

Article

« Accumulation et fonte de la neige en milieux boisé et déboisé »

André P. Plamondon, Marcel Prévost et Renald C. Naud
Géographie physique et Quaternaire, vol. 38, n° 1, 1984, p. 27-35.

Pour citer cet article, utiliser l'information suivante :

URI: <http://id.erudit.org/iderudit/032533ar>

DOI: 10.7202/032533ar

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

ACCUMULATION ET FONTE DE LA NEIGE EN MILIEUX BOISÉ ET DÉBOISÉ

André P. PLAMONDON, Marcel PRÉVOST et Renald C. NAUD, Département d'aménagement et de sylviculture et CENTREAU, université Laval, Sainte-Foy, Québec G1K 7P4.

RÉSUMÉ Les auteurs présentent une étude des caractéristiques physiques du couvert de neige en relation avec l'altitude, l'exposition et le couvert forestier. L'expérience s'est déroulée à la forêt Montmorency, sise à 80 km au nord de Québec. Au cours des hivers 1981 et 1982, l'équivalent en eau maximal de la neige, pour l'ensemble du bassin du lac Laflamme, a été de 28 et 29 cm, respectivement. Durant cette période, les mesures effectuées n'ont pas permis de détecter l'effet des faibles différences d'altitude (50 m) sur l'accumulation de la neige. L'équivalent en eau de la neige était maximal dans les milieux découverts et apparaissait plus important sous les jeunes peuplements que sous les vieux. Les jeunes sapinières, entourées d'arbres plus hauts, agissent comme des pièges à neige. L'influence de l'exposition ne ressort que durant la période de fonte, accélérée d'une semaine sur les flancs sud. La fonte en sous-bois dure un mois et demi en moyenne et est écourtée d'une à deux semaines dans les sites découverts. Un modèle de fonte, basé sur les degrés-jours, est finalement adapté. Le coefficient de fonte est rajusté en fonction de deux périodes distinctes par la densité du manteau nival ou les degrés-jours cumulés.

ABSTRACT *Snow accumulation and snowmelt in forested and deforested areas.* A study of physical characteristics of the snow cover in relation to altitude, aspect and forest cover, is presented in this paper. The experimental site is located at Montmorency forest, 80 km north of Québec City. During the winters of 1981 and 1982, the snow water equivalent for the lake Laflamme watershed reached a maximum of 28 and 29 cm, respectively. The effect on snow accumulation by the small elevation range (50 m) was not detectable by our measurements. The snow water equivalent was greatest in open areas and appeared greater under the young than the older stands. The young fir associations, surrounded by higher trees, act as snow traps. The aspect plays a role during the melting period only, which is shortened by one week on south exposures. Snowmelt lasts one and a half month in average under the cover and is shortened by one to two weeks in the open. A snowmelt model, based on degree-days, is finally calibrated. The melt coefficient is readjusted for two periods separated by snow density or cumulative degree-days.

ZUSAMMENFASSUNG *Schneeanhäufung und Schneeschmelze in bewaldeten und abgeholzten Gebieten.* Die Autoren legen eine Studie vor, die die Beziehung der physischen Merkmale der Schneedecke zu Höhe, Himmelsrichtung und Bewaldung untersucht. Der Versuch wurde im Wald Montmorency, der 80 km nördlich von Québec liegt, durchgeführt. Während der Winter 1981 und 1982 war das maximale Wasseräquivalent der Schneemenge 28 cm bzw. 29 cm für das gesamte Becken des Laflamme-Sees. Während dieser Periode konnten die durchgeführten Messungen keinerlei Einfluß der schwachen Höhenunterschiede (50 m) auf die Menge des angesammelten Schnees feststellen. Das der Schneemenge entsprechende Wasseräquivalent war maximal in den freien Gebieten und schien grösser unter den jungen Baumbeständen als unter den alten. Die jungen Tannenwälder, die von höheren Bäumen umgeben sind, wirken wie Schneefallen. Der Einfluß der Himmelsrichtung wird erst während der Zeit der Schneeschmelze spürbar, die auf den Südflanken um eine Woche kürzer ist. Die Schneeschmelze im Wald dauert im Durchschnitt eineinhalb Monate und ist ein bis zwei Wochen kürzer in den offenen Geländen. Ein Schneeschmelze-Modell auf der Basis Grade-Tage wird schließlich geeicht. Der Schmelzoeffizient wird zwei Perioden angepaßt, die sich durch die Dichte der Schneedecke oder die kumulierten Grade-Tage unterscheiden.

INTRODUCTION

Les réserves en eau sous forme de neige sont une composante importante du bilan hydrologique. La fraction nivale des précipitations annuelles est de 35% dans le massif laurentidien (FERLAND et GAGNON, 1974). Le débit printanier, d'avril à juin, constitue près de 50% de l'écoulement annuel (CENTRE D'INFORMATIONS STATISTIQUES, 1972; PLAMONDON et NAUD, 1976) dont le régime est influencé par le taux de fonte. Ainsi, l'évaluation de l'équivalent en eau du manteau nival et de la fonte sert à prévoir les volumes d'eau disponibles, les risques de crues (GRAY et DAVAR, 1972) et les conséquences du type d'utilisation du territoire sur l'écoulement.

L'objectif de cette étude est d'abord d'évaluer l'épaisseur, la densité et l'équivalent en eau du manteau nival en relation avec l'altitude, l'exposition et le type de couvert végétal, puis d'adapter un modèle de fonte simplifié. Les résultats sont ensuite appliqués dans un bassin.

REVUE DE LA LITTÉRATURE

A. L'ACCUMULATION DE LA NEIGE

L'altitude est le principal facteur affectant l'équivalent en eau du couvert de neige en région montagneuse (MEIMAN, 1968). Pour des hausses de 100 m d'altitude, on a noté des augmentations d'équivalent en eau de la neige de 28 mm au Nouveau-Brunswick (DICKISON et DAUGHARTY, 1977) et de 5 à 166 mm dans l'Ouest américain (MEIMAN, 1968). Aucune différence importante d'équivalent en eau du couvert neigeux n'a toutefois été observée pour des dénivellations de 400 m, en Alberta (SWANSON, 1970) et de 30 m, en Arizona (FFOLIOTT et THORUD, 1972). Dans le nord du Québec, FILION et PAYETTE (1976) ont mis en évidence une augmentation de la profondeur et de la densité du couvert nival en milieu forestier selon un gradient allant de 100 à 180 m d'altitude. En milieu ouvert, ces auteurs ont noté l'effet prépondérant du vent dans les conditions de déposition de la neige.

