

Chronologie ^{14}C et développement des combes à neige du lac à l'Eau Claire, Québec nordique

^{14}C Chronology and Snow-Patch Development in the Lac à l'Eau Claire Area, Northern Québec

^{14}C -Chronologie und Entwicklung der Schneeschluchten des Lac à l'Eau Claire, nordisches Québec

Carolle Mathieu, Serge Payette and Hubert Morin

Volume 41, Number 1, 1987

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/032668ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/032668ar>

[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

Mathieu, C., Payette, S. & Morin, H. (1987). Chronologie ^{14}C et développement des combes à neige du lac à l'Eau Claire, Québec nordique. *Géographie physique et Quaternaire*, 41(1), 97–108. <https://doi.org/10.7202/032668ar>

Article abstract

Two different types of snow patches were found in the Lac à l'Eau Claire area: 1) post-fire snow patches developed on mineral soil on large islands; 2) snow patches developed on peat in small islands where ombrotrophic peatlands expanded because of the humid lake mesoclimate. Timing in the development of snow patches, using ^{14}C dating of charcoal in mineral soil and wood remains in peat sections, differed between these two habitats. Snow patches on mineral soil developed during the last two millenia, particularly after 800 BP, after site deforestation because of a lack in conifer post-fire regeneration. These snow patches were formed more recently than those already reported in northern Québec. During the XXth century, they were colonized by black spruce, mostly during the 1950's and 1960s. Snow patches on peat developed continuously since 3000 BP, and particularly during the last thousand ^{14}C -years. Although their formation was closely associated with Neoglacial cooling, the gradual development of a topographic depression, induced by accelerated growth of the eastern part of peatlands, was instrumental in favoring deep-snow accumulation and late-snow melting inimical to spruce establishment.

CHRONOLOGIE ¹⁴C ET DÉVELOPPEMENT DES COMBES À NEIGE DU LAC À L'EAU CLAIRE, QUÉBEC NORDIQUE

Carolle MATHIEU, Serge PAYETTE et Hubert MORIN*, Département de phytologie et Centre d'études nordiques, Université Laval, Sainte-Foy, Québec G1K 7P4.

RÉSUMÉ Deux types de combes à neige ont été répertoriés au lac à l'Eau Claire: 1) des combes à neige sur substrat minéral formées après le passage de feux dans les grandes îles; 2) des combes à neige sur substrat tourbeux, localisées dans les petites îles envahies par des tourbières ombrotrophes dont l'existence est redevable au mésoclimat créé par la grande masse d'eau du lac. La chronologie du développement des combes à neige construite à l'aide des datations ¹⁴C de charbons de bois, ainsi que de morceaux de bois conservés dans la tourbe, diffère fortement entre les substrats minéraux et tourbeux. Les combes à neige sur substrat minéral sont apparues après des feux survenus au cours des deux derniers millénaires, et tout particulièrement après 800 BP. Elles se sont formées plus récemment que celles des autres régions étudiées dans le Nord québécois. Au cours du XX^e siècle, elles ont été colonisées par l'épinette noire, surtout au cours des décennies 1950 et 1960. Les combes à neige sur substrat tourbeux se sont développées de façon continue depuis 3000 BP, mais surtout au cours du dernier millénaire. À l'instar des combes à neige précédentes, leur formation est étroitement liée au refroidissement néoglaciale, mais aussi au développement graduel d'un dénivelé topographique, créé par une croissance accélérée de la partie est des tourbières, qui a favorisé une grande accumulation de neige et un déneigement tardif empêchant l'établissement des épinettes noires.

ABSTRACT ¹⁴C chronology and snow-patch development in the Lac à l'Eau Claire area, northern Québec. Two different types of snow patches were found in the Lac à l'Eau Claire area: 1) post-fire snow patches developed on mineral soil on large islands; 2) snow patches developed on peat in small islands where ombrotrophic peatlands expanded because of the humid lake mesoclimate. Timing in the development of snow patches, using ¹⁴C dating of charcoal in mineral soil and wood remains in peat sections, differed between these two habitats. Snow patches on mineral soil developed during the last two millennia, particularly after 800 BP, after site deforestation because of a lack in conifer post-fire regeneration. These snow patches were formed more recently than those already reported in northern Québec. During the XXth century, they were colonized by black spruce, mostly during the 1950's and 1960's. Snow patches on peat developed continuously since 3000 BP, and particularly during the last thousand ¹⁴C-years. Although their formation was closely associated with Neoglacial cooling, the gradual development of a topographic depression, induced by accelerated growth of the eastern part of peatlands, was instrumental in favoring deep-snow accumulation and late-snow melting inimical to spruce establishment.

ZUSAMMENFASSUNG ¹⁴C-Chronologie und Entwicklung der Schneeschluchten des Lac à l'Eau Claire, nördisches Québec. Zwei Typen von Schneeschluchten wurden am Lac à l'Eau Claire wahrgenommen: 1) Schneeschluchten auf mineralischem Substrat, welche sich nach den Bränden auf den großen Inseln gebildet haben; 2) Schneeschluchten auf Torf-Substrat, welche sich auf den kleinen Inseln befinden, auf denen sich ombrotrophe Torfmoore ausgedehnt haben, die dem durch die große Wassermasse des Sees geschaffenen Mesoklima ihre Existenz verdanken. Die Chronologie der Entwicklung der Schneeschluchten, die mit Hilfe der ¹⁴C-Datierungen von Holzkohlen sowie mit im Torf konservierten Holzstücken erstellt wurde, ist sehr unterschiedlich zwischen den mineralischen Substraten und den Torfsubstraten. Die Schneeschluchten auf mineralischem Substrat haben sich nach Bränden, die im Laufe der zwei letzten Jahrtausende stattgefunden haben, gebildet, insbesondere nach 800 v.u.Z. Sie haben sich in jüngerer Zeit gebildet als die Schneeschluchten der anderen, im Norden Québecs untersuchten Gebiete. Im Laufe des 20. Jahrhunderts sind sie von *Picea mariana* besiedelt worden, vor allem im Lauf der fünfziger und sechziger Jahre. Die Schneeschluchten auf Torfsubstrat haben sich konstant seit 3000 BP entwickelt, aber vor allem im Laufe des letzten Jahrhunderts. So wie die vorherigen Schneeschluchten hängt ihre Bildung eng mit der glazialen Abkühlung zusammen, außerdem aber auch mit der allmählichen Entwicklung einer topographischen Senkung, welche durch ein beschleunigtes Anwachsen des Ostteils der Torfmoore geschaffen wurde und eine große Schneehäufung und späte Schneeschmelze begünstigte und so die Ansiedlung von *Picea mariana* verhinderte.

* Adresse actuelle: Département des sciences fondamentales, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, Québec G7H 2B1.

INTRODUCTION

Les combes à neige des régions subarctiques occupent des dépressions topographiques situées au pied de versants où la neige soufflée par le vent s'accumule sur plusieurs mètres d'épaisseur et disparaît tardivement au cours de la saison de croissance. Elles forment ainsi un habitat particulier où croît une végétation basse contrôlée par un régime de fort enneigement et de déneigement tardif qui exclut la présence d'arbres (PAYETTE et LAJEUNESSE, 1980). En raison d'une abondante source d'eau lors de la fonte, la partie supérieure des sols des combes à neige peut être soumise à la gélifluxion. La dépression topographique conserve, cependant, son faciès originel et est peu ou pas affectée par une éventuelle action érosive associée à l'excès de neige. L'originalité de la plupart des combes à neige subarctiques tient au fait qu'elles se sont développées aux dépens de sites conifériens forestiers ou arbustifs, où la neige exerce une influence climatique qui empêche la croissance des conifères. La datation au radiocarbone des restes de conifères enfouis sous la végétation actuelle offre ainsi la possibilité de déterminer l'âge maximal des combes à neige. L'ensemble de ces caractéristiques des combes à neige subarctiques permettent de les distinguer des niches de nivation, que l'on trouve généralement dans des sites alpins et arctiques plus froids, et où la neige (et névé) exerce sur les formes et les dépôts de surface une action érosive majeure (WASHBURN, 1979).

La plupart des combes à neige du Nord québécois ont été formées au cours de l'Holocène supérieur (*i.e.* les trois derniers millénaires), à la suite du refroidissement post-hypsithermal qui a affecté l'ensemble de l'hémisphère nord (LAMB, 1977). Plusieurs travaux ont fait état de ce changement

majeur des habitats associé à l'excès de neige (PAYETTE et LAJEUNESSE, 1980; FILION et PAYETTE, 1982; PAYETTE et BOUDREAU, 1984; MORIN, 1985; PAYETTE *et al.*, 1985), dont les conséquences géomorphologiques et écologiques sont étroitement liées à la gélifluxion et à l'établissement d'une végétation non coniférienne renfermant le plus souvent des éléments chionophiles. Les modalités de ce changement varient selon les régions en fonction du régime climatique d'origine maritime ou continentale. Le long de la côte de la baie d'Hudson, la formation des combes à neige résulte de l'influence directe du couvert nival sur la durée de la saison de croissance (MORIN, 1985; PAYETTE *et al.*, 1985), alors qu'à l'intérieur des terres elle fait généralement suite à la disparition d'un couvert coniférien causée par les feux (PAYETTE et LAJEUNESSE, 1980).

La présente étude vise à compléter la chronologie ^{14}C de la formation des combes à neige du Nord québécois en considérant plus particulièrement la région du lac à l'Eau Claire (fig. 1), dont le régime climatique rassemble certaines caractéristiques propres aux milieux maritimes et continentaux. En effet, le lac à l'Eau Claire, le deuxième plus grand lac naturel du Québec (superficie de 1280 km²), crée par sa grande masse d'eau un mésoclimat humide l'été et continental l'hiver. Une telle situation a des conséquences sur le régime des feux des îles centrales du lac par rapport à la terre ferme sise en périphérie (MILLET et PAYETTE, 1987) et le développement d'habitats tourbeux où se forme un type de combe à neige unique. Nous examinons donc dans ce travail le développement de deux types de combe à neige associés aux substrats minéraux et tourbeux. Les objectifs spécifiques de la recherche sont 1) d'établir et de comparer la chronologie ^{14}C des deux types de combe à neige de la région et 2) de

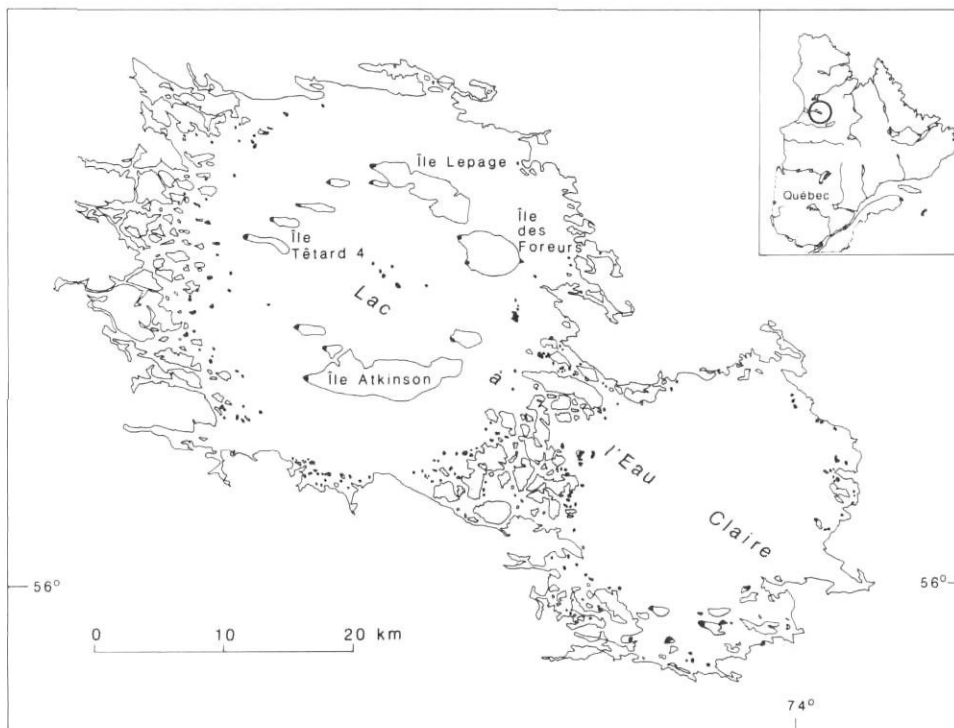


FIGURE 1. Localisation de la région étudiée. Les îles et les parties d'îles tourbeuses sont en noir.

Location of the study area. Peat on islands in black.

déterminer les causes de leur formation dans le contexte holocène du Nord québécois et de l'influence climatique du lac à l'Eau Claire.

LA RÉGION ÉTUDIÉE

Le lac à l'Eau Claire se situe à une centaine de kilomètres à l'est de la baie d'Hudson (fig. 1). La géologie de la région a été principalement étudiée par BOSTOCK (1969) et PLANTE (1986). La forme circulaire des deux bassins du lac serait le résultat d'un impact météoritique survenu au cours du Paléozoïque; le relèvement subséquent de la croûte terrestre dans le bassin ouest serait à l'origine de la formation de l'archipel central (PLANTE, 1986).

On ne possède pas de données sur l'époque de déglaciation de la région; elle se serait produite plusieurs siècles avant 5050 BP, soit la datation au radiocarbone la plus vieille de la région obtenue sur une tourbe basale (PAYETTE, 1984). Les différences d'altitude des lignes de rivage entre les îles des deux bassins confirmeraient, aux dires d'ALLARD et SEGUIN (1985), l'existence d'un lac proglaciaire qui aurait subsisté jusque vers 5050 BP. Par ailleurs, on observe dans l'île des Foreurs des moraines de névé dont la grande taille et l'absence de sols enfouis indiqueraient la persistance de petites calottes de glace après le retrait de l'inlandsis.

Les versants des îles sont affectés par des talus d'éboulis (ST-CYR, 1985) et des glissements de terrain (BÉGIN et FILION, 1985). De nombreuses formes périglaciaires ont été également étudiées, dont les dunes (FILION, 1983), les phénomènes glaciels (BÉGIN, 1986; Dionne, en préparation) et les coins de glace (PAYETTE *et al.*, 1986).

La végétation terrestre du lac à l'Eau Claire fait partie de la sous-zone arbustive de la toundra forestière, formant ainsi

une enclave froide au sein de la sous-zone forestière qui caractérise la région périphérique (PAYETTE, 1983). La flore vasculaire de la région (DESHAYE et MORISSET, 1985) est à prédominance boréale (73,6 %), mais renferme 25 % de taxons arctiques-alpins distribués principalement dans les habitats ouverts des îles centrales du lac. La superficie respective des composantes de la mosaïque aires lichéniques-végétation coniférienne est particulièrement variable sur les îles centrales du lac, certaines îles présentant une physionomie nettement arctique par l'étendue du couvert lichénique, tandis que d'autres sont plutôt forestières (MILLET et PAYETTE, 1987). L'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) BSP.) constitue l'espèce dominante et le mélèze (*Larix laricina* (Du Roi) K. Koch), l'espèce compagne. Le lac à l'Eau Claire renferme plusieurs dizaines de petites îles tourbeuses localisées en grande partie sur son pourtour. Elles forment un type unique de tourbières ombrotrophes étroitement associé à l'influence climatique du lac (fig. 1); ces tourbières se seraient édifiées surtout entre 5000 et 3800 BP (PAYETTE, 1984).

La présente étude tient compte des combes à neige situées dans les îles du bassin ouest du lac à l'Eau Claire, lesquelles sont généralement d'exposition nord, nord-est et est. Deux types de combes à neige ont été répertoriées: 1) les combes sur substrat minéral localisées dans les grandes îles (fig. 2); 2) les combes sur substrat tourbeux situées dans les petites îles (fig. 3).

MÉTHODES

L'inventaire des combes à neige a été effectué, dans un premier temps, par photo-interprétation. Les combes des îles centrales du bassin ouest ont toutes été visitées et échantillonnées systématiquement, sauf celles de l'île Atkinson où seules les combes les plus développées de la partie septen-

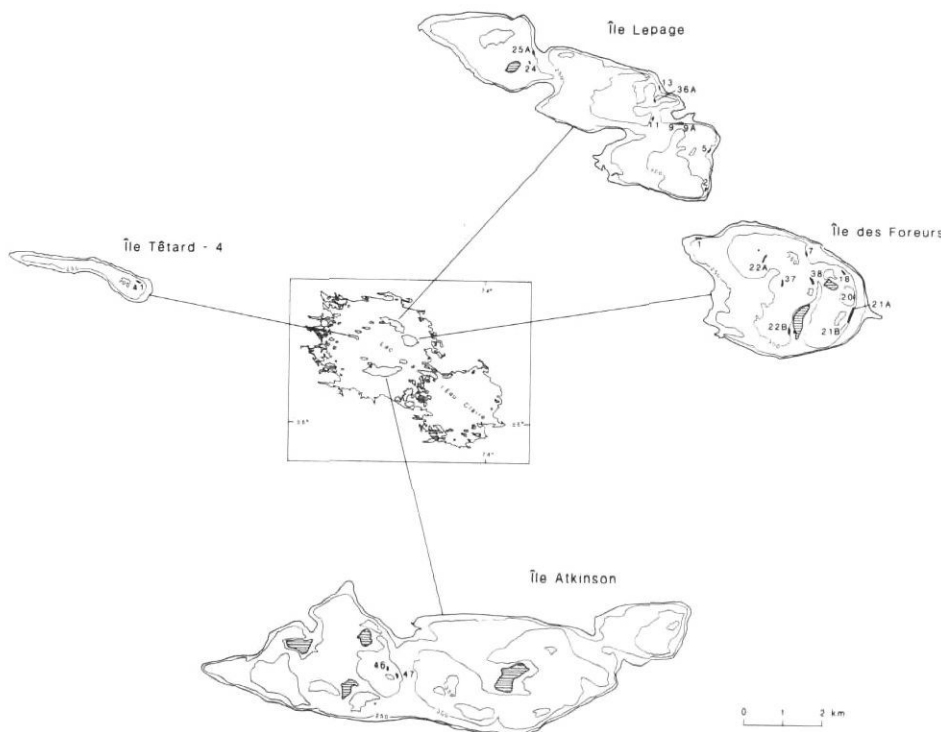


FIGURE 2. Localisation des combes à neige échantillonnées sur substrat minéral (courbes de niveau en mètres).

Location of sampled snow patches on mineral soil (elevation curves in meters).

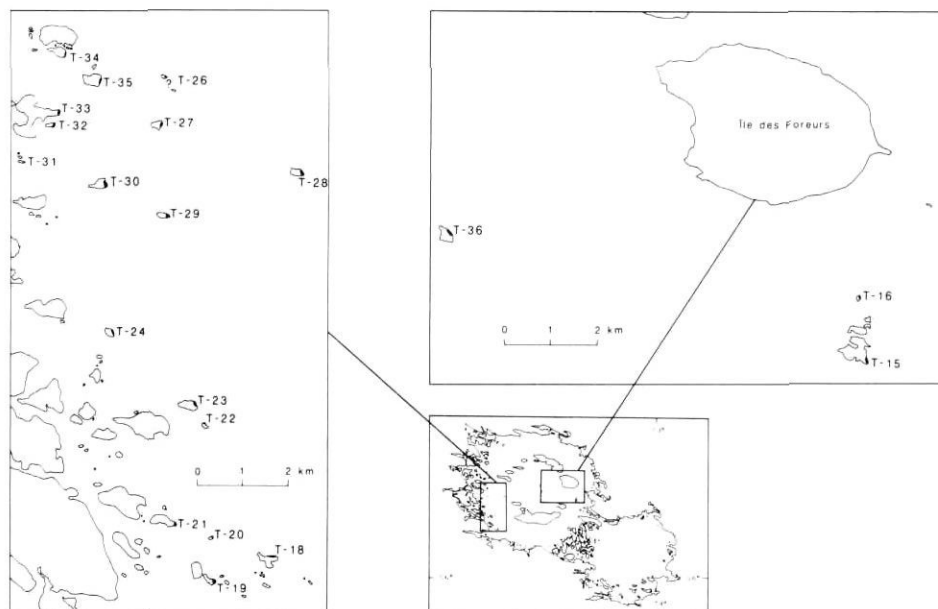


FIGURE 3. Localisation des combes à neige échantillonnées sur substrat tourbeux. ? : emplacement incertain de T-26.

Location of sampled snow patches on peat. ? : uncertain location of T-26.

trionale ont été retenues (fig. 2). Les combes sur tourbe, situées dans de petites îles, ont été échantillonnées selon un axe ouest-est traversant le centre du bassin (fig. 3) afin d'y déceler l'influence éventuelle du gradient climatique lié à la masse d'eau du lac à l'Eau Claire.

La végétation des combes à neige sur substrat minéral a été décrite selon la méthode des relevés de Braun-Blanquet (MUELLER-DOMBOIS et ELLENBERG, 1974). Les relevés ont été effectués au sein de placettes de 1 m² et positionnés en fonction des bandes de végétation subparallèles ou concentriques reliées au gradient de déneigement. La végétation caractéristique de quelques combes à neige sur substrat minéral est présentée au tableau I. L'échantillonnage exhaustif des plantules et des gaulis, provenant de cinq combes à neige sur substrat minéral, a permis de déterminer la structure d'âge des conifères en précisant l'âge des épinettes au collet (PAYETTE et LAJEUNESSE, 1980).

Les combes à neige de la toundra forestière se forment généralement quelque temps après la disparition du couvert coniférien. L'absence de régénération des conifères après le passage du feu est un indice de changement majeur dans le couvert végétal évoluant vers une végétation basse. La gélifluxion associée à l'excès de neige dans la partie supérieure du sol se produit au cours d'une ou de plusieurs périodes après le passage du feu. C'est pourquoi la datation au radiocarbone des charbons de bois (aiguilles, fragments de cônes et autres restes de conifères) enfouis ou situés sous l'horizon organique de surface donne l'âge maximal de la formation des combes à neige sur substrat minéral (PAYETTE et LAJEUNESSE, 1980). Par ailleurs, la datation au radiocarbone des morceaux de bois décomposé formant la dernière strate où apparaît l'épinette noire le long de la colonne sédimentaire correspond aussi à l'âge maximal de la formation des combes à neige sur substrat tourbeux (fig. 4). Les sols de ces combes à neige ne renferment pas de charbons de bois. Leur formation est liée à un ensemble de facteurs écologiques différents. Les échantillons de bois soumis à la datation

au radiocarbone ont été prélevés au centre des combes à neige (tabl. II) et analysés dans cinq laboratoires différents. Les morceaux de bois ont été préalablement nettoyés et traités, afin d'éviter toute contamination par les racines et radicelles, les carbonates et les acides humiques. Un histogramme regroupant le poids statistique cumulatif des datations au radiocarbone a été dressé (fig. 5) pour chaque type de combes à neige, afin de pondérer la valeur statistique de chacune des datations (OCCHIETTI et HILLAIRE-MARCEL, 1977; GAGNON et PAYETTE, 1981). La moyenne des écarts types des datations est respectivement de 71 ans et de 83 ans pour les combes à neige sur substrats tourbeux et minéral. Pour fin de comparaison, un écart type de 80 ans a été retenu; la base des histogrammes correspond ainsi à quatre fois cette valeur moyenne, soit 320 ans. Un poids statistique a été attribué à chacune des classes d'âge de 40 ans selon la table de probabilité de FREUND (1967).

RÉSULTATS

VÉGÉTATION DES COMBES À NEIGE

La végétation de quelques combes à neige sur substrat minéral est présentée au tableau I. De façon générale, elle se présente en bandes subparallèles ou concentriques, en fonction de la topographie et du gradient de déneigement. Seules les combes les plus ouvertes, à couvert herbacé et muscinal prédominant, comprennