurs à faire l'analyse des composantes hydro-climatiques reliées à ces événements. Cet examen a clairement établi que: 1) dans des conditions de temps relativement dégagé, la méthode de degré-jour utilisée évalue d'une façon acceptable l'écoulement ainsi que les débits de pointe journaliers; 2) Dans des conditions de type de temps cyclonique du sud, les effets combinés de la température et des précipitations accompagnés de flux de chaleur advective transportée par la masse d'air humide expliquent les coefficients de ruissellement élevés, la sous-estimation des débits de pointe et l'apparition des débits extrêmes. L'importance du flux thermique advective a été souligné et discuté.

ABSTRACT *Spring melt simulation in the Eaux Volées watershed, Montmorency Forest, Québec.* The snowmelt simulation periods in the Eaux Volées watershed are well computed when using the SSARR model, but the daily runoff simulations do not fall within an acceptable range. Analysis of related hydro-climatic components was necessary to explain the underestimates of daily peak flows and early snowmelt for the years 1972, 1974, 1976, 1978 and 1980. The test has clearly established that: 1) under clear sky conditions the daily snowmelt and the peak flow simulations work well when using the degree-day method; 2) under overcast conditions the combined effects of rain, temperature, wind and advected warm air from southern cyclonic conditions account for the underestimated peak flows and the high runoff coefficients. The importance of the advective heat transfer is underlined in relation to flow forecasting.

INTRODUCTION

L'objectif de cette étude est d'appliquer le modèle SSARR au bassin expérimental des Eaux Volées (forêt Montmorency) pour vérifier ses performances quant à la simulation de la fonte printanière par la méthode de degré-jour pour différents types de temps (pluvieux et dégagé).

La crue du printemps s'effectue d'avril à juin et mobilise plus de 50 % de l'écoulement (Plamondon *et al.*, 1984); la durée de cette période et la forme de l'hydrogramme de fonte peuvent varier selon les différents types de temps. Les caractéristiques prédominantes (contrastes thermiques très marqués entre l'hiver et l'été) laissent place aux influences maritimes qui sont assez efficaces pour agir sur le régime des précipitations. Par ailleurs, c'est au printemps que les variations thermiques entre les masses d'air sont le plus accentuées et le plus efficaces pour agir sur la fonte de la neige (Paul, 1973).

LES CONDITIONS DE L'ÉTUDE

Les conditions générales: l'étude a été effectuée à la forêt Montmorency, au bassin expérimental des Eaux Volées, sise à 80 km au nord de la ville de Québec (fig. 1). Ses coordonnées géographiques sont le 47°17'22" de latitude nord et le 71°09'44" de longitude ouest.

Le bassin expérimental des Eaux Volées se trouve dans la partie sud-ouest de la forêt (fig. 1). Il couvre une superficie

de 9,17 km² et présente l'aspect d'un plateau de 780 m d'altitude moyenne. Le plateau est entaillé jusqu'à 560 m et est surplombé de sommets de 980 m de hauteur environ; son exposition est nord-est. Son climat est du type Dfc selon la classification de Geiger-Köppen; il est du type continental froid. Les températures moyennes varient entre -18°C et 16°C pour les mois de janvier et juillet respectivement. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 1 450 mm, dont les deux tiers tombent sous forme de neige (Ferland et Gagnon, 1974; Plamondon *et al.*, 1980).

Le bassin-versant, fortement boisé, appartient au domaine climacique de la sapinière à bouleau blanc, qui domine dans une proportion supérieure à 80 % (Côté, 1966; Plamondon *et al.*, 1984).

Cette forêt a connu deux perturbations principales. De 1974 à 1981, l'ensemble du bassin-versant a subi une coupe partielle de l'ordre de 15 %, dont la plus grande partie était terminée en 1976 (Plamondon *et al.*, 1980). Par ailleurs, la région n'a pas été épargnée par les ravages de la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

Les instruments et les méthodes: Les données climatiques ont été recueillies à la station principale située à 5,3 km du bassin-versant. Elles ont été complétées par des mesures prises dans une dizaine de stations situées dans le bassin. La mesure de l'écoulement de l'ensemble du bassin a été assurée par la station de jaugeage 051003 indiquée sur la figure 1.

Pour la simulation des débits moyens journaliers de la période de fonte printanière, nous avons utilisé le modèle SSARR (Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation).

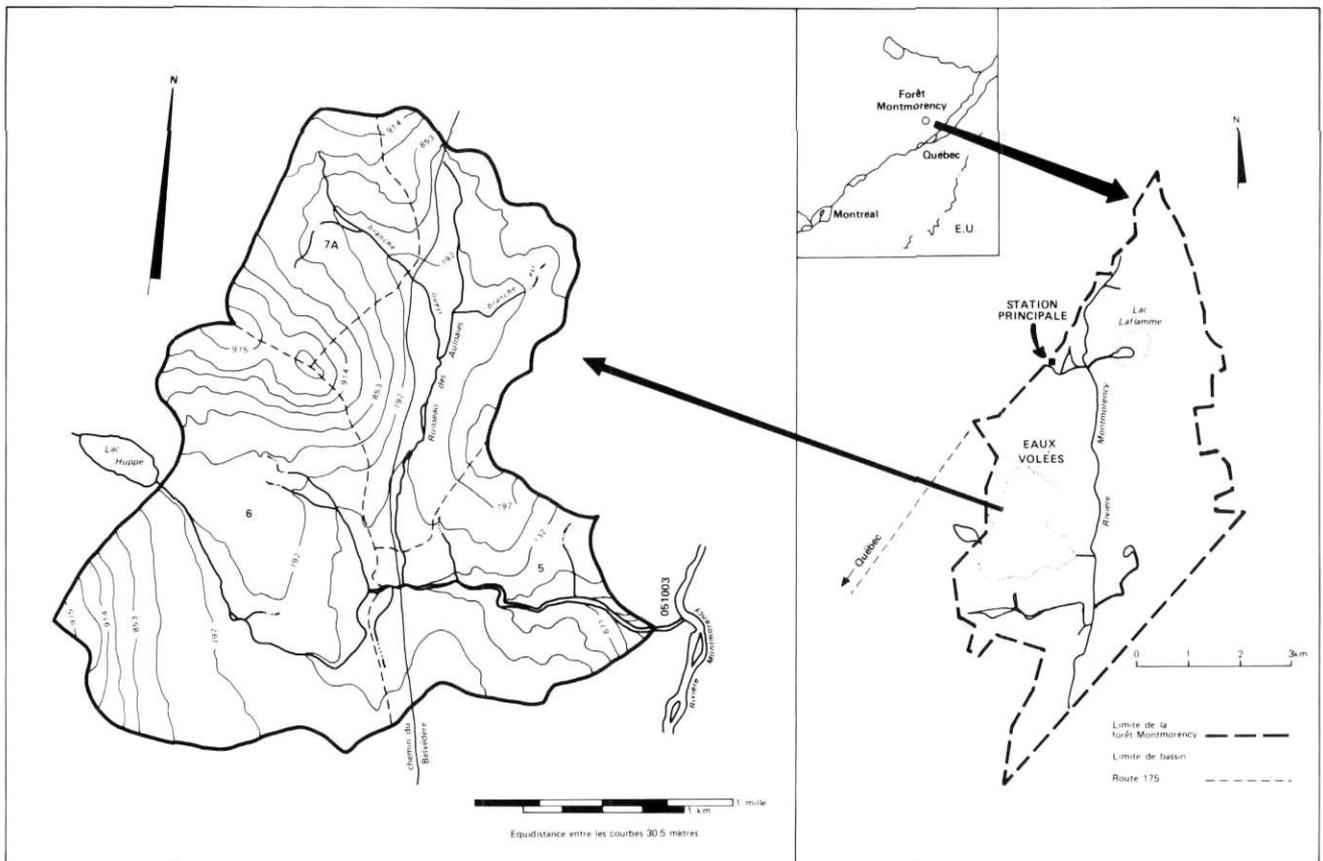


FIGURE 1. Carte de localisation du bassin expérimental des Eaux Volées.

Location map of the experimental watershed Eaux Volées.

C'est un modèle déterministe, élaboré par le corps des ingénieurs de l'armée américaine (U.S.A.C.E., 1972; Fleming, 1975; Kang, 1977; Brown, 1979; Hoang et Robert, 1981; Merry *et al.*, 1983) dont les paramètres hydro-climatiques sont présentés à la figure 2, et explicités dans le manuel d'utilisation (U.S.A.C.E., 1972).

Pour le calcul de la fonte au printemps, nous avons utilisé l'équation (1) développée dans l'algorithme de calcul de l'U.S.A.C.E. (1956)

$$F = C (t_a - t_b)(1)$$

F = la fonte du jour en mm.

t_a = la température moyenne du jour en °C

t_b = la température de base en °C, égale à 0°C pour le milieu forestier

C = 0,229 pour le milieu forestier.

Notons que (t_b) peut dépendre du milieu et de sa couverture et (C) peut être relié à la transmission du rayonnement par la végétation, à la pente, à l'exposition et aux précipitations (Eggleston *et al.*, 1979; Riley *et al.*, 1972; Plamondon *et al.*, 1984).

Selon Gray et Davar (1972), malgré la nature approximative de cette formule appliquée à la fonte, Bruce et Sporns ainsi que Pysklywec ont obtenu des résultats d'une précision facilement comparable à celle estimée pour l'aire à l'étude par

des méthodes plus élaborées. Dans un bassin fortement boisé, un modèle basé sur les indices de température donne des résultats comparables à ceux d'un modèle fondé sur le bilan énergétique (Plamondon *et al.*, 1984).

La période d'étude a porté sur huit années hydrologiques (1970 à 1976 et 1978 à 1980) et la période de calibration du modèle a porté sur deux années: 1971, 1972. La période de vérification pour contrôler les paramètres a été effectuée pendant les années 1973, 1974, la période de validation du modèle a touché les années 1975, 1976, 1979 et 1980. Notons que les années 1977 et 1978 ont été omises dans le but de réduire les effets qui seraient reliés à la coupe du couvert végétal. Pour valider et apprécier la qualité des simulations des débits de fonte moyens journaliers, nous avons appliqué des critères statistiques de précision (Hoang et Robert, 1981) (voir annexe I).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Mis à part l'année 1979, qui a été rejetée en raison de critères statistiques, et l'année 1980, qui était caractérisée par l'absence de fonte printanière, le modèle reconstitue pour toutes les années les débits moyens journaliers de la période de fonte dont la durée varie de 30 à 60 jours. La simulation est acceptable comme le précisent le tableau I et la figure 3.

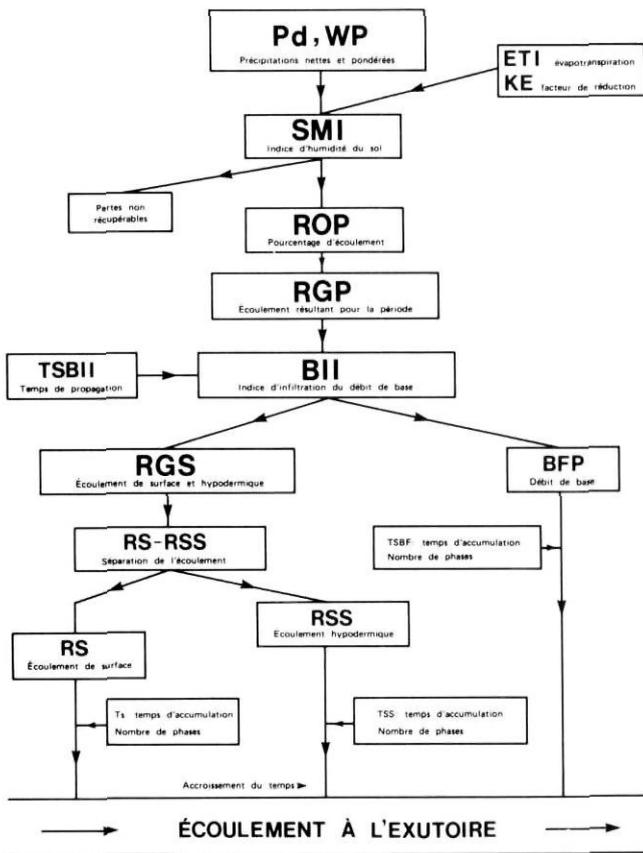


FIGURE 2. Organigramme du modèle SSARR.
SSARR model program chart.

TABLEAU I
Les critères statistiques de validation

Période	Année	Nash (C)	Volume (CP1)	Pointe (CP2)	Final (CP3)
Calibration	1970-71	0,68	0,02	0,20	0,80
	1971-72	0,60	0,04	0,27	1,02
Vérification	1972-73	0,59	0,04	0,26	1,01
	1973-74	0,49	0,04	0,29	1,17
Validation	1974-75	0,60	0,05	0,20	0,90
	1975-76	0,65	0,06	0,30	1,07
	1978-79	0,31	0,06	0,33	1,47
	1979-80	(-)	(-)	(-)	(-)

- Une reproduction parfaite, C = 1, CP1 = 0, CP2 = 0, CP3 = 0
- Une reproduction excellente, CP3 < 0,50
- Une reproduction acceptable, 0,5 < CP3 < 1,25
- Une reproduction inacceptable, CP3 > 1,25
- (-) Fonte printanière non observée

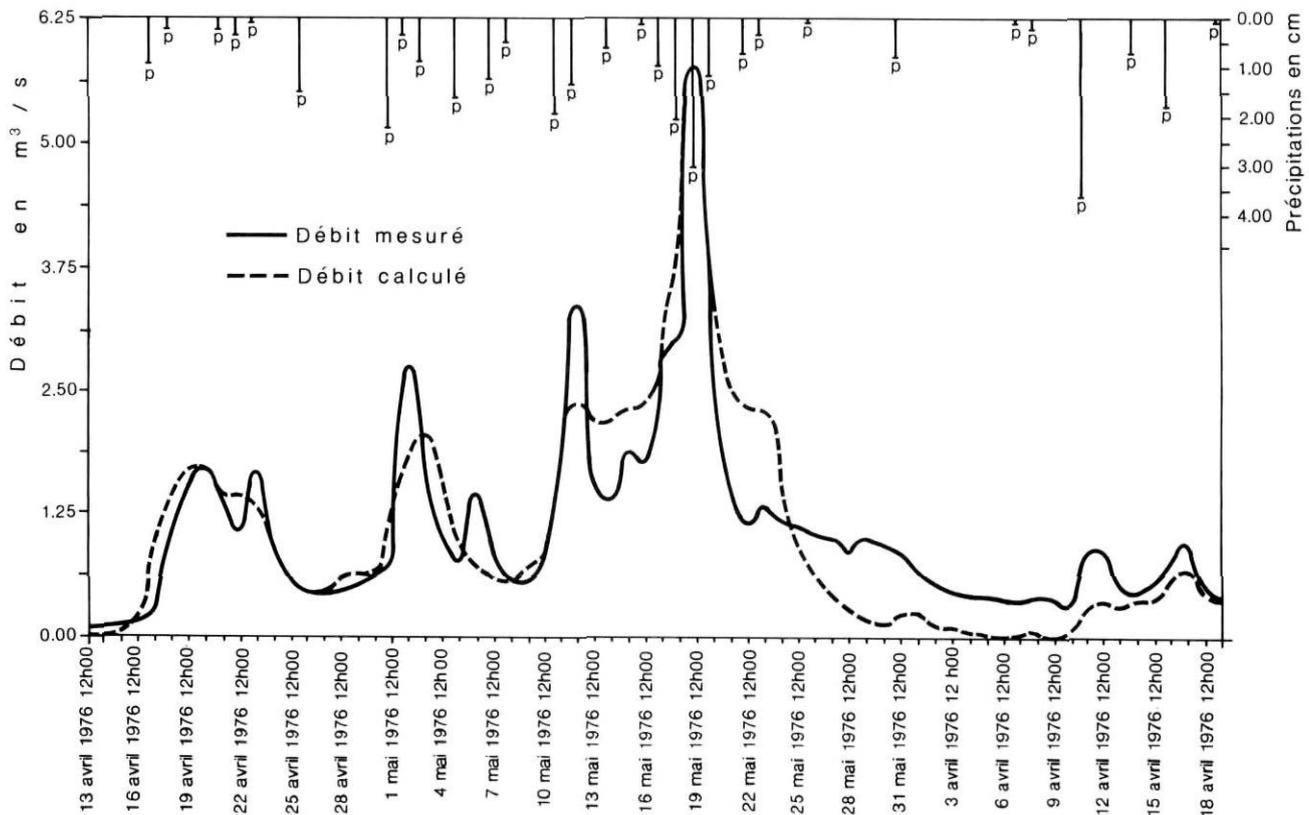


FIGURE 3. Simulation de la fonte de la neige (exemple de l'année 1976).
Snowmelt simulation (example from 1976).

a) La durée et les caractéristiques des périodes de fonte sont très variables. Elles sont reconstituées de façon convenable.

b) Les débits moyens sont restitués avec une surestimation moyenne de 13 %, celle-ci variant de 1 à 23 % (tabl. II) ce qui est satisfaisant et fiable, car nous supposons que l'erreur de mesure pendant ces périodes de débits élevés est au moins égale à 10 %.

c) Les débits extrêmes: comme les débits journaliers extrêmes au cours des périodes de fonte entraînent des dommages par inondation et posent des problèmes de prévision, nous avons effectué l'analyse de ces débits.

Si les années 1971 et 1975 affichent une sous-estimation relativement négligeable des débits de pointe, le 2^e groupe comprenant le restant des années à l'étude enregistre une sous-estimation qui varie de 14 à 39 % (tabl. III).

d) Analyse et discussions: Comme nous travaillons avec un modèle paramétrique, l'analyse des différentes composantes hydroclimatiques des périodes de fonte a été effectuée pour comprendre le phénomène (tabl. II et III).