Le rôle du couvert forestier se limite principalement à l'interception et à la redistribution de la neige au sol (GRAY et DAVAR, 1972). Il agit, à des degrés variables d'efficacité, comme piège à neige et comme écran contre le vent (GARDNER, 1964; PAYETTE *et al.*, 1973). En général, l'accumulation de la neige est inversement proportionnelle à la densité du couvert forestier (KITREDGE, 1953; LULL et RUSHMORE, 1960; PACKER, 1962; FRÉCHETTE, 1968; FFOLIOTT et THORUD, 1972; GOLDING et HARLAN, 1972; GARY et TROENDLE, 1982) et augmente à la suite d'une coupe à blanc (NIEDERHOF et DUNFORD, 1942; WILM et DUNFORD, 1948; GARY, 1974 et 1979; HAUPT, 1979).

Le type d'exposition n'agit sur l'accumulation de la neige que s'il y a fonte pendant l'hiver. Ainsi, il affecte fortement l'équivalent en eau maximal lorsque les fontes hivernales sont fréquentes (MEIMAN, 1968), mais n'a aucun effet lorsqu'il n'y a pas de fonte durant la période d'accumulation (WILM et COLLET, 1940; GOODELL, 1952; STANTON, 1966; DICKISON et DAUGHARTY, 1977).

B. LA FONTE DE LA NEIGE

Les recherches intensives faites sur l'hydrologie de la neige, aux États-Unis et en U.R.S.S., ont mené à la rédaction de deux ouvrages majeurs faisant le bilan des connaissances sur la fonte de la neige, il y a plus de deux décennies (U.S. ARMY CORPS of ENGINEERS, 1956; KUZ'MIN, 1961). La fonte est proportionnelle à la quantité d'énergie disponible et est reliée à la qualité du couvert de neige.

L'échange de chaleur à la surface de la neige est le facteur déterminant de tout modèle de simulation de la fonte (ANDERSON, 1972). Les modèles les plus élaborés sont basés sur le bilan énergétique, qui tient compte du rayonnement, des chaleurs sensible et latente (PRICE et DUNNE, 1976), ainsi que des apports thermiques des précipitations et du sol (LEAF et BRINK, 1973 a et b; OBLED, 1973; CARLSON *et al.*, 1974; OUTCALT *et al.*, 1975; ANDERSON, 1976). Ces modèles, dont celui de ANDERSON (1976) est le plus détaillé, donnent en général d'excellents résultats. Malheureusement, les paramètres requis ne sont pas toujours disponibles ou sont parfois difficiles à mesurer. Ainsi, des modèles simplifiés, basés sur la température de l'air qui donne un indice des échanges de chaleur, ont été élaborés pour l'usage courant. La forme la plus simple est, sans contredit, celle qui est basée sur les degrés-jours où la fonte = $F(T_a - T_b)$. Le facteur de fonte (F) et la température de base (T_b) sont trouvés empiriquement (U.S. ARMY CORPS of ENGINEERS, 1956) et F peut être relié à la transmission du rayonnement par la végétation, à la pente, à l'exposition (EGGLESTON *et al.*, 1971) et aux précipitations (RILEY *et al.*, 1972). En établissant une relation entre ces dernières variables et F, l'approche par les degrés-jours devient plus générale. Une méthode empirique, utilisant la régression entre la fonte et les paramètres disponibles, donne aussi de bons résultats mais ne s'applique qu'à l'aire étudiée (PYSKLYWEC, 1966).

La méthode basée sur les indices de température, plus complexe que les deux précédentes, comble les déficits énergétiques du couvert neigeux avant la fonte (ANDERSON et CRAWFORD, 1964; EGGLESTON *et al.*, 1971; RILEY *et al.*, 1972; ANDERSON, 1972). La version de ANDERSON (1973) est la plus élaborée, selon MALE et GRANGER (1979), et fait intervenir la température de l'air, le vent, les précipitations et la pression de vapeur d'eau.

Après avoir testé son modèle énergétique intégral dans un bassin à fortes variations climatiques durant la fonte et en avoir comparé les résultats avec ceux d'un modèle à indices de température, ANDERSON (1976) tire les conclusions suivantes:

- Un modèle fondé sur le bilan énergétique est préférable lorsque les valeurs extrêmes nous intéressent, et donne de meilleurs résultats qu'un modèle basé sur les indices de température quand on l'applique dans un terrain relativement ouvert où les conditions météorologiques varient considérablement durant la période de fonte.
- 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.

Ces conclusions laissent supposer que le modèle basé sur les degrés-jours et adapté à nos conditions peut donner des résultats valables dans les cas courants.

AIRE EXPÉRIMENTALE ET MÉTHODE

A. DESCRIPTION

L'étude a été menée à la forêt Montmorency, sise à 80 km au nord de la ville de Québec (fig. 1). Cette forêt est située dans le domaine climacique de la sapinière à bouleau blanc. Le sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.) domine, dans une proportion supérieure à 80%, tandis que le bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.), l'épinette blanche (*Picea glauca* (Mill) B.S.P.) et l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill) B.S.P.) en sont les essences compagnes (CÔTÉ, 1966). Son climat se caractérise par des précipitations de 1429 mm et des températures annuelles moyennes de 0,2°C (FERLAND et GAGNON, 1974).

Le bassin expérimental du lac Laflamme, qui fait l'objet particulier de cette étude, se trouve dans la partie nord-est de la forêt Montmorency (fig. 1). Il couvre une superficie de 0,684 km², en incluant les 0,061 km² du lac. La pente et l'altitude moyennes du bassin sont respectivement de 9,3% et de 816 m (fig. 2).

B. LES STATIONS DE MESURES

Les données proviennent de places échantillons distribuées de façon à pouvoir déterminer l'influence de l'altitude, de l'orientation et du couvert forestier sur les caractéristiques de la neige. Six lignes d'échantillonnage pour le calcul de l'équivalent en eau de la neige ont été situées en sous-bois dans le bassin du lac Laflamme, durant l'hiver 1981. En plus de ces lignes, deux autres furent installées en 1982, dont une en milieu découvert (fig. 2, tabl. I). En sous-bois, chaque ligne comprend de 4 à 14 points d'échantillonnage espacés de 15 à 30 m selon l'homogénéité du couvert forestier étudié.

