

**Les combes à neige de la rivière aux Feuilles
(Nouveau-Québec) : indicateurs paléoclimatiques holocènes**
**Nivationsmulden des rivières aux Feuilles Flusses, Neues
Québec: holozän-paleoklimatische Anzeichen**

Serge Payette and Roxane Lajeunesse

Volume 34, Number 2, 1980

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1000398ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/1000398ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Les Presses de l'Université de Montréal

ISSN

0705-7199 (print)

1492-143X (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Payette, S. & Lajeunesse, R. (1980). Les combes à neige de la rivière aux Feuilles (Nouveau-Québec) : indicateurs paléoclimatiques holocènes. *Géographie physique et Quaternaire*, 34(2), 209–220. <https://doi.org/10.7202/1000398ar>

Article abstract

On the basis of plant macrofossil analysis (charcoals, charred cones of black spruce *Picea mariana* (Mill.) BSP and larch *Larix laricina* (DuRoi) K. Koch, wood fragments) and plant population dynamics, the origin and the evolution of the snow-patch environment are correlated with the Neoglacial episode. Data suggest that this peculiar environment has evolved from previously wooded stands. The removal of the forest cover was caused by fires during cold climatic periods that restricted forest regeneration. The snow-patches therefore are thought to be a response to several periods of climatic deterioration around 2600, 2200, 1600-1400, 1000-900 and 500-300 years BP. Some snowpatches that appeared early during the Neoglacial may have experienced a minor tree invasion around 1300-1200 years BP, during a warmer climatic interval. The gradual development of snowpatch communities, and the overall regression of the forest cover, since 2600 years BP, suggest that the climatic deterioration, although persisting, was not of great range; forest fires have played some role in the snow cover expansion, and may have initiated them. Snowpatches located near forest formations have experienced a larch colonization between 1940 and 1970, which seems to be correlated with the twentieth century warming trend. Since 1970, a reversal of this trend has been observed, and it is characterized by at least 17% of larch mortality in the snowpatch population. This mortality appears to be related to the reactivation of periglacial process. Finally, the recent formation of large gelifluction lobes along some snowy slopes had detrimental effects on lowland vegetation, and may eventually produce suitable conditions for new snowpatch initiation.

LES COMBES À NEIGE DE LA RIVIÈRE AUX FEUILLES (NOUVEAU-QUÉBEC) : INDICATEURS PALÉOCLIMATIQUES HOLOCÈNES

Serge PAYETTE et Roxane LAJEUNESSE, Département de phytologie et Centre d'études nordiques, université Laval, Sainte-Foy, Québec, G1K 7P4.

RÉSUMÉ L'analyse des sols et de la végétation de ces milieux a permis de situer leur origine et leur évolution au cours du Néoglaciale. La présence de macrorestes fossiles (charbons de bois, cônes calcinés d'épinette noire *Picea mariana* (Mill.) BSP et de mélèze *Larix laricina* (DuRoi) K. Koch, fragments de bois) indique que les combes à neige viennent de milieux anciennement boisés. La disparition du couvert forestier se serait produite à la suite de feux survenant au cours de périodes climatiques froides inhibant toute régénération forestière. Les combes à neige sont ainsi la réponse à des périodes de détérioration climatique qui se sont manifestées quelque temps après 2600, 2200, 1600-1400, 1000-900 et 500-300 ans BP. Quelques combes à neige apparues tôt au Néoglaciale auraient connu une régression autour de 1300-1200 ans BP (sous réserve), grâce à un réchauffement climatique ayant favorisé une certaine réafforestation. L'apparition et l'expansion graduelles des combes à neige aux dépens du couvert forestier de 2600 ans BP jusqu'à nos jours suggèrent que le refroidissement climatique, bien que persistant, n'était pas de grande amplitude; les feux auraient servi la plupart du temps d'amorce à l'expansion du couvert de neige. Les combes à neige situées à proximité de formations arborescentes ont subi un envahissement de mélèzes entre 1940 et 1970, corrélé avec le réchauffement climatique du XX^e siècle. Depuis 1970, un renversement de la tendance climatique est survenu et est caractérisé par la mortalité d'au moins 17% de la population de mélèzes des combes à neige. Cette mortalité est étroitement reliée à l'intense reprise des processus périglaciaires dans les combes. Finalement, l'apparition toute récente de grandes coulées de gélifluction sur les versants enneigés a eu pour conséquence de détruire la végétation des bas-versants et favoriser la formation de nouvelles combes à neige.

ABSTRACT On the basis of plant macrofossil analysis (charcoals, charred cones of black spruce *Picea mariana* (Mill.) BSP and larch *Larix laricina* (DuRoi) K. Koch, wood fragments) and plant population dynamics, the origin and the evolution of the snow-patch environment are correlated with the Neoglacial episode. Data suggest that this peculiar environment has evolved from previously wooded stands. The removal of the forest cover was caused by fires during cold climatic periods that restricted forest regeneration. The snow-patches therefore are thought to be a response to several periods of climatic deterioration around 2600, 2200, 1600-1400, 1000-900 and 500-300 years BP. Some snowpatches that appeared early during the Neoglacial may have experienced a minor tree invasion around 1300-1200 years BP, during a warmer climatic interval. The gradual development of snowpatch communities, and the overall regression of the forest cover, since 2600 years BP, suggest that the climatic deterioration, although persisting, was not of great range; forest fires have played some role in the snow cover expansion, and may have initiated them. Snowpatches located near forest formations have experienced a larch colonization between 1940 and 1970, which seems to be correlated with the twentieth century warming trend. Since 1970, a reversal of this trend has been observed, and it is characterized by at least 17% of larch mortality in the snowpatch population. This mortality appears to be related to the reactivation of periglacial process. Finally, the recent formation of large gelifluction lobes along some snowy slopes had detrimental effects on lowland vegetation, and may eventually produce suitable conditions for new snowpatch initiation.

ZUSAMMENFASSUNG *Nivationsmulden des rivières aux Feuilles Flusses, Neues Québec: holozän-paleoklimatische Anzeichen.* Pflanzen-Analysen (Holzkohle, kalzinierte Fichtenzapfen *Picea mariana* (Mill.) BSP und Lärchenzapfen *Larix laricina* (DuRoi) K. Koch, Holzfragmente) weisen darauf hin, dass die Nivationsmulden aus ehemals bewaldeten Gebieten stammen. Das Verschwinden der Walddecke erklärt sich als Folge von Feuern, die während einer klimatischen Kälteperiode stattfanden, die jeglichen Nachwuchs des Waldes verhinderten. Die Nivationsmulden sind also die Antwort auf mehrere Zeiträume klimatischer Verschlechterung um 2600, 2200, 1600-1400, 1000-900 und 500-300 Jahren v.u.Z. Die graduelle Erscheinung und Entwicklung der Nivationsmulden auf Kosten der Walddecke seit 2600 Jahren v.u.Z. und bis heute, deuten darauf hin, dass die Klimaverschlechterung, wenn auch beständig, so jedoch von geringem Ausmass war. Waldfeuer haben bei der Verbreitung der Nivationsmulden eine Rolle gespielt und können deren Erscheinung eingeleitet haben. Nivationsmulden, die sich in der Nähe von bewaldeten Gebieten befinden, wurden zwischen 1940-70 von Lärchen besiedelt, was mit der Klimaerwärmung des 20. Jahrhunderts zusammenhängt. Seit 1970 zeigt sich eine umgekehrte Tendenz welche durch eine 17% Mortalität der inden Nivationsmulden angesiedelten Lärchen charakterisiert ist. Diese Mortalität steht in engem Zusammenhang mit der intensiven Wiederaufnahme der periglaziären Erscheinungen in den Nivationsmulden, welche die jungen Wurzeln der Lärchen direkt beeinflusst haben. Schliesslich hatte die erst ganz kürzlich erschienene Formation von grossen Gelifluktionsströmen über einige der verschneiten Hänge die Vernichtung der Tiefland Vegetation zur Folge.

INTRODUCTION

Les combes à neige des régions arctiques et hémiarctiques constituent des milieux écologiques particulièrement bien différenciés dans le paysage. Elles couvrent des étendues relativement grandes dans les reliefs accidentés des côtes du Nouveau-Québec et du Labrador et suivent les ruptures de pente et les dépressions d'importance sur les grands plateaux de l'intérieur.

Les combes à neige apparaissent dans les sites où la neige poudrée s'accumule en grande quantité (FILION, 1976). Par ailleurs, l'influence de l'enneigement est tel que les faibles températures estivales suffisent à peine pour faire disparaître le couvert nival en juillet et parfois en août. À la suite de certains hivers peu neigeux, les combes peuvent être libérées de neige au cours du mois de juin. Il existe différents types de combes à neige selon la végétation qui les colonise et les processus périglaciaires qui les affectent. Dans le présent travail, nous qualifierons de combe à neige tout site occupé par une formation végétale non arborescente de la toundra forestière dont la présence et le maintien sont assurés par un régime nival de fort enneigement, mais surtout de déneigement tardif. Une combe à neige se caractérise ainsi par une florule particulière, dont plusieurs taxons sont nettement chionophiles (POLUNIN, 1948; GJAEREVOLL, 1956; BILLINGS et BLISS, 1959; BLISS, 1969; FILION, 1976; PAYETTE et LEPAGE, 1977). La flore des combes à neige du Nouveau-Québec possède le plus souvent une affinité arctique ou arctique-alpine et renferme de nombreux taxons d'affinité boréale, notamment en région hémiarctique.

Si la disparition tardive de la neige contribue à diminuer sensiblement la longueur de la saison de croissance, elle empêche ainsi l'établissement d'un couvert forestier (BILLINGS et BLISS, 1959; BLISS, 1969, FONDA et BLISS, 1969; KURAMOTO et BLISS, 1970; PAYETTE, et al., 1973, RQNNING, 1969). Cette situation est particulièrement bien exprimée à la rivière aux Feuilles (fig. 1), où l'on observe fréquemment, sur quelques dizaines de mètres de distance, le passage de la forêt à une végétation chionophile. L'expression écologique d'un tel gradient n'est du reste pas exclusive à cette région, mais caractéristique de la zone hémiarctique du Nouveau-Québec (PAYETTE, 1976). À cause de la coexistence de ces deux types de végétation, le long de certaines unités topographiques où le gradient d'enneigement-déneigement est marqué, nous posons l'hypothèse que la majorité des combes à neige de la région de la rivière aux Feuilles ont été formées plus ou moins récemment à partir d'un couvert forestier autrefois plus étendu. Le développement des combes à neige serait associé à un refroidissement climatique au cours de l'Holocène et se ferait, de façon générale, aux dépens du couvert forestier. La présente étude a ainsi été entreprise dans le but de connaître la signification paléoéco-

logique et actuelle des combes à neige à la limite des forêts, où les perturbations du milieu reliées au climat sont particulièrement ressenties dans la végétation et les sols.

RÉGION ÉTUDIÉE

La région étudiée (fig. 1) est située le long de la rivière aux Feuilles et a déjà fait l'objet d'un certain nombre de travaux écologiques reliés à la végétation (GILBERT, 1979; PAYETTE et GAGNON, 1979; Dubreuil, en prép., Couillard, en prép., Godmaire, en prép., Morin, en prép.) et au pergélisol (PAYETTE et SÉGUIN, 1979). C'est à quelques kilomètres au nord de la rivière aux Feuilles qu'apparaissent la limite des forêts (*sensu* HUSTICH, 1966) et la limite des arbres (PAYETTE, 1976).

Les formations conifériennes de mélèze et d'épinette noire sont réparties dans les basses terres de la rivière aux Feuilles et le long de ses nombreux affluents. En dehors de ces milieux, les terrains sont occupés par des formations basses représentées par plusieurs espèces arbustives, muscinales et lichéniques; elles recouvrent une plus grande surface que les conifères et sont soumises à une forte déflation nivale au cours de l'hiver. La neige poudrée est le plus souvent piégée par les formations arbustives et arborescentes plus ou moins ouvertes et les dépressions topographiques. Les combes à neige de la région de la rivière aux Feuilles sont localisées dans de longues dépressions exposées entre le nord-est et le sud-est (fig. 2); certaines combes, cependant, font face à l'ouest et parfois au sud. Les plus importantes combes occupent des dépressions où le dénivelé peut dépasser 10 à 15 mètres de hauteur.

VÉGÉTATION ET SOLS DES COMBES À NEIGE

VÉGÉTATION

La végétation des combes à neige est disposée en bandes plus ou moins parallèles reliées à la longueur de la saison de croissance, ainsi qu'aux conditions édaphiques et microtopographiques. Les combes les plus différenciées sur le plan écologique se composent, du haut vers le bas des pentes, des bandes végétales suivantes: bande à *Vaccinium uliginosum*, bande à *Stereocaulon paschale-Salix herbacea*, bande à *Calamagrostis canadensis*; elles sont presque toujours encadrées par une bande à *Betula glandulosa* (fig. 3). Selon l'alternance des surfaces convexes et concaves déterminant un patron de déneigement particulier, les bandes chionophiles présentent dans le détail une distribution irrégulière, souvent en plaques. La nature des dépôts de surface et les conditions de drainage exercent aussi des changements dans la distribution des

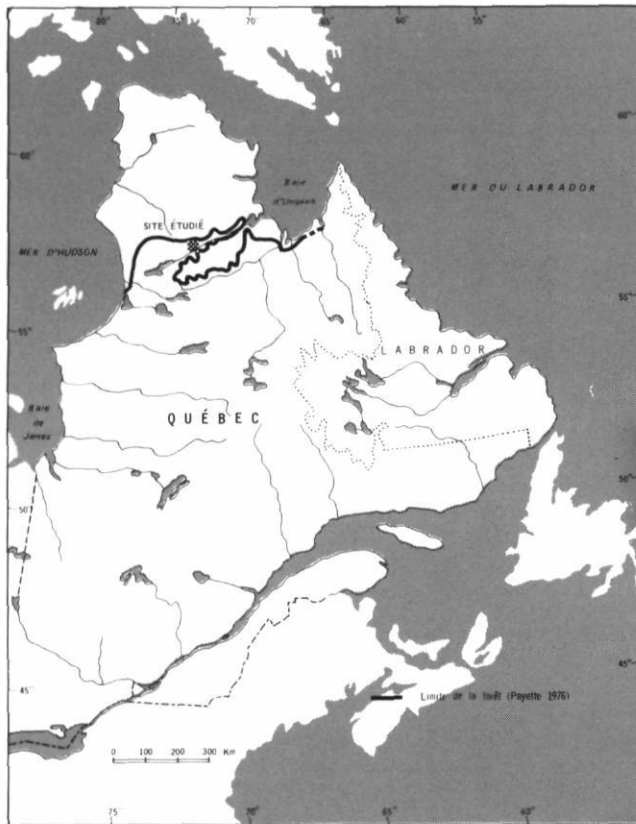


FIGURE 1. Localisation de la région étudiée.
Location of the study area.

bandes végétales. La végétation bordant les ruisseaux qui traversent certaines combes est très diversifiée par opposition à celle qui occupe les microreliefs convexes et les amas de blocs. Dans certaines combes à neige, la présence d'ostioles modifie sensiblement la configuration des bandes végétales et favorise l'envahissement d'espèces pionnières. Une liste non exhaustive des espèces végétales retrouvées dans chaque bande est présentée dans le tableau I, la topographie peu marquée de certaines combes ne permet l'établissement que d'un nombre limité de bandes chionophiles. C'est pourquoi les combes à neige réduites à leur plus simple expression possèdent une seule bande chionophile, la bande à *Stereocaulon paschale-Salix herbacea*, entourée de part et d'autre par une bande à *Betula glandulosa*. Le bouleau glanduleux se retrouve dans toutes les bandes de végétation, mais montre une croissance ralentie, un port érodé et une distribution sporadique.

Dans une étude récente sur le dynamisme des populations de bouleau glanduleux de ces combes à neige, BOUCHARD (1979) a souligné leur situation écologique précaire; il a de plus suggéré que les populations de bouleau glanduleux ont amorcé une certaine expansion au cours du xx^e siècle, notamment à partir des années



FIGURE 2. Combe à neige exposée vers l'est et le sud et située au-delà d'une mélézaie avec épinettes noires, rivière aux Feuilles, Nouveau-Québec.
Snowpatch exposed toward the east and the south and located above a larch forest with black spruce. Leaf River, Nouveau-Québec.



FIGURE 3. Combe à neige encadrée par une bande de bouleau glanduleux. La plus grande surface de la combe est occupée par une bande à *Stereocaulon paschale-Salix herbacea*; le bas de la combe est ponctué de plaques de *Calamagrostis canadensis*.
Snowpatch surrounded by a dwarf birch belt. The *Stereocaulon paschale-Salix herbacea* belt has the most extensive cover, whereas downslope, the snowpatch is characterized by *Calamagrostis canadensis* patches.

30. Cet aspect du dynamisme des populations est particulièrement bien illustré par le comportement du mélèze dans les combes à neige, permettant de poser l'hypothèse que certaines espèces des combes sont soumises à des fluctuations d'importance exprimées au niveau de la régénération et de la mortalité de leurs populations. En effet, on a pu noter que le mélèze colonise la bande de bouleau glanduleux et certaines bandes de végétation chionophile situées à proximité des

TABLEAU I

Distribution des espèces selon les bandes de végétation
d'une combe à neige représentative de la rivière aux Feuilles

Espèces végétales	Bande de <i>Betula glandulosa</i>	Bande de <i>Vaccinium uliginosum</i>	Bande de <i>Stereocaulon-Salix herbacea</i>	Bande de <i>Calamagrostis canadensis</i>
<i>Vaccinium uliginosum</i>	x	x	x	x
<i>Empetrum nigrum</i>	x	x	x	x
<i>Solidago macrophylla</i>	x	x	x	x
<i>Rubus arcticus</i>	x	x	x	x
<i>Stereocaulon paschale</i>	x	x	x	x
<i>Betula glandulosa</i>	x	x	x	x
<i>Calamagrostis canadensis</i>	x	x	x	x
<i>Lycopodium annotinum</i>	x	x	x	
<i>Pedicularis labradorica</i>	x	x	x	
<i>Linnaea borealis</i>	x	x	x	
<i>Epilobium angustifolium</i>	x	x	x	
<i>Coptis groenlandica</i>	x	x	x	
<i>Phyllodoce caerulea</i>	x	x	x	
<i>Salix herbacea</i>		x	x	x
<i>Carex bigelowii</i>	x		x	x
<i>Cladina mitis</i>	x	x	x	
<i>Peltigera aptosa</i>	x	x	x	
<i>Deschampsia flexuosa</i>	x		x	
<i>Salix glauca</i>	x	x		
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	x	x		
<i>Ledum groenlandicum</i>	x	x		
<i>Cornus canadensis</i>	x	x		
<i>Petasites palmatus</i>	x	x		
<i>Castilleja septentrionalis</i>	x	x		
<i>Pyrola minor</i>	x	x		
<i>Trientalis borealis</i>	x	x		
<i>Cladonia uncialis</i>	x	x		
<i>Pleurozium schreberi</i>	x	x		
<i>Cladina rangiferina</i>	x	x		
<i>Deschampsia caespitosa</i>		x	x	
<i>Hierocloe alpina</i>		x	x	
<i>Lycopodium alpinum</i>		x	x	
<i>Pedicularis lapponica</i>		x	x	
<i>Polygonum viviparum</i>		x	x	
<i>Sibbaldia procumbens</i>		x	x	
<i>Poa arctica</i>		x	x	
<i>Carex vaginata</i>		x	x	
<i>Cladonia gracilis</i>		x	x	
<i>Cetraria islandica</i>		x	x	
<i>Peltigera rufescens</i>		x	x	
<i>Vaccinium cespitosum</i>		x	x	
<i>Picea mariana</i>	x			
<i>Alnus crispa</i>	x			
<i>Arctostaphylos alpina</i>	x			
<i>Salix argyrocarpa</i>	x			
<i>Polytrichum commune</i>	x			
<i>Ribes glandulosum</i>	x			
<i>Veronica alpina</i>		x		
<i>Viola conspersa</i>		x		
<i>Taraxacum lapponicum</i>		x		
<i>Loiseleuria procumbens</i>		x		
<i>Senecio pauciflorus</i>		x		
<i>Carex deflexa</i>		x		
<i>Schizachne purpuracens</i>		x		
<i>Antennaria isolepis</i>		x		
<i>Antennaria unguiculis</i>		x		
<i>Deschampsia atropurpurea</i>		x		
<i>Diapensia lapponica</i>			x	
<i>Cetraria cucullata</i>			x	
<i>Luzula confusa</i>			x	
<i>Gnaphalium supinum</i>			x	
<i>Luzula groenlandica</i>			x	
<i>Carex lachenalii</i>				x
<i>Sphagnum recurvum</i>				x
<i>Sphagnum girgensohnii</i>				x
<i>Larix laricina</i>			x	x

formations arborescentes. Son abondance varie selon les bandes de végétation des combes; le plus grand nombre d'individus se retrouve au contact de la bande à *Betula glandulosa* et de la bande à *Calamagrostis canadensis*, alors que de rares individus colonisent la bande à *Stereocaulon paschale*-*Salix herbacea*. Un échantillonnage exhaustif de cinq combes à neige longeant des formations arborescentes de mélèze a permis de déterminer l'âge de 489 mélèzes vivants, en comptant le nombre de cernes annuels au niveau du collet. Par ailleurs, on a dénombré 102 mélèzes morts au cours de l'échantillonnage des populations. Grâce à l'analyse dendrochronologique, on a précisé la date de mortalité de chacun de ces spécimens; c'est en comparant une à une les courbes de croissance radiale des mélèzes vivants et morts que l'on a pu établir le recouplement chronologique (*cross-dating*, FRITTS 1976) et déterminer à l'année près les dates de mortalité. La structure d'âge de l'ensemble des populations de mélèzes vivants et morts des combes à neige est présentée à la figure 4. La structure d'âge des mélèzes vivants montre tout d'abord que la population totale a connu une lente expansion entre 1940 et 1950 et qu'une augmentation sensible s'est produite entre 1950 et 1970, avec des pics d'abondance situés en 1962 et en 1966. Par la suite, la population a subi une diminution importante de l'établissement des plantules au début de la décennie 1970. À cette diminution de la régénération correspond une augmentation significative de la mortalité des mélèzes, atteignant un pic en 1976. Pas moins de 17% de la population totale de mélèze est disparue depuis 1970. Ce pourcentage équivaut à l'évaluation de la mortalité apparente, telle que décelée lors de l'échantillonnage et n'inclut donc pas l'estimation de la mortalité naturelle des jeunes plantules âgées de quelques années seulement; leur petite taille et probablement leur décomposition relativement rapide n'ont pas permis de les repérer. On constate, finalement, qu'en tenant compte de l'âge des mélèzes morts et de leur date de mortalité respective, ces individus s'étaient installés dans les combes à neige au cours de la même période d'expansion des mélèzes vivants, soit entre 1940 et 1966. Cette observation permet d'affirmer que les mélèzes morts faisaient partie de la même population envahissante de mélèzes au cours du XX^e siècle.

SOLS

Les sols des combes à neige de la région étudiée ont fait l'objet de nombreuses observations. Sous les conditions écologiques actuelles, ils sont soumis plus ou moins intensément à un régime de géliturbation et de gélifluction (WASHBURN, 1973; JAHN, 1975); ils présentent des profils aux horizons plus ou moins perturbés (fig. 5). Les profils montrent une distribution irrégulière des horizons élaborée à partir de podzols ou de brunisols sous l'action de la géliturbation. En effet,

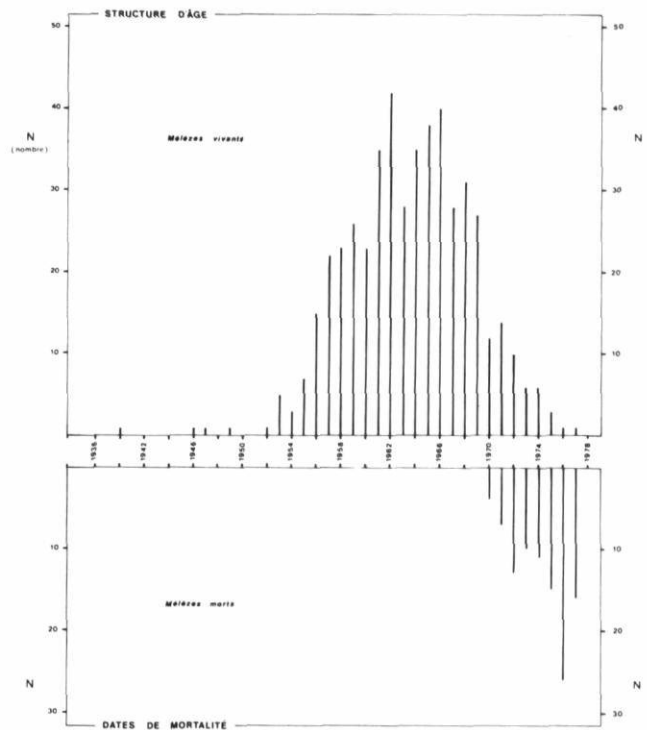


FIGURE 4. Structure d'âge et dates de mortalité des mélèzes dans quelques combes à neige de la rivière aux Feuilles, Nouveau-Québec.

Age structure and mortality dates of the larch snowpatch population of the Leaf River area, Nouveau-Québec.



FIGURE 5. Horizon organique enfoui et géliturbé, contenant des charbons de bois datés à 405 ± 130 ans BP; le profil enfoui de la combe à neige appartient au podzol humo-ferrique.

Buried and geliturbated organic horizon with charcoals dated 405 ± 130 BP; the snowpatch buried profile is a humo-ferric podzol.

les horizons du *solum* originel appartiennent soit au podzol humo-ferrique ou au brunisol dystrique dégradé (tabl. II); ces sols sont fortement dérangés par les processus périglaciaires, sous forme de mélange des horizons, d'enfouissement et d'extrusion du matériel originel (horizon C). La géliturbation s'observe sur le parterre des combes par la présence d'ostioles et la gélifluction par leur étirement dans le sens de la pente, ainsi que par la distribution de profils transversaux convexo-concaves. Vue en plan, l'alternance plus ou moins régulière des buttes convexes et des dépressions concaves ressemble à une succession de formes en coin (buttes) et en cuiller (dépressions), les unes localisant des sites peu instables actuellement, les autres associées à des niches de décollement sous l'action de la gélifluction. Dans certaines combes à neige peu affectées par les processus périglaciaires, les profils pédologiques originaux sont intacts et sont recouverts de deux types d'horizon organique, le plus près de la surface correspondant au faible rythme d'accumulation organique engendré par les espèces peu productives de ces milieux.

Tous les profils de sol des combes à neige de la région de la rivière aux Feuilles possèdent des horizons organiques superficiels, enfouis ou mélangés aux

horizons minéraux contenant des charbons de bois. Ces derniers renferment généralement des cônes calcinés d'épinette noire et de mélèze. Des fragments de bois et parfois des troncs d'arbre ont aussi été occasionnellement trouvés en profondeur ou en surface (fig. 6). On a procédé à l'échantillonnage de charbons de bois, de fragments de bois et d'un horizon organique enfoui contenant de petits charbons de bois; l'ensemble des échantillons est réparti dans sept combes à neige différentes. Les caractéristiques générales des combes à neige et l'âge ^{14}C des sédiments organiques échantillonnés sont présentés dans le tableau III.

COULÉES DE GÉLIFLUCTION ET COMBES À NEIGE

La gélifluction n'est pas un phénomène exclusif aux combes à neige, comme l'ont indiqué de nombreux chercheurs (BENEDICT, 1970, 1976; WASHBURN, 1967, 1973; JAHN, 1975). Les terrains plus ou moins en pente affectés par le pergélisol et des cycles de gel-dégel fréquents, et caractérisés par un couvert nival mince, sont souvent soumis au déplacement gélifluidal. À cet effet, on a observé la formation récente de grandes coulées de gélifluction sur de nombreux versants de la rivière aux Feuilles exposés au sud-est, au sud et au sud-ouest. L'examen des photographies aériennes dis-

TABLEAU IIa

Caractéristiques physiques et chimiques d'un sol représentatif de combe à neige développée sur un till acide bien drainé

Horizon	Épaisseur (cm)	pH	M.O.(%)	C/N	H	Ca	Mg	K	Na	Bases totales	C.E.C.	Sat. bases (%)	sable (%)	limon (%)	argile (%)
H+Bm+C	7-40	4,8	11,6	12	22,0	0,40	0,15	0,10	0,04	0,69	22,69	3	67,6	21,0	11,4
C+H+Bm	0-15	4,9	2,2	—	3,2	0,20	0,05	0,01	0,01	0,27	3,47	8	65,6	24,0	10,4
Hb	1-13	4,9	33,4	20	69,6	3,49	0,42	0,06	0,09	4,06	73,66	5	57,2	29,6	13,2
Aeb	0-1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Bmb	1-35	5,2	1,2	—	3,8	0,40	0,05	0,01	0,01	0,47	4,27	11	72,6	19,8	7,6
Cgb	—	5,4	1,4	—	1,2	0,20	0,02	0,01	0,01	0,24	1,44	17	75,6	19,8	4,6

N.B. Analyses réalisées au laboratoire des sols du ministère de l'Agriculture du Québec.

TABLEAU IIb

Valeurs de pédogénèse de deux sols de combe à neige (pyrophosphate de Na) sur matériel originel identique mais d'âge différent

Horizon	Combe à neige datée vers 2200 ans BP (brunisol dystrique dégradé)			Horizon	Combe à neige datée vers 1500-1400 ans BP (podzol humo-ferrique)		
	% Fe-pyro	% Al-pyro	%(Fe+Al)-pyro		% Fe-pyro	% Al-pyro	%(Fe+Al)-pyro
C+H+Bm	0,12	0,24	0,36	C+H+Bf	0,18	0,29	0,47
Bmb	0,17	0,23	0,40	Bfb	0,27	0,44	0,71
Cgb	0,08	0,21	0,29	Cgb	0,08	0,17	0,25

N.B. Classification des sols d'après la Commission canadienne de pédologie (1978).



FIGURE 6. Macrofossile moderne (< 200 ans BP) de mélèze situé au contact d'une bande à bouleau glanduleux et d'une bande à *Vaccinium uliginosum*. La présence de ce macrofossile indique que la combe à neige a pris de l'expansion depuis le XIX^e siècle.

Larch modern macrofossil (< 200 BP) found between a dwarf birch belt and a Vaccinium uliginosum belt. This macrofossil suggest that the snowpatch is expanding since the XIXth century.

ponibles (prises en 1957) permet de retracer certaines d'entre elles, stabilisées et complètement recouvertes de végétation; elles présentent en leur centre de petites combes à neige (fig. 7). Depuis 1957, on remarque une reprise de gélifluction dans quelques sites, mais on note surtout la formation de nouvelles coulées causant d'importants dommages au tapis végétal situé au bas des versants. Entre 1976 et 1979, certaines coulées de gélifluction ont été particulièrement actives; l'écoulement des sédiments minéraux vers le bas des versants a détruit des parcelles de forêt d'épinette noire et de mélèze (fig. 8 et 9). Ces coulées se localisent à côté ou à l'emplacement d'anciennes coulées de gélifluction maintenant occupées par de petites combes à neige. Sachant que ces formations sont exposées vers le sud-est, où l'on note une fréquence élevée de combes à neige, il est possible que les cicatrices de gélifluction favorisent une forte accumulation nivale par l'intermédiaire des nouvelles formes en creux des versants.

DISCUSSION

La nature des horizons organiques échantillonnés indique que les combes à neige de la région étudiée sont apparues après le passage de feux qui ont complètement détruit un couvert forestier de mélèze et d'épinette noire plus ou moins dense. D'autres auteurs ont aussi noté cette relation existant entre les feux de forêt et l'origine de certaines prairies subalpines et de combes à neige en région montagneuse (PATTEN, 1963;

BROOKE, 1965; BILLINGS, 1969; FONDA et BLISS, 1969; KURAMOTO et BLISS, 1970).

L'âge des feux qui ont dévasté ces formations forestières ainsi que l'âge de chaque combe à neige ne peuvent être connus avec précision. Si les charbons de bois datés correspondent à la portion externe des troncs, l'âge du feu peut se rapprocher sensiblement de l'âge ¹⁴C des macrorestes; par contre, l'âge du feu différera plus ou moins fortement de l'âge ¹⁴C des charbons de bois dans le cas où ils correspondent à la partie interne des troncs, ou encore, lorsque les charbons de bois appartiennent à des arbres déjà morts lors du passage du feu, situation déjà notée par GAGNON (en prép.) à la rivière aux Feuilles. Ne pouvant préciser leur provenance, nous estimons que chaque échantillon de charbons de bois comprend une proportion variable de bois interne, selon l'intensité du feu, et qu'ainsi un âge ¹⁴C moyen moins 100 ans environ se rapprocherait de l'âge réel du feu. Quant à l'échantillon Qu-968, composé à la fois de matière organique d'un horizon H enfoui et de petits fragments de charbons de bois, sa nature composite suggère un âge ¹⁴C probablement de quelques centaines d'années (peut-être de 200 ans?) plus vieux que l'âge du feu qui l'a affecté. Cette suggestion vient du fait que l'âge ¹⁴C d'un horizon organique de surface est une moyenne peu fidèle entre l'âge de la matière organique fraîchement formée et l'âge de la matière organique humidifiée, décomposée depuis un certain temps. Il n'est probablement pas exagéré de supposer un tel décalage de temps entre l'âge ¹⁴C du sédiment organique et l'âge du feu, car le renouvellement de la matière organique d'un horizon de surface peut exiger une période plus longue en région froide, à cause d'une plus faible productivité biologique. De plus, il est possible qu'une stabilité relative de l'horizon organique se soit produite avant le passage du feu, puisque l'âge de cet horizon devait être égal et même supérieur à l'âge de la forêt (minimum de 200 ans) qui a contribué à sa formation. À titre de comparaison, BENEDICT (1966) a obtenu un âge de 355 ± 115 ans BP. à partir d'un horizon organique moderne au Colorado. Il est ainsi possible que les trois échantillons organiques récoltés dans la même combe à neige et donnant respectivement des âges ¹⁴C de 1260 ± 125 (bout de racine d'arbre: GX-6141), de 1400 ± 130 (charbons de bois: GX-6148) et de 1680 ± 100 (horizon H et charbons de bois disséminés: Qu-968) puissent appartenir au même écosystème détruit par un feu et soumis par après à la gélifluction. La distance sur le terrain séparant les deux échantillons de charbons de bois (GX-6148 et Qu-968) est au moins une dizaine de mètres et permet de supposer aussi que ces deux feux sont d'âge différent. Après révision des échantillons et des données disponibles, nous sommes d'avis que l'essentiel de la combe s'est formé entre 1600 et 1400 ans BP. L'échantillon de bout de bois (GX-6141) pourrait correspondre, et

TABLEAU III

Dates ^{14}C des échantillons organiques des combes à neige
de la rivière aux Feuilles

N° laboratoire	Échantillon	âge ^{14}C	Remarques
Gx-6135	charbons de bois	405 ± 130	Combe à <i>Stereocaulon paschale-Salix herbacea</i> (une seule bande chionophile), exposée vers l'ouest. Située à environ 15 km au nord de la rivière aux Feuilles. Charbons de bois d'un horizon H légèrement enfoui, à environ 5 cm de la surface.
Qu-585	bout de bois	530 ± 110	Partie inférieure d'une combe à neige, près d'un ruisseau. Traces de feu. Combe située à environ 15 km au nord de la rivière aux Feuilles. Macro-fossile de surface.
GX-6137	charbons de bois	1050 ± 160	Combe à <i>Stereocaulon paschale-Salix herbacea</i> et à <i>Calamagrostis canadensis</i> , exposée vers l'est-sud-est. Située à environ 1 km au nord de la rivière aux Feuilles. Charbons de bois d'un horizon H enfoui. Présence de plusieurs ostioles et de jeunes mélèzes.
GX-6138	charbons de bois	970 ± 150	Combe à <i>Stereocaulon paschale-Salix herbacea</i> donnant sur un petit feu, exposée vers l'est. Charbons de bois d'un horizon H non enfoui au contact de l'horizon Ae. Située au sud de la rivière aux Feuilles.
GX-6141	bout de bois (racine?)	1260 ± 125	Grande combe à <i>Vaccinium uliginosum</i> , <i>Stereocaulon paschale-Salix herbacea</i> et à <i>Calamagrostis canadensis</i> , exposée vers le sud-est. Située à environ 0,5 km au nord de la rivière aux Feuilles. Bout de bois enfoui sous quelques cm de sédiments minéraux. Présence de jeunes mélèzes.
GX-6148	charbons de bois	1400 ± 130	Même combe que GX-6141. Charbons de bois d'un horizon H enfoui sous quelques cm de sédiments minéraux.
Qu-968	horizon Hb et petits fragments de charbons de bois	1680 ± 100	Même combe que Gx-6141 et Gx-6148. Horizon organique enfoui à 1 m de la surface.
GX-6136	charbons de bois	2275 ± 135	Combe à <i>Stereocaulon paschale-Salix herbacea</i> et à <i>Calamagrostis canadensis</i> (cette dernière bande étant confinée à de petites surfaces), exposée vers le sud-est. Située à environ 1 km au nord de la rivière aux Feuilles. Charbons de bois d'un horizon H enfoui sous quelques cm de sédiments minéraux. Présence de jeunes mélèzes.
GX-6140	charbons de bois	2670 ± 195	Grande combe à neige semblable à celle où furent échantillonnés les sédiments GX-6141, GX-6148 et Qu-968 et donnant sur un petit feu. Exposée vers le sud-est. Située à environ 0,5 km au nord de la rivière aux Feuilles. Charbons de bois d'un horizon H enfoui sous quelques cm de sédiments minéraux.

avec beaucoup de réserve, à une période de colonisation forestière centrée autour de 1300-1200 ans BP.

ÉVOLUTION DES COMBES À NEIGE

Compte tenu de ces remarques, certaines combes à neige seraient apparues quelque temps après 2600 et 2200 ans BP, après le passage d'un feu. L'absence de régénération forestière après feu suggère que ces deux périodes correspondent à une détérioration climatique importante. Par ailleurs, il est possible que ces dates ^{14}C appartiennent à un seul événement, si l'on tient compte de l'amplitude des erreurs standard des dates. Bien que l'on soit d'avis que ces dates indiquent des feux indépendants, on doit souligner qu'elles ne sont pas statistiquement différentes (probabilité de 95%).

D'autres combes à neige se sont formées plus tardivement, après des périodes forestières se terminant selon les sites entre 1600-1400 et 1000-400 ans BP. Signalons que ces combes ne diffèrent pas tellement de celles qui sont apparues plus tôt au début de la période néoglaciale. À part quelques différences floristiques, la végétation générale de ces combes est similaire. Certaines d'entre elles auraient connu une brève période de régression autour de 1300-1200 ans BP, à la faveur d'un réchauffement climatique permettant une afforestation plus ou moins importante.

Une autre période de formation de combes à neige semble correspondre au début du Petit Âge glaciaire, soit vers 500-300 ans BP. Leur installation serait attribuable à un manque de régénération forestière après



FIGURE 7. Vieilles cicatrices de gélifluction occupées par de petites combes à neige. Versant de la rivière aux Feuilles exposé vers le sud sud-est.

Old gelifluction scars occupied by small snowpatches exposed toward the south south-east, along the Leaf River.



FIGURE 8. Jeunes cicatrices de gélifluction formées au cours de la décennie 1970 et surplombant une pessière à épinette noire et mélèze. Versant exposé vers le sud-est.

Young gelifluction scars formed during the 1970's, and located above a larch-black spruce forest. The slope is exposed toward the south-east.

feu, comme dans le cas des combes plus anciennes. Les deux combes à neige étudiées qui sont apparues pendant cette période se situent entre la limite des forêts de mélèze et la limite des arbres, à quelques dizaines de kilomètres au nord de la rivière aux Feuilles.

Malgré le petit nombre d'échantillons datés, on note un certain regroupement quant aux dates d'origine des principales combes à neige de la région de la rivière aux Feuilles, soit vers 2600, 2200, 1600-1400, 1000-400 et 500-300 ans BP. L'apparition des premières combes



FIGURE 9. Parcelle de pessière à épinette noire et mélèze détruite par l'accumulation de sédiments géli-fluideux en provenance d'un versant exposé vers le sud-est (voir figure précédente).

A larch-black spruce forest strip affected by downslope gelifluidal sediments, exposed toward the south-east (see figure 8).

se serait ainsi faite au début du Néoglaciare et, depuis ce temps, elles auraient pris de plus en plus d'expansion. Elles ont probablement atteint leur plus grande extension vers la fin du XIX^e siècle, avant le réchauffement climatique du XX^e siècle. Ces résultats suggèrent donc un refroidissement du climat, au moins à partir de 2600 ans BP jusqu'à aujourd'hui; ils ne sont valables que pour la région étudiée, car d'autres régions de l'Hémi-arctique du Nouveau-Québec ont connu plus tôt l'apparition de certaines combes à neige (Payette *et al.* en prép.).

Le fait que les combes à neige se soient formées graduellement à la faveur de feux semble indiquer que le refroidissement climatique, bien que persistant, n'était pas de grande amplitude; les forêts se sont main-

tenues dans ces milieux aussi longtemps que les feux ne sont intervenus. Au cours de ces diverses périodes de refroidissement, il est vraisemblable que les feux de forêt aient favorisé de nouvelles conditions d'enneigement, où la neige poudrée prenait de plus en plus d'importance, grâce à la présence de milieux ouverts occupant une plus grande surface. Les feux de forêt auraient alors agi comme catalyseur dans ce processus de création et d'expansion des combes à neige, sous des conditions climatiques inhibant la régénération forestière. La relation existant entre l'incidence des feux de forêt et le climat ne peut être établie pour le moment sur le plan statistique, à cause du petit nombre de dates ^{14}C . Cependant, nous estimons qu'une telle relation ne peut se faire sur la base d'une théorie climatique des feux, comme cela a été proposé par BRYSON *et al.* (1965) et NICHOLS (1974, 1975), du moins pour la région du Nouveau-Québec. Sous les conditions climatiques actuelles des zones de végétation du Québec septentrional, l'importance et la fréquence des feux sont reliées principalement à la biomasse forestière et à la vitesse de la rotation forestière. C'est dans la région de la grande forêt boréale que l'on note le plus de feux; leur importance diminue sensiblement dans la toundra forestière, en raison de la disjonction spatiale des peuplements et de la lente accumulation des combustibles; en toundra, ils sont encore moins fréquents et occupent de petites surfaces (WEIN, 1976).

Les paléofeux de la rivière aux Feuilles, à l'origine des combes à neige, ont probablement eu lieu au cours de printemps secs et ensoleillés, comme en forêt boréale plus au sud. Les conditions propices à l'apparition des feux n'ont probablement pas de relations avec celles qui empêchent la régénération forestière. Ces remarques font actuellement l'objet d'une recherche sur l'élaboration d'une théorie biologique des feux et les paléoclimats où l'on tentera de démontrer que l'avènement d'une période froide ne favorise pas nécessairement une augmentation de l'inflammabilité des forêts.

L'analyse des profils de sol de deux combes à neige (tabl. II) permet de mettre en évidence l'influence du facteur temps sur la pédogenèse. En comparant les caractéristiques pédogénétiques des deux profils de sol forestier développés sur le même type de matériel originel, on remarque que la combe à neige formée il y a 2200 ans BP. a empêché le développement ultérieur d'un brunisol dystrique dégradé; par contre, l'apparition plus tardive de l'autre combe à neige située vers 1600-1400 ans BP s'est réalisée dans un milieu représenté par un podzol humo-ferrique. Bien qu'un plus grand nombre de données s'avère nécessaire pour établir l'intensité de la pédogenèse postglaciaire de cette région, il semble qu'au début du Néoglaciale les podzols étaient sinon absents du moins peu répandus dans ces milieux. La formation d'un podzol humi-ferrique près de

la limite des forêts aurait exigé une période d'environ 3500 ans, en tenant compte du fait que la déglaciation s'est faite aux alentours de 5000-6000 ans BP.

Les résultats du présent travail sur l'origine et l'expansion des combes à neige de la région de la rivière aux Feuilles reliées à des refroidissements du climat s'ajoutent aux observations de nombreux auteurs sur les tendances climatiques de 2500 ans BP jusqu'à nos jours. Cette période couvre l'ensemble du Néoglaciale défini par PORTER et DENTON (1967) sur la base de l'expansion des glaciers holocènes après l'Hypsithermal. ANDREWS *et al.* (1972) ont observé sur l'île de Baffin des expansions et des régressions des glaciers, des champs de névé et des combes à neige pendant cette période; ces changements sont attribués principalement à des variations de la précipitation neigeuse plutôt qu'à celles de la température; ils ont de plus noté que les combes à neige ont décliné entre 1949 et 1960 et ont repris de l'expansion au cours de la décennie suivante. Par ailleurs, WORSLEY et HARRIS (1974) ont rapporté l'apparition d'une combe à neige et le début de la géelifluction pendant le néoglaciale en Norvège septentrionale.

Dans une étude récente sur la chronologie des moraines néoglaciales de la calotte de Barnes (île de Baffin), ANDREWS et BARNETT (1979) indiquent que les moraines se sont formées au cours des intervalles suivants: < 100 ans, 400-500 ans BP, ca. 750 ans BP, ca. 1000 ans BP, ca. 1600 ans BP, ca. 2100 ans BP et ca. 2800 à 3100 ans BP. Ces événements sont corrélés avec le développement des moraines de glacier de cirque de la péninsule de Cumberland (île de Baffin) étudié par MILLER (1973) et coïncident dans l'ensemble avec l'apparition des combes à neige de la rivière aux Feuilles depuis 3000 ans. D'autres travaux sont nécessaires pour connaître plus précisément le développement des combes à neige au cours de l'Holocène et établir de façon complète la chronologie en fonction des conditions climatiques. Enfin, il est remarquable de noter la régularité d'apparition des périodes froides du Néoglaciale de la rivière aux Feuilles, survenant à des intervalles d'environ 400 à 500 ans, du même ordre que les intervalles de 300 à 600 ans signalés par ANDREWS et BARNETT (1979).

Les interprétations de BRYSON *et al.* (1965), de SORENSON *et al.* (1971) et de NICHOLS (1974, 1975), basées sur l'analyse des sols et l'analyse pollinique, suggèrent des déplacements latitudinaux d'importance de la limite des forêts des Territoires du Nord-Ouest au cours de cette période (2500 ans BP-présent). Bien que l'on note un certain synchronisme dans les périodes de refroidissement entre cette région et la rivière aux Feuilles, on ne peut évaluer leur influence sur la position de la limite des forêts dans la région étudiée, du moins en considérant les résultats du présent travail.

On peut cependant affirmer que le couvert forestier a sensiblement diminué depuis le début du Néoglaciale.

Si l'avènement du Petit Âge glaciaire a été marqué par l'apparition de nouvelles combes à neige dans la région de la rivière aux Feuilles et ailleurs dans les Territoires du Nord-Ouest (NICHOLS, 1969 : combe à neige de tundra daté à 300 ans BP), le réchauffement climatique du XX^e siècle a causé une régression des combes et favorisé l'expansion du bouleau glanduleux (BOUCHARD, 1979) et du mélèze. L'expansion générale des populations de mélèze enregistrée entre 1940 et 1970 a probablement été amorcée par une fonte plus hâtive de la neige et une plus longue saison de croissance. BRINK (1959), FRANKLIN *et al.* (1971), DUNWIDDIE (1977), GORCHAKOVSKY et SHIYATOV (1978) et KULLMANN (1979) ont aussi signalé des expansions de populations d'espèces arborescentes près de la limite des forêts dans les Rocheuses, en URSS et en Europe du Nord pendant le XX^e siècle. DUNWIDDIE (1977) a observé une invasion d'importance entre 1940 et 1963 qu'il attribue non seulement au climat mais aussi aux conditions de paissance. L'expansion des populations arborescentes semble s'être réalisée plus tôt dans les sites étudiés par BRINK (1959), FRANKLIN *et al.* (1971) et KULLMANN (1979), généralement entre 1925 et 1950. Malgré ce décalage de quelques années, le dynamisme de ces diverses populations semble répondre au réchauffement climatique d'échelle hémisphérique décrit par MITCHELL (1961) et BRINKMANN (1976).

Depuis la deuxième moitié de la décennie 1960 et surtout à partir de 1970, un renversement de la tendance s'est manifesté chez les populations de mélèze dans les combes à neige de la rivière aux Feuilles. Le refroidissement climatique a affecté au moins 17% de la population échantillonnée (fig. 4). La mortalité des jeunes mélèzes semble reliée à des causes externes à la population totale. En comparant les courbes de croissance des mélèzes vivants et morts, on a constaté que la longueur de la saison de végétation ne constituait pas le facteur déterminant de la mortalité. Ce sont plutôt les processus périglaciaires, comme la géliturbation et la gélifluction, endommageant le système racinaire des mélèzes, qui sont la cause directe de la mortalité. Dans l'hypothèse où une partie des survivants devait se maintenir dans les combes à neige, des difficultés de croissance se manifesteront sous les conditions écologiques actuelles. L'activité périglaciaire et la longueur de la saison de croissance pourraient affecter les mélèzes, et des bris causés aux branches et aux troncs résulteraient de l'enneigement excessif.

Finalement, le refroidissement climatique observé au moins depuis 1970 semble influencer les terrains pergélisolés situés au contact des versants exposés entre le sud-est et le sud-ouest. L'apparition de grandes coulées de gélifluction dévastant la végétation arbus-

tive et arborescente des bas versants (fig. 8 et 9) peut être à l'origine de la formation d'autres combes à neige, surtout sur les pentes très enneigées. Bien que l'on ne connaisse pas encore les facteurs engendrant ces coulées, leur présence paraît étroitement reliée au comportement du pergélisol en milieu minéral. L'apparition ou l'expansion rapide de certaines coulées pourrait marquer le passage d'un régime climatique relativement doux à un régime climatique instable et froid, comme c'est le cas depuis plusieurs années. La formation de certaines combes à neige pendant la Néoglaciale a pu se réaliser de cette manière.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été subventionné par le programme FCAC du ministère de l'Éducation du Québec et le Conseil de recherche en sciences naturelles et génie (CRSNG). Le Centre d'études nordiques a contribué au support logistique. Nous remercions bien sincèrement M. Claude Hillaire-Marcel d'avoir critiqué le manuscrit et apporté des suggestions utiles, M. Pierre Lasalle du ministère des Ressources naturelles et de l'Énergie du Québec a permis la datation radio-carbone de deux échantillons.

RÉFÉRENCES

- ANDREWS, J. T. et D. M. BARNETT (1979) : Holocene (Neoglaciale) moraine and proglacial lake chronology, Barnes Ice Cap, Canada, *Boreas*, 8 : 341-358.
- ANDREWS, J. T., R. G. BARRY, R. S. BRADLEY, G. H. MILLER et L. O. WILLIAMS (1972) : Past and present glaciological responses to climate in Eastern Baffin Island, *Quat. Res.*, 2 : 303-314.
- BENEDICT, J. B. (1966) : Radiocarbon dates from a stone-banked terrace in the Colorado Rocky Mountains, U.S.A., *Geogr. Ann.*, 48A : 24-31.
- (1970) : Downslope soil movement in a Colorado alpine region : rates, processes, and climatic significance, *Arct. Alp. Res.*, 2 : 165-226.
- (1976) : Frost creep and gelifluction : a review, *Quat. Res.*, 6 : 55-76.
- BILLINGS, W. D. (1969) : Vegetational pattern near alpine timberline as affected by fire-snowdrift interactions, *Vegetatio*, 19 : 192-207.
- BILLINGS, W. D. et L.C. BLISS (1959) : An alpine snowbank environment and its effect on vegetation, plant development, and productivity, *Ecology*, 40 : 388-397.
- BLISS, L. C. (1969) : Alpine community pattern in relation to environmental parameters, in K.N.H. Greenridge (édit.), *Essays in plant geography and ecology*, Nova Scotia Museum, Halifax, Nova Scotia. p. 167-184.
- BOUCHARD, A. (1979) : *Structure d'âge des populations de Betula glandulosa Michx dans une combe à neige à la limite des forêts (rivière aux Feuilles, Nouveau-Québec)*, Mémoire de B.Sc., Univ. Laval, Québec, 29 p.

- BRINK, V. C. (1959) : A directional change in the subalpine heath ecotone in Garibaldi Park, British Columbia, *Ecology*, 40 : 10-16.
- BRINKMANN, W.A.R. (1976) : Surface temperature trends for the Northern Hemisphere : Updated, *Quat. Res.*, 6 : 355-358.
- BROOKE, R. C. (1965) : The subalpine mountain hemlock zone, Part 1, Ecotypes and biogeocoenotic units, in V.C. Krajia (édit.), *Ecology of Western North America*, Vol. 1, U.B.C. Dept. Botany, Vancouver, B.C., p. 79-101.
- BRYSON, R. A., IRVING, W. N. et J. A. LARSEN (1965) : Radiocarbon and soils evidence of former forest in the Southern Canadian Tundra, *Science*, 147 : 46-48.
- COMMISSION CANADIENNE DE PÉDOLOGIE (1978) : *Le système canadien de classification des sols*, Direction de la recherche, ministère de l'Agriculture du Canada, Publ. 1646, p. 1-170.
- DUNWIDDIE, P. W. (1977) : Recent tree invasion of subalpine meadows in the Wind River Mountains, Wyoming, *Arct. Alp. Res.*, 9 : 393-399.
- FILION, L. (1976) : *Processus d'enneigement et de déneigement et milieux écologiques subarctiques : Poste-de-la-Baleine, Nouveau-Québec*, thèse M. Sc., Univ. Laval, Québec, 133 p.
- FONDA, R. W. et L. C. BLISS (1969) : Forest vegetation of the montane and subalpine zones, Olympic Mountains, Washington, *Écol. Monogr.*, 39 : 271-301.
- FRANKLIN, J. F., W. H. MOIR, G. W. DOUGLAS et C. WIBERG (1971) : Invasion of subalpine meadows by trees in the Cascade Range, Washington and Oregon, *Arct. Alp. Res.*, 3 : 215-224.
- FRITTS, H. C. (1976) : *Tree Rings and Climate*, New York Academic Press, 567 p.
- GILBERT, H. (1979) : *Écologie des populations d'aulne vert (Alnus crispa (Ait.) Pursh) à la limite des forêts, rivière aux Feuilles, Nouveau-Québec*, thèse M. Sc., Univ. Laval, Québec, 72 p.
- GJAEREVOLL, O. (1956) : The plant communities of the Scandinavian Alpine Snow Beds, *Kgl. Norske Vidensk. Selsk. Farhdl.*, 23 : 1-405.
- GORCHAKOVSKY, P. L. et S. G. SHIYATOV (1978) : The upper forest limit in the mountains of the boreal zone of the USSR, *Arct. Alp. Res.*, 10 : 349-363.
- HUSTICH, I. (1966) : On the forest-tundra and the northern tree-lines, *Ann. Univ. Turku*, A. 11, 36 (Rep. Kevo Subarctic Sta. 3 : 7-47).
- JAHN, A. (1975) : *Problems of the periglacial zone (Zagadnienia Strefy Periglacialnej)*, Traduit du polonais, Warszawa Polish Scientific Publishers, 223 p.
- KULLMANN, L. (1979) : Change and stability in the altitude of the birch tree-limit in the southern Swedish Scandes 1915-1975, *Acta Phytogeogr.*, Suecica 65 (Uppsala), 121 p.
- KURAMOTO, R. T. et L. C. BLISS (1970) : Ecology of subalpine meadows in the Olympic Mountains, Washington, *Ecol. Monogr.*, 40 : 317-347.
- MILLER, S. H. (1973) : Late Quaternary Glacial and Climatic History of Northern Cumberland Peninsula, Baffin Island, N.W.T., Canada, *Quat. Res.*, 3 : 561-583.
- MITCHELL, J. M. jr. (1961) : Recent secular changes of global temperature, *Annals of the New York Acad. of Sci.*, 95 : 235-250.
- NICHOLS, H. (1969) : Chronology of Peat Growth in Canada, *Palaeogeog., Palaeoclimat., Palaeoecol.*, 6 : 61-65.
- (1974) : Arctic North America palaeo-ecology : the recent history of vegetation and climate deduced from pollen analysis, in Ives, J. D. and R. Barry, édit., *Arctic and Alpine Environments*, Londres, Methuen : 537-567.
- (1975) : Palynology and paleoclimatic study of the Late Quaternary displacement of the boreal forest-tundra ecotone in Keewatin and Mackenzie, N.W.T., Canada, *Occ. Pap.*, n° 15. INSTAAR, Univ. of Colorado. 87 p.
- PATTEN, D. T. (1963) : Vegetational pattern in relation to environments in the Madison Range, Montana, *Ecol. Monogr.*, 33 : 375-406.
- PAYETTE, S. (1976) : Les limites écologiques de la zone hémiarctique entre la mer d'Hudson et la baie d'Ungava, Nouveau-Québec, *Cah. Géogr. Qué.*, 20 : 347-364.
- PAYETTE, S., L. FILION et J. OUZILLEAU (1973) : Relations neige-végétation dans la toundra forestière du Nouveau-Québec, *Nat. can.*, 100 : 493-508.
- PAYETTE, S. et R. GAGNON (1979) : Tree-line dynamics in Ungava peninsula, northern Quebec, *Holarc. Ecology*, 2 : 239-248.
- PAYETTE, S. et E. LEPAGE (1977) : La flore vasculaire du golfe de Richmond, baie d'Hudson, Nouveau-Québec. *Provancheria*, n° 7 (Univ. Laval), 68 p.
- PAYETTE, S. et M. K. SÉGUIN (1979) : Les buttes minérales cryogènes dans les basses terres de la rivière aux Feuilles, Nouveau-Québec, *Géogr. phys. Quat.*, 33 : 339-358.
- POLUNIN, N. (1948) : Botany of the Canadian Eastern Arctic, Part 3, *Vegetation and Ecology*, National Museum of Canada, Bull. n° 104, 304 p.
- PORTER, S. C. et G. H. DENTON (1967) : Chronology of Neoglaciation in the North American Cordillera. *Am. J. Sci.*, 265 : 177-210.
- RØNNING, O. I. (1969) : Features of the ecology of some arctic Svalbard (Spitsbergen) plant communities, *Arct. Alp. Res.*, 1 : 29-44.
- SORENSEN, C. J., J. C. KNOX, J. A. LARSEN et R. A. BRYSON (1971) : Paleosols and the forest border in Keewatin, N.W.T., *Quat. Res.*, 1 : 468-473.
- WASHBURN, A. L. (1967) : *Instrumental observations of mass-wasting in the Mesters Vig District, Northeast Greenland*, Medd. Om Grønland Bd 166, Nr. 4, 296 p.
- (1973) : *Periglacial processes and Environments*, Londres, Edward Arnold, 320 p.
- WEIN, R. W. (1976) : Frequency and characteristics of Arctic tundra fires, *Arctic*, 29 : 201-222.
- WORSLEY, P. et C. HARRIS (1974) : Evidence for neoglacial solifluction at Okstindan, North Norway, *Arctic*, 27 : 128-144.