Pour le premier groupe, le rapport des journées de pluie sur le nombre total de jours de la période de fonte représente – 35 %. D'autre part, le rapport de la hauteur d'eau tombée sur la lame d'eau fondue pour la période est de l'ordre de 20 % (tabl. IV), ce qui signifie que la fonte s'est effectuée dans des conditions de temps relativement dégagées, ali-

mentant 80 % de l'écoulement. D'un autre côté, le rapport de la hauteur de pluie de la période de pointe sur le total des précipitations reste inférieur à 33 %, ce qui veut dire que les apports hydriques et calorifiques reliés à la pluie sont relativement peu importants pour alimenter les débits de pointe. La méthode de degré-jour a fonctionné d'une façon satisfaisante dans des conditions relativement dégagées et lorsque la direction du vent dominant était NNE (tabl. IV).

Pour le deuxième groupe, la sous-estimation des débits de pointe varie de 14 à 39 %. À part l'année 1973, qui représente une longue période de fonte avec gel et dégel, l'analyse des paramètres hydro-climatiques de la période de fonte et des débits extrêmes de toutes les années du groupe, précise que les fréquences des journées de pluie durant la période de fonte représentent environ 50 % (le cas des années 1974, 1976), ce qui favorise non seulement le mûrissement du manteau nival, mais aussi une fonte rapide, à tel point que le coefficient de ruissellement est supérieur à 1,0 (signifiant qu'il y a plus de fonte que d'énergie pendant les années 1976 et 1979). Pour les années 1972 et 1979, le rapport de la hauteur de pluie de la période de pointe sur la pluie totale est supérieur à 70 % (tabl. IV). Pour toutes les années du groupe, les débits de pointes journalières coïncident avec des épisodes de pluie de plus de deux jours consécutifs. La hauteur d'eau tombée est supérieure à 35 mm. On note un relèvement des températures minimales et conséquemment des degrés-jours de fonte. On constate un changement de

TABLEAU II
Les paramètres hydro-climatiques
de la période de fonte (valeur en mm)

	Débit mesuré	Débit calculé	Lame d'eau fondue	Hauteur de pluie	Nombre de jours de pluie	Évaporation	Coefficient de ruissellement		Température (°C) max. min moyen			
	1	2	3	4	5	6	7	8				
1970-71 (7 mai-6 juin)	363,98	412,24	548,13	97,28	9	73,15	1/3	2/3	0,66	0,75	15,0	-0,6
1971-72 (12 mai-5 juin)	445,01	554,99	660,40	92,46	9	81,28	0,67	0,84	0,67	0,84	19,1	2,2
1972-73 (17 avril-14 juin)	550,70	666,80	713,70	219,50	22	68,10	0,77	0,93	0,77	0,93	12,2	1,1
1973-74 (16 mai-17 juin)	469,0	613,70	633,30	130,10	15	68,10	0,74	0,97	0,74	0,97	15,1	2,2
1974-75 (1 mai-31 mai)	325,40	330,90	467,40	96,30	11	70,90	0,70	0,71	0,70	0,71	15,6	0,5
1975-76 (16 avril-25 mai)	479,10	533,70	397,80	215,60	24	60,90	1,20	1,34	1,20	1,34	10,0	0,6
1978-79 (21 avril-21 mai)	381,0	418,34	496,60	71,90	9	66,10	0,77	0,84	0,77	0,84	14,2	4,1

TABLEAU III
*Les paramètres hydro-climatiques
 de la période de débit de pointe (valeur en mm)*

	Débit de pointe journalier mesuré calculé		Erreur d'estimation $\frac{1-2}{1} \times 100$	Nombre de jours successifs de pluie	Hauteur de pluie	Température (°C) lors de la pointe max. min.	
	1	2				3	4
1970-71 (18 au 23 mai)	36,8	37,1	0	2	34,6	16,7	3,3
1971-72 (29 mai-5 juin)	55,2	47,7	14	4	81,4	20,1	7,8
1972-73 (13 mai-14 juin) (gel-dégel)	26,8	21,2	21	0	30,8	15,1	3,3
1973-74 (9-14 juin)	52,6	39,0	26	3	36,2	24,1	7,3
1974-75 (17-22 mai)	34,6	32,3	7	1	30,1	20,2	2,2
1975-76 (17-22 mai)	49,3	40,0	19	4	75,4	15,6	5,5
1978-79 (27 avril-1 mai)	45,4	27,8	39	3	51,2	15,6	6,1

TABLEAU IV
*Les paramètres hydro-climatiques
 discriminants des deux groupes*

	Année	% jour de pluie	Eau tombée eau fondue	Pluie de pointe pluie totale	Vent dominant	Température min. (°C) lors de la pointe
Groupe 1	1971	30	18	36	NNE	3,3
	1975	35	21	31	NNE	2,2
Groupe 2	1972	41	14	88	SW	7,8
	1973	37	31	14	SW & NE	3,3
	1974	47	21	28	SW	7,3
	1976	62	54	35	SW	5,5
	1979	29	15	71	SW	6,1

direction du vent passant de NW à SW, comme le précise le tableau IV. Ces facteurs combinés provoquent des débits extrêmes dont la pointe est supérieure de 30 % aux valeurs du premier groupe (tabl. III). Cette différence distingue la crue de l'inondation de printemps. L'année 1980, caractérisée par l'absence de la période de fonte printanière, est un cas extrême. Il pourrait être relié non seulement à l'interaction des facteurs hydro-climatiques déjà discutés, mais aussi à certaines perturbations (telles que les activités volcaniques, le déplacement de courants marins, etc.) ayant agi sur la circulation générale, le déplacement des masses d'air et les températures.

Ainsi, si les fuites à partir du lac Huppé semblent improbables pour expliquer ces sous-estimations (Plamondon et Ouellet, 1980), il apparaît clairement que sous un type de temps pluvieux, lorsque les conditions météorologiques sont relativement homogènes, la température et les précipitations accompagnées de flux de chaleur advective jouent un rôle déterminant dans la fonte du couvert de neige. L'interaction de ces facteurs explique la sous-estimation des débits de pointe calculés ainsi que des coefficients de ruissellement élevés enregistrés. Dans le même sens, Prowse et Owens (1982), dans leurs études de la fonte de la neige, notent que

le plus grand apport de flux de chaleur au couvert de neige se manifeste pendant les journées pluvieuses. Par contre, la chaleur reliée à la pluie est relativement peu importante.

Ces constatations se rapportent à toutes les années du 2^e groupe d'étude. Si les interventions anthropiques sur le couvert végétal n'entraînent aucun changement significatif des débits de pointes (Plamondon et Ouellet, 1980), Paul (1973) fait remarquer que les changements brutaux du temps sont caractéristiques du climat de la région, où les traits continentaux prédominants alternent avec les influences cycloniques du SW qui, accompagnées d'une forte advection d'air relativement chaud, sont assez efficaces pour agir sur la fonte de la neige.

Tous ces événements ayant entraîné certains impacts sur la période de fonte se sont produits six années sur huit de la période d'étude, ce qui est important.

CONCLUSION

Si le modèle SSARR simule de façon acceptable les débits moyens de la période printanière, son échec à simuler les débits journaliers de pointe de la période de fonte nous a poussés à analyser les composantes hydro-climatiques reliées à ces événements.

L'examen des différents paramètres reliés à la période de fonte et aux débits de pointe journaliers a précisé clairement que dans des conditions de type de temps relativement dégagé, le modèle SSARR simule d'une façon acceptable les débits de pointe; la méthode de degré-jour fonctionne d'une façon satisfaisante. Par contre, dans des conditions de types de temps pluvieux, l'effet conjugué de la température et des précipitations, accompagnées de flux de chaleur advective transportée par la masse d'air humide, expliquent la fonte rapide du couvert de neige, les coefficients de ruissellement élevés ainsi que les débits journaliers extrêmes enregistrés et la sous-estimation des débits de pointe. L'application de la méthode de degré-jour pour la prévision doit être faite avec prudence et être complétée par l'analyse approfondie des fréquences des différents types de temps.

REMERCIEMENTS

Les appuis fournis par les fonds de recherche de l'UQAM, du FCAR et du CRSNG sont appréciés.

RÉFÉRENCES

- Bishinga, C., 1981. Variations des températures locales à la forêt Montmorency. Thèse de maîtrise, Département de géographie, Université Laval, 219 p.
- Brown, G. E., 1979. Ottawa River: Comparison of snowmelt routines in Quebec-Hydro and SSARR watershed models. The IWD Technical Workshop, May 23-25, Hull, Québec, 7 p.
- Côté, M., 1966. Plan général d'aménagement de la Forêt Montmorency de l'Université Laval. Les Presses de l'Université Laval, Québec, 160 p.
- Eggleston, K. O., Israelsen, E. K. et Riley, J. P., 1971. Hybrid computer simulation of the accumulation and melt processes in snowpack. Utah Water Research Laboratory, Utah State University, Logan, PRWG 65-1, 77 p.
- Ferland, M. G. et Gagnon, R. M., 1974. Climat du Québec méridional. Service de la météorologie, Ministère des Richesses naturelles, Québec, MP-13, 93 p.
- Fleming, G., 1975. Computer Simulation Techniques in Hydrology. Elsevier Environmental Science Series, 333 p.
- Girard, G., 1970. Un modèle mathématique pour crue de fonte de neige et son application au Québec. Cahiers de l'O.R.S.T.O.M., sér. Hydrol., VII: 3-36.
- Gray, D. M. et Davar, K. S., 1972. Débit de pointe — Phénomène de fonte, p. 1-27. In D. M. Gray, édit., Manuel des principes d'hydrologie. Conseil national de la recherche du Canada, 9.
- Hoang, V. D. et Robert, B., 1981. Prévision des apports hydriques du lac Memphrémagog. Revue canadienne de Génie civil, 8: 433-441.
- Huffy, A., 1966. Les climats locaux dans la région liégeoise. Thèse de doctorat, Université de Liège, 385 p.
- 1971. Les types de temps dans le Québec méridional: méthode pédagogique de description des climats. Cahiers de Géographie du Québec, 13: 29-52.
- 1976. Situations synoptiques et analyse multivariée à Québec. Cahiers de Géographie du Québec, 20: 69-92.
- Lauzier, D., 1985. Analyse des impacts d'une coupe forestière de 30 % sur la crue du printemps à l'aide du modèle SSARR. Thèse de maîtrise, Département des sciences de l'environnement, Université du Québec à Montréal, 119 p.
- Merry, C. J., Miller, S. M. et Pangburn, T., 1983. The use of landsat data for predicting snowmelt runoff in the upper Saint-John basin, p. 8. In The Seventeenth International Symposium on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, Michigan, May 9-13.
- Moore, R. D. et Owens, I. F., 1984. Controls on advective snowmelt in a maritime alpine basin. Journal of Applied Climate and Meteorology, 23: 135-142.
- Paul, P., 1973. Climatologie dynamique de la région de Montréal. Thèse de doctorat, U.E.R. de géographie, Centre de géographie appliquée, Université Louis-Pasteur, Strasbourg, p. 337.
- Plamondon, A. P. et Ouellet, D., 1980. Partial clearcutting and streamflow regime of ruisseau des Eaux Volées experimental basin, p. 129-163. In Proceedings of the Helsinki Symposium: The influence of Man on the hydrological regime with special reference to representative and experimental basins. IAHS-AISH, Publ. n° 180.
- Plamondon, A. P., Prévost, M. et Naud, R. C., 1984. Accumulation et fonte de la neige en milieux boisés et déboisés. Géographie physique et Quaternaire, 38: 27-35.
- Prowse, T. D. et Owens, I. F., 1982. Energy balance over melting snow, Craigburn Rang, New Zealand. Journal of Hydrology, 21: 133-147.
- Riley, J. P., Israelsen, E. K. et Eggleston, K. O., 1972. Some approaches to snowmelt prediction, p. 956-971. In Le rôle de la neige et de la glace en hydrologie. Actes du colloque de Banff.
- U.S.A.C.E., 1956. Snow hydrology. Summary of the snow investigations. U.S. Army Corps of Engineers, North Pacific Division, Portland (Oregon), p. 437.
- 1972. SSARR model (Streamflow Synthesis Reservoir Regulation), program description and user manual. U.S. Army Corps of Engineers, North Pacific Division, Portland (Oregon), 724-K5-G0010, p. 188.

ANNEXE I

LES CRITÈRES STATISTIQUES

a) Le critère de Nash (C):

$$C = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{c,i} - Q_{o,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{c,i} - \bar{Q}_o)^2}$$

C = critère de précision de la reconstitution de l'hydrogramme de fonte

$Q_{o,i}$ = débit observé le jour i

$Q_{c,i}$ = débit calculé pour le jour i

Q_o = débit moyen observé sur la période N jours

N = La durée de la période de fonte

Pour une reproduction parfaite, C = 1; la valeur de C diminue avec la qualité de la calibration.

b) Le critère de volume ruisselé (CP1):

$$CP1 = \frac{\sum_{i=1}^T (Q_{o,i} - Q_{c,i}) \Delta T}{Q_{max} T}$$

T = durée de la période de crue (depuis le début de la montée jusqu'au retour au débit moyen)

Δ = intervalle de temps entre chaque lecture

Q_{max} = débit maximal observé durant la période

Pour la reproduction parfaite, on aurait CP1 = 0, et CP1 augmente quand la qualité diminue (discordance des hydrogrammes mesurés et calculés)

c) Le critère de pointe (CP2):

$$CP2 = \frac{[\sum_{i=1}^P [(Q_{o,i} - Q_{c,i})^2 Q_{o,i}^2]]^{1/4}}{[\sum_{i=1}^P (Q_{o,i})^2]^{1/2}}$$

P = le nombre de jour où le débit observé est supérieur à un débit plancher fixé arbitrairement (on a toujours considéré ce dernier comme étant légal au tiers du débit moyen observé).

Pour une reproduction parfaite, on aurait CP2 = 0; CP2 augmente quand la qualité diminue.

d) Le critère final (CP3):

$$CP3 = (1-C) + 2 (CP2 + CP1)$$

CP3 = 0, la calibration est parfaite

CP3 < 0,5, la calibration est excellente

0,5 < CP3 < 1,25, la calibration est acceptable

CP3 > 1,25, la calibration est inacceptable (Hoang et Robert, 1981).