Sur le flanc exposé au sud, on trouve les lignes A et C dans un peuplement de 50 ans et la ligne E, ajoutée en 1982, dans une sapinière plus jeune (25 à 35 ans). Les mêmes classes d'âge sont représentées sur le flanc exposé au nord par les lignes B1 et D2 (50 ans) ainsi que B2 et D1 (25 à 35 ans). Finalement, en 1982, la ligne F a été située en terrain plat et découvert, au nord-ouest du lac Laflamme.

Chaque station a été visitée à des intervalles variant de 2 à 7 jours, entre le 17 février et le 30 mai 1981. Durant l'hiver suivant, les relevés ont été effectués du 20 novembre 1981 au 26 mai 1982, à des intervalles variant d'un mois au début de l'hiver à deux jours à la fin de la période de fonte. En 1982, les données de fonte journalière ont également été recueillies au moyen d'un lysimètre d'une surface de 19,5 m², installé près de la station A.

Nous disposons également des données d'une station permanente d'échantillonnage de la neige, installée depuis 1969 dans un secteur plat du bassin du ruisseau des Eaux Volées (station 100, fig. 1). D'abord située dans le sous-bois d'une sapinière mature de 1969 à 1975, puis dégagée de moitié par la coupe de 1976 à 1978, la station est complètement

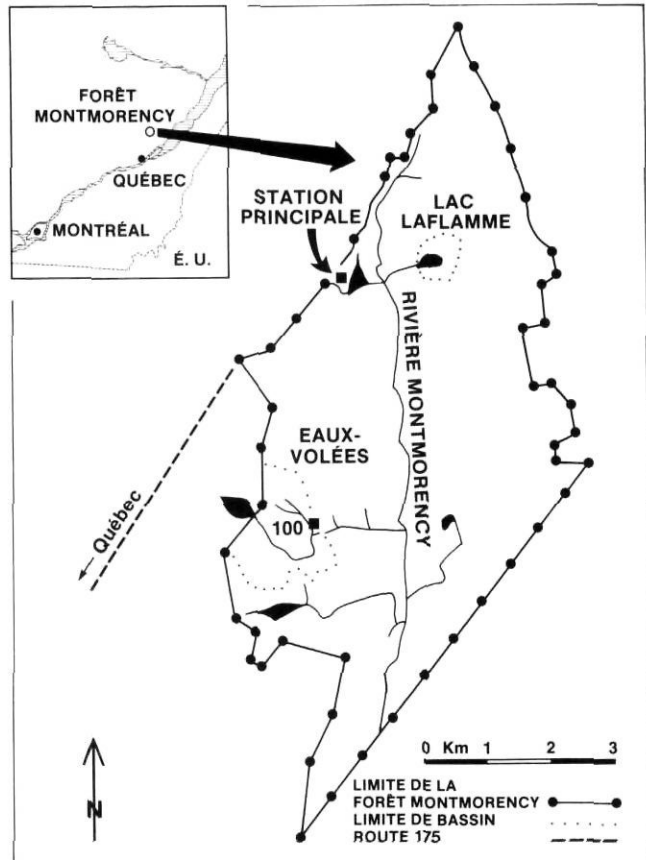


FIGURE 1. Carte de localisation de la forêt Montmorency, Québec. Location map of the Montmorency Forest, Québec.

à découvert depuis 1979. Au total, 18 points d'échantillonnage sont distribués dans un carré de 35 m de côté.

Les relevés de neige ont été effectués à l'aide d'un carottier «Mount Rose». À chaque point d'échantillonnage, une carotte de neige est prélevée dans un rayon de 1,5 m autour d'un marqueur. L'échantillon est pesé sur place à l'aide d'une balance romaine, et l'équivalent en eau est obtenu directement. Une graduation sur la face extérieure du carottier indique l'épaisseur du couvert de neige, et sa densité peut être calculée.

C. LA FONTE DE LA NEIGE

Dans ce travail, la méthode basée sur les degrés-jours selon les coefficients suggérés (éq. 1 et 2) par le U.S. ARMY CORPS of ENGINEERS (1956), pour l'Ouest américain, a d'abord été vérifiée. Dans ces équations,

milieu découvert	$M = 0,274 [Ta - (-4,44)]$	(1)
milieu boisé	$M = 0,229 (Ta)$	(2)

la fonte journalière, calculée en centimètres, est représentée par M. Les coefficients de fonte ($F = 0,274$ ou $0,229$) sont déterminés empiriquement et $-4,44$ est la température de base (°C) au moment de la fonte en milieu découvert. Finalement, Ta est la température moyenne journalière de l'air sous abri en milieu découvert. Ces équations s'appliquent lorsque Ta se situe entre 1 et 19°C.

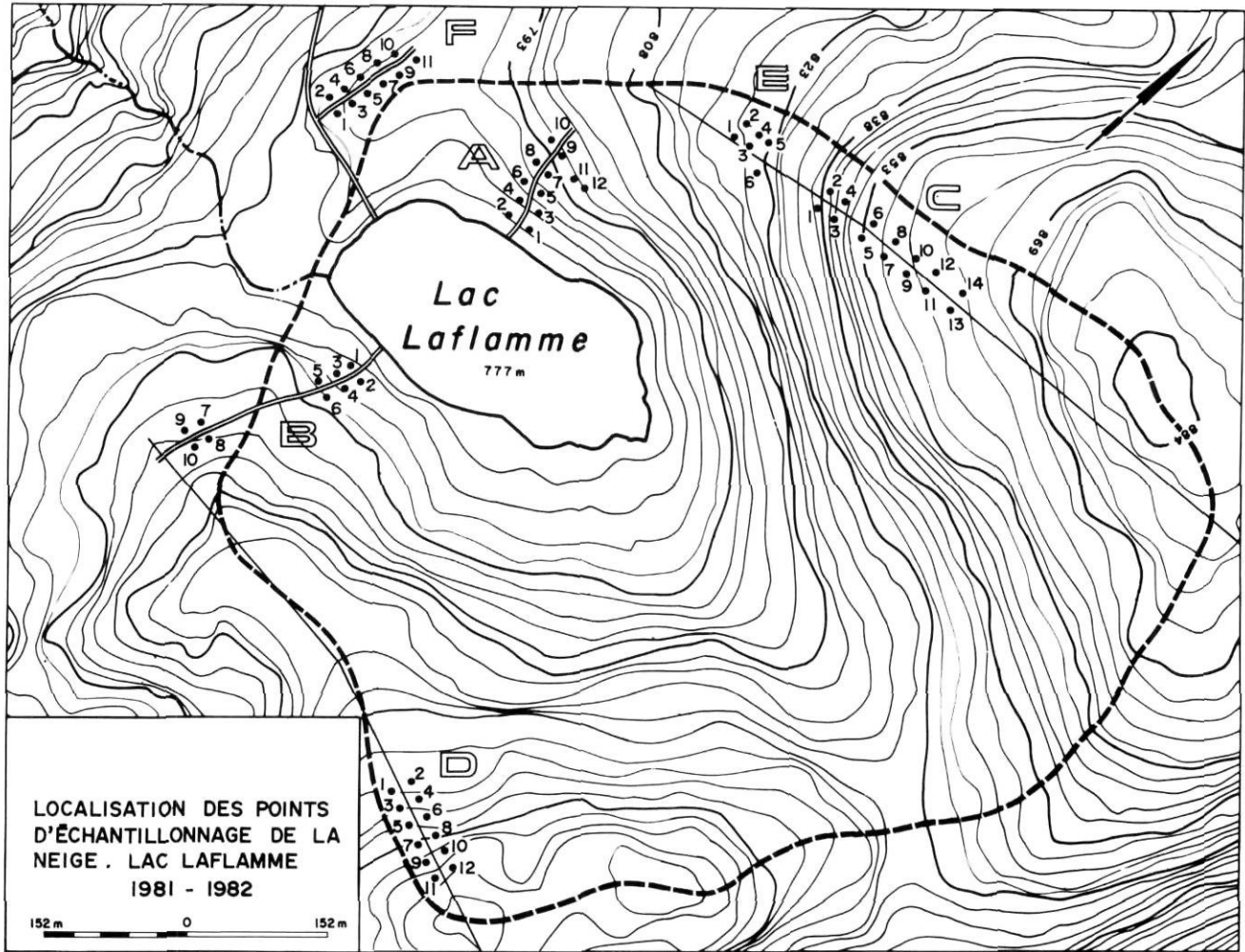


FIGURE 2. Localisation des points d'échantillonnage de la neige, Snow courses location, Lac Laflamme, 1981-1982.

TABLEAU I

Caractéristiques des stations et dates des maximums d'épaisseur, de densité et d'équivalent en eau de la neige en 1981 et 1982

Hiver	Station	Points de mesure	Altitude (m)	Âge (an)	Exposition	Épaisseur		Densité		Équivalent en eau	
						Date	(cm)	Date	(g cm ⁻³)	Date	(cm)
1981	100	18	762	Découv.	Plat	03-24	100	04-28	0,45	03-24	33
	B2	4	794	25-35	N-O	03-19	112	05-06	0,43	04-02	31
	D1	6	820	25-35	N-O	03-19	110	05-25	0,50	04-02	31
	D2	6	826	50	N-O	03-26	100	05-15	0,50	03-26	29
	B1	6	778	50	N	03-19	94	05-15	0,45	04-02	27
	C	14	830	50	S	03-26	92	05-13	0,50	03-26	28
	A	10	781	50	S	03-19	88	05-11	0,45	04-02	25
1982	100	18	762	Découv.	Plat	04-13	112	05-04	0,40	04-13	38
	F	11	774	Découv.	Plat	04-15	118	04-27	0,36	04-15	36
	B2	4	794	25-35	N-O	04-15	125	05-20	0,50	04-15	35
	D1	6	820	25-35	N-O	04-15	126	05-18	0,43	04-15	30
	E	6	811	25-35	S	04-15	122	05-14	0,40	04-15	30
	D2	6	826	50	N-O	04-15	115	05-20	0,50	04-15	28
	B1	6	778	50	N	04-15	110	04-27	0,42	04-27	29
	C	14	830	50	S	04-15	112	05-08	0,38	04-15	27
A	12	781	50	S	04-15	108	05-08	0,38	04-15	28	

En second lieu, le coefficient de fonte (F) est rajusté empiriquement par régression simple entre la fonte mesurée et la température de l'air de la station principale de la forêt Montmorency. La fonte mesurée est obtenue à l'aide de l'équation n° 3

$$M = EEmi + PN - EEmf \quad (3)$$

où EEmi et EEmf sont respectivement l'équivalent en eau mesuré au début (i) et à la fin (f) d'une période, et PN, les précipitations neigeuses en milieu découvert. Finalement, le modèle de fonte est évalué par comparaison entre les équivalents en eau mesurés (EEm) et calculés (EEc), à la fin de chaque période considérée (eq. 4).

$$EEc = EEM + PN - Mc \quad (4)$$

Dans l'équation n° 4, EEM représente l'équivalent en eau maximal du manteau nival qui sert de point de départ au calcul de la fonte, et Mc est la fonte calculée à l'aide du modèle approprié.

Les erreurs inhérentes à l'équivalent en eau calculé (EEc), causées par l'interception, l'évaporation et la condensation qui n'ont pas été mesurées, sont considérées faibles par rapport à l'imprécision de l'échantillonnage. Cependant, bien que l'interception nette puisse être négligée, la neige et, dans une moindre mesure, la pluie peuvent demeurer quelques jours sur le couvert forestier avant d'atteindre le sol et ainsi entraîner une différence entre les équivalents en eau calculés et mesurés. Cet écart s'atténue vers la fin de la période de fonte car la neige demeure peu de temps sur le couvert. Une autre source d'erreur provient de la fraction inconnue de la pluie ou de la fonte qui demeure dans le couvert neigeux. Cette erreur s'amenuise lorsque la température du manteau nival atteint 0°C et que la neige se sature d'eau.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

A. INFLUENCE DES CARACTÉRISTIQUES DU SITE SUR L'ACCUMULATION DE LA NEIGE

1. Altitude

L'épaisseur, la densité et l'équivalent en eau maximaux de la neige ne sont pas liés à l'altitude dans le bassin du lac Laflamme; de plus, nos résultats ne nous permettent pas de les relier à l'altitude pour l'ensemble de la forêt Montmorency. Les faibles dénivellations entre les stations, les variations, mêmes faibles, de la structure du couvert et de l'exposition ainsi que l'imprécision de l'échantillonnage peuvent masquer l'effet de l'altitude, s'il existe.

2. Exposition

Nos données indiquent que la densité maximale de la neige est indépendante de l'exposition, mais l'épaisseur apparaît plus élevée sur le flanc nord. En conséquence, l'équivalent en eau maximal, dans le secteur exposé au nord, est de 1 (vieux peuplements) à 2 cm (jeunes peuplements) plus élevé que sur le flanc sud (tabl. 1). La différence entre les deux types d'exposition s'accroît durant la période de fonte (fig. 3). Ces résultats diffèrent légèrement de ceux obtenus au Colorado (WILM et COLLET, 1940; GOODELL, 1952), en

Alberta (STANTON, 1966) et au Nouveau-Brunswick (DICKSON et DAUGHARTY, 1977). On peut l'expliquer par une fonte ou une perte par interception plus élevée, en mars ou avril, sur le flanc sud, car durant l'hiver l'équivalent en eau est le même pour les deux types d'exposition.

3. Couvert

Bien que la densité de la neige en sous-bois soit uniforme, quel que soit le couvert, l'équivalent en eau stockée dans le manteau nival est supérieur de 2,5 (sud) à 3,5 cm (nord) sous les jeunes peuplements (fig. 3). Ces peuplements de faibles superficies, entourés d'arbres plus hauts, ont l'effet de pièges à neige. L'épaisseur du manteau nival est plus faible en milieu découvert, mais l'exposition au vent et au soleil augmente sa densité par rapport à celle de la neige en sous-bois. Le mode d'accumulation en clairière et, probablement, l'absence d'interception donnent un équivalent en eau maximal de 1 à 11 cm plus élevé qu'en sous-bois selon la station et l'année étudiées (tabl. 1).

B. ACCUMULATION MOYENNE DU MANTEAU NIVAL

Le calcul de l'accumulation moyenne de la neige dans le bassin du lac Laflamme est effectué par pondération, compte tenu que les secteurs exposés au nord (N) et au sud (S) occupent chacun 50% de la superficie du bassin et que les peuplements jeunes (J) et vieux (V) se partagent respectivement 65 et 35% de la partie exposée au nord, tandis que la proportion est inversée sur le flanc sud. En l'absence de données pendant la saison 1981 dans les jeunes peuplements exposés au sud (JS) celles-ci ont été déduites en appliquant directement le rapport journalier (JS/VS = JN/VN) qui est connu sur le flanc nord. En 1982, la valeur pour le peuplement JS est la mesure effectuée dans la ligne E, localisée à cette fin.

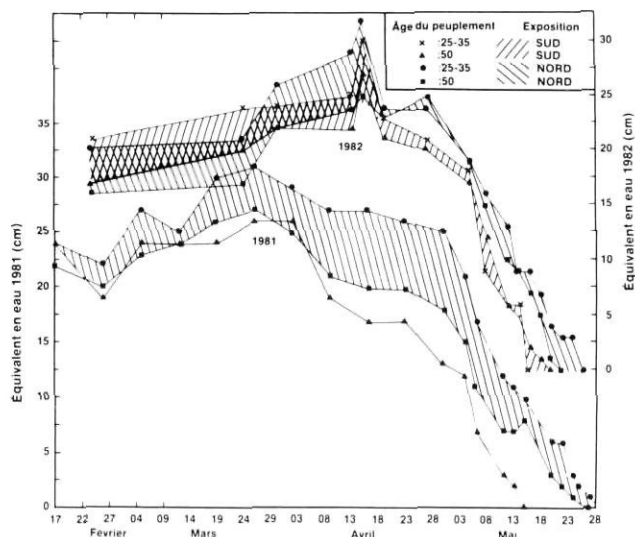


FIGURE 3. Équivalent en eau de la neige en relation avec l'exposition et le couvert forestier, lac Laflamme, 1981-1982.

Snow water equivalent related to aspect and forest cover, Lac Laflamme, 1981-1982.

L'épaisseur moyenne de la neige dans le bassin atteint des maximums saisonniers de 100 cm, le 19 mars 1981, et de 118 cm, le 15 avril 1982. L'équivalent en eau de la neige, étant le produit de l'épaisseur par la densité, le maximum saisonnier (EEM) ne survient pas nécessairement à la même date que l'épaisseur maximale. Ainsi, EEM est de 28 cm, le 26 mars 1981, alors qu'il est de 29 cm, le 15 avril 1982 (fig. 4).

L'équivalent en eau maximal de la neige (EEM) dans le bassin du lac Laflamme représente environ 70% des précipitations neigeuses (PN) de la saison (tabl. II). Il correspond à 62 et 86% du débit printanier (QP), d'avril à juin, durant les deux années considérées. Cette variation apparaît normale, car elle dépend des fluctuations des réserves en eau du bassin et des précipitations printanières. Finalement, l'équivalent en eau maximal sous couvert forestier (EEM) représente environ 80% de celui en milieu découvert (EED), ce qui correspond à une différence de 6 cm d'eau.

C. FONTE DE LA NEIGE

1. Milieu découvert

L'équation n° 1 surestime légèrement la fonte en milieu découvert sur terrain plat. Le coefficient de fonte rajusté pour la période printanière, à la forêt Montmorency, est de 0,265 comparativement à 0,274 cm °C⁻¹ pour celui déjà proposé (éq. 1). L'équivalent en eau calculé

$$M = 0,265 [T_a - (-4,44)] \tag{5}$$

(éq. 4 et 5) se rapproche de la réalité vers la fin de la période de fonte (fig. 4), en 1982. En 1981, l'équivalent en eau calculé est plus près de la valeur mesurée au début de la fonte. Cependant, le taux de fonte est mieux estimé vers la fin de la période, comme le démontre le cheminement parallèle des deux courbes. Ces résultats corroborent les conclusions de ANDERSON (1976). On ne doit pas s'attendre à obtenir de meilleurs résultats en milieu découvert sans utiliser un modèle plus complexe, basé sur le bilan énergétique. En considérant tous les équivalents en eau calculés (EEc) par rapport à ceux mesurés (EEm), les écarts maximaux s'élèvent à 10 cm. Le fait que l'on retrouve des écarts plus élevés vers le milieu de la période de fonte qu'au début ou à la fin est probablement dû au faible nombre d'échantillons. Les écarts demeurent en deçà de 5 cm dans 60% des cas (fig. 5).

2. Milieu boisé

La fonte en milieu boisé, calculée avec l'équation n° 2, est légèrement sous-estimée dans les secteurs exposés au sud tandis qu'elle est nettement surestimée en terrain plat et dans la partie exposée au nord. Les coefficients de fonte rajustés pour la saison sont respectivement de 0,234, 0,201 et 0,185 cm °C⁻¹. Il n'y a pas de différence entre les endroits où les peuplements sont jeunes ou vieux dans la forêt Montmorency.

Les écarts entre les fontes mesurées et calculées avec les coefficients rajustés présentent un patron différent entre le début et la fin de la période de fonte. Cette constatation est corroborée par les coefficients journaliers de fonte calculés à partir du débit du lysimètre. On observe, à la fin de la saison, une diminution du coefficient F dans le temps ou selon l'augmentation des degrés-jours de fonte cumulés en milieu découvert (fig. 6). Cette diminution, peut-être en partie inhérente au lysimètre, correspond toutefois à une augmentation plus rapide de la température moyenne de l'air en milieu découvert par rapport à la température moyenne en sous-bois (changement de pente de la courbe, fig. 6). Ce phénomène est relié à la disparition plus hâtive du manteau nival en milieu découvert pendant que la neige persiste encore en sous-bois.

Il a donc fallu diviser la période de fonte en deux. En moyenne, la densité de la neige en sous-bois et le cumul des degrés-jours en milieu découvert atteignent respectivement 0,35 g cm⁻³ et 75°C lorsque le manteau nival disparaît en milieu découvert. Le coefficient F a été rajusté aux deux périodes de fonte, que l'on a distinguées selon la densité ou le cumul des degrés-jours. Le calcul subséquent de la fonte

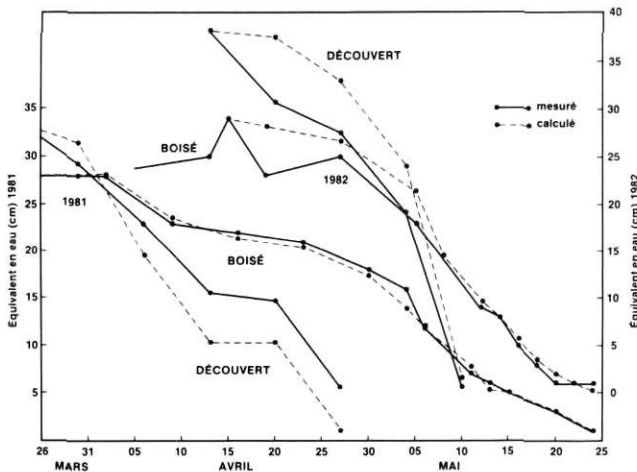


FIGURE 4. Équivalents en eau calculés (éq. 5 à 10) et mesurés en milieux boisés et découverts.

Calculated (eq. 5 to 10) and measured water equivalents in forested and deforested areas.

TABLEAU II

Équivalent en eau maximal de la neige dans le bassin du lac Laflamme par rapport aux précipitations neigeuses et au débit printanier

Année	EEM (cm)	PN (cm)	EEM/PN (%)	QP (cm)	EEM/QP (%)	EED (cm)	EEM/EED (%)
1981	28	40,7	69	45,4	62	33	85
1982	29	41,6	70	33,7	86	37	78

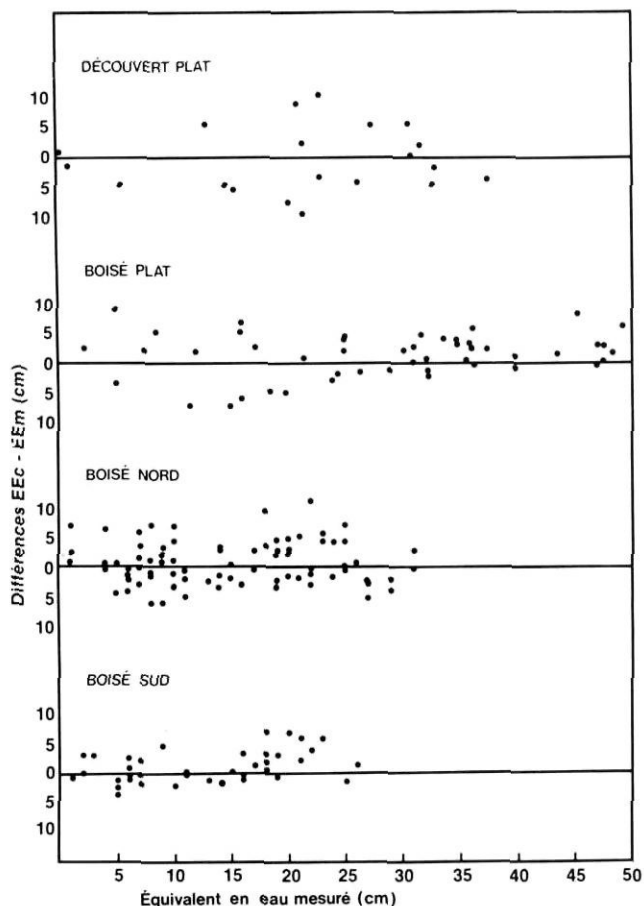


FIGURE 5. Différences entre les équivalents en eau calculés et mesurés.

Differences between calculated and measured water equivalents.

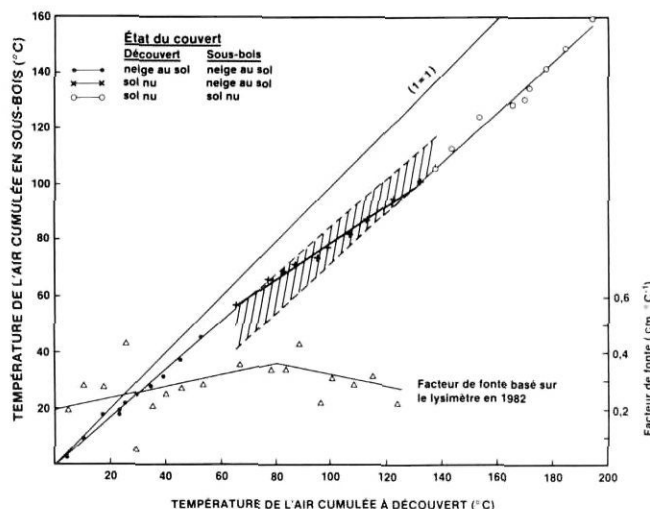


FIGURE 6. Températures moyennes journalières de l'air en sous-bois et facteur de fonte en fonction des températures moyennes journalières de l'air en milieu découvert.

Mean daily air temperatures beneath the canopy and melt factor as a function of mean daily air temperatures in deforested area.

selon les deux méthodes donne des résultats similaires. La division de la période de fonte selon le cumul des degrés-jours est plus pratique, car elle ne requiert pas d'y inclure les relevés de la densité de la neige. Elle a été retenue pour établir les équations de fonte en sous-bois (éq. 5 à 10).

Période de moins de 75 degrés-jours cumulés

Terrain plat $MP = 0,215 \cdot Ta$ (5)

Exposition nord $MN = 0,234 \cdot Ta$ (6)

Exposition sud $MS = 0,293 \cdot Ta$ (7)

Période de plus de 75 degrés-jours cumulés

Terrain plat $MP = 0,192 \cdot Ta$ (8)

Exposition nord $MN = 0,151 \cdot Ta$ (9)

Exposition sud $MS = 0,154 \cdot Ta$ (10)

Les coefficients F, vers la fin de la période de fonte, sont plus faibles et plus stables entre les stations ou les années que ceux de la période initiale. Les écarts maximaux entre les équivalents en eau mesurés et calculés semblent constants du début à la fin de la fonte (fig. 5). Ils se situent sous 5 cm dans 83, 83 et 89% des cas pour les secteurs en terrain plat, exposés au nord et au sud, respectivement.

D. FONTE MOYENNE DANS LE BASSIN DU LAC LAFLAMME

La fonte moyenne dans le bassin est obtenue en pondérant MN et MS (éq. 6, 7, 9 et 10) selon la superficie occupée par chaque secteur. La comparaison entre EEm et EEc, en 1981 (fig. 4), montre que le modèle de fonte correspond à la réalité. En 1982, les fontes calculées diffèrent de celles mesurées au début de la saison, ce qui provoque un décalage entre les courbes d'équivalent en eau. Cependant, les valeurs calculées et mesurées sont très proches durant la période terminale. Le rajustement du facteur (F) permet donc d'évaluer adéquatement la fonte en milieu boisé à la forêt Montmorency.

CONCLUSION

Compte tenu des erreurs d'échantillonnage, l'équivalent en eau maximal de la neige est atteint partout à peu près au même moment dans la forêt Montmorency, quel que soit le type de couvert ou l'exposition. L'équivalent en eau maximal moyen pour 1981 et 1982 n'est pas affecté par l'exposition, mais passe de 35 à 31,5 et 27,5 cm respectivement en milieu découvert, sous les jeunes puis sous les vieux peuplements. Les jeunes peuplements, entourés d'arbres plus hauts, ont l'effet de pièges à neige. Cependant, la fonte en milieu découvert se termine d'une à deux semaines plus tôt que dans les secteurs boisés exposés au sud. Sur les flancs nord boisés, la neige persiste d'une à deux semaines plus longtemps que sur les flancs exposés au sud.

On a pu rajuster des équations de prédiction de la fonte en milieu découvert ainsi qu'en sous-bois pour les secteurs exposés au nord et au sud. Le coefficient de fonte en sous-bois est, de plus, rajusté séparément pour deux périodes d'ablation définies selon la densité de la neige sous le couvert forestier ou les degrés-jours cumulés en milieu découvert. Bien que l'erreur de l'estimation puisse atteindre 100% à la fin de la fonte dans les stations prises individuellement, les

valeurs calculées se rapprochent des moyennes selon l'exposition et sont, le plus souvent, à l'intérieur des limites de précision de la méthode de mesure employée.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été appuyée financièrement par la Direction générale des eaux d'Environnement Canada dans le cadre du programme de recherche sur les précipitations acides et le Conseil de la recherche en sciences naturelles et génie du Canada. Le dévouement assidu de MM. Gilles Lemieux et Yvon Laverdière, techniciens, a grandement été apprécié lors de la collecte des données.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDERSON, E.A. (1972): Technics for predicting snow cover runoff, in *Le rôle de la neige et de la glace en hydrologie*, Actes du Colloque de Banff, p. 840-863.
- (1973): *National Weather Service River Forecast System. Snow accumulation and ablation model*, N.O.A.A. Tech. Mem. U.S. Dept. of Commerce NWS Hydro-17, 217 p.
- (1976): *A point energy and mass balance model of snow cover*, N.O.A.A. Tech. Rept. U.S. Dept. of Commerce NWS-19, 150 p.
- ANDERSON, E.A. et CRAWFORD, N.H. (1964): *The synthesis of continuous snowmelt runoff hydrographs on a digital computer*, Tech. Rept. Dept. of Civil Engineering, Stanford Univ., Stanford, Calif. n° 36, 103 p.
- CARLSON, R.F., NORTON, W. et McDOUGALL, J. (1974): *Modeling snowmelt runoff in an Arctic coastal plain*, Institute of Water Resources, Univ. of Alaska, Fairbanks, Alaska, 72 p.
- CENTRE D'INFORMATIONS STATISTIQUES (1972): *Annuaire du Québec*, Min. de l'Industrie et du Commerce, Québec, p. 18-21.
- CÔTÉ, M. (1966): *Plan général d'aménagement de la Forêt Montmorency de l'Université Laval*, Les Presses de l'Université Laval, Québec, 160 p.
- DICKISON, R.B.B. et DAUGHARTY, D.A. (1977): *Effects of forest cover and topography on snow cover in the Nashwaak experimental watershed project*, Proc. 2nd Conference on Hydrometeorology, Oct. 25-27, Toronto, p. 245-250.
- 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 Univ., Logan, Utah, PRWG 65-1, 77 p.
- FERLAND, M.G. et GAGNON, R.M. (1974): *Climat du Québec méridional*, Publ. Service de la Météorologie, Min. des Richesses naturelles, Québec, MP-13, 93 p.
- FFOLIOTT, P.F. et THORUD, D.B. (1972): Use of forest attributes in snowpack inventory prediction relationships for Arizona ponderosa pine, *Journal of Soil and Water Conservation*, 27(3), p. 109-111.
- FILION, L. et PAYETTE, S. (1976): La dynamique de l'enneigement en région hémis-arctique, Poste-de-la-Baleine, Nouveau-Québec, *Cahiers de Géographie de Québec*, 20(50), p. 275-302.
- FRÉCHETTE, J.-G. (1968): Accumulation de la neige sous divers types de couverts forestiers, *Cahiers de Géographie de Québec*, 12(25), p. 141-144.
- GARDNER, J. (1964): Snow survey in the Schefferville vicinity, winter 1962-1963, *McGill Sub-Arctic Research Paper*, n° 18, p. 49-55.
- GARY, H.L. (1974): Snow accumulation and snowmelt as influenced by a small clearing in a lodgepole pine forest, *Water Resources Research*, 10(2), p. 348-353.
- (1979): *Duration of snow accumulation increases after harvesting in lodgepole pine in Wyoming and Colorado*, U.S. Forest Service Research Note RM-366, 7 p.
- GARY, H.L. et TROENDLE, C.A. (1982): *Snow accumulation and melt under various stand densities in lodgepole pine in Wyoming and Colorado*, U.S. Forest Service Research Note RM-417, 7 p.
- GOLDING, D.L. et HARLAN, R.L. (1972): Estimating snow-water equivalent from point density measurements of forest stands, *Ecology*, 53(4), p. 724-725.
- GOODELL, B.C. (1952): Watershed management aspects of thinned young lodgepole stands, *Journal of Forestry*, 50(5), p. 374-378.
- GRAY, D.M. et DAVAR, K.S. (1972): Débit de pointe — Phénomènes de fonte, in D.M. Gray (édit.), *Manuel des principes d'hydrologie*, Conseil National de la Recherche du Canada, Ottawa, 9, p. 1-27.
- HAUPT, H.F. (1979): *Effects of timber cutting and revegetation on snow accumulation and melt in North Idaho*, Research Paper of Forest Service, U.S. Dept. of Agriculture INT-124, 14 p.
- KITTREDGE, J. (1953): Influences of forests on snow in the ponderosa sugar pine fir zone of the Central Sierra Nevada, *Hilgardia*, 22(1).
- KUZMIN, P.P. (1961): *Melting of snow cover*, Leningrad. Traduit en 1972 par Israël program for scientific translation, Jerusalem, 290 p.
- LEAF, C.F. et BRINK, G.E. (1973a): *Computer simulation of snowmelt within a Colorado subalpine watershed*, Research Paper of Forest Service, U.S. Dept. of Agriculture RM-99, 22 p.
- (1973b): *Hydrologic simulation model of Colorado subalpine forest*, Research Paper of Forest Service, U.S. Dept. of Agriculture RM-107, 23 p.
- LULL, H.W. et RUSHMORE, F.M. (1960): *Snow accumulation and melt under certain forest conditions in the Adirondacks*, U.S. Forest Service, Northeastern Forest Experimental Station No. 138.
- MALE, D.H. et GRANGER, R.J. (1979): Energy and mass fluxes at the snow surface of a prairie environment, in *Proc. of modeling of snow cover runoff*, S.C. Colbeck et M. Ray (édit.), p. 101-124.
- MEIMAN, J.R. (1968): Snow accumulation related to elevation, aspect and forest canopy, *Proc. CNC-1HD Workshop Seminar on Snow Hydrology*, Fredericton (N.-B.), p. 36-47.
- NIEDERHOF, C.H. et DUNFORD, E.G. (1942): The effect of openings in a young lodgepole pine forest on the storage and melting of snow, *Journal of Forestry*, 40(10), p. 802-804.
- OBLED, C. (1973): *Modèles mathématiques de la fusion nivale, étude des risques d'avalanches*, Laboratoire de mécanique des fluides, Institut national polytechnique de Grenoble, Grenoble, 47 p.
- OUTCALT, S.U., GOODWIN, C., WELLER, G. et BROWN, J. (1975): *A digital computer simulation of the annual snow and soil thermal regimes at Borrow, Alaska*, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Research Report 331, Hanover, N.H., 18 p.
- PACKER, P.E. (1962): Elevation, aspect and cover effects on maximum snowpack water content in a western white pine forest, *Forest Science*, 8(3), p. 225-235.

- PAYETTE, S., FILION, L. et OUZILLEAU, J. (1973): Relations neige-végétation dans la toundra forestière du Nouveau-Québec, baie d'Hudson, *Le Naturaliste canadien*, 100, p. 493-508.
- PLAMONDON, A.P. et NAUD, R.C. (1976): Recherche en aménagement des bassins hydrographiques, *Ressources*, VII(2), p. 10-17.
- PRICE, A.G. et DUNNE, T. (1976): Energy balance computations of snowmelt in a subarctic area, *Water Resources Research*, 12(4), p. 686-694.
- PYSKLYWEC, D.W. (1966): *Correlation of snowmelt with the controlling meteorological parameters*, Master's thesis, Dept. of Civil Engineering, Univ. of New Brunswick, Fredericton (N.-B.).
- RILEY, J.P., ISRAELSEN, E.K. et EGGLESTON, K.O. (1972): Some approaches to snowmelt prediction, in *Le rôle de la neige et de la glace en hydrologie*, Actes du Colloque de Banff, p. 956-971.
- STANTON, C.R. (1966): Preliminary investigations of snow accumulation and melting in forested and cut-over areas of the Crow-nest Forest, *Proc. 34th Annual Western Snow Conference*, p. 7-12.
- SWANSON, R.H. (1970): Local snow distribution is not a function of local topography under continuous tree cover, *Journal of Hydrology*, 9(2), p. 292-298.
- U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (1956): *Snow hydrology*, Portland, Oregon, North Pacific Division, Corps of Engineers, 437 p.
- WILM, H.G. et COLLET, M.H. (1940): The influence of lodgepole pine forest on storage and melting of snow, *American Geophysical Union Transactions*, 21, p. 505-508.
- WILM, H.G. et DUNFORD, E.G. (1948): *Effect of timber cutting on water available for streamflow from a lodgepole pine forest*. Technical Bulletin, U.S. Dept. of Agriculture, p. 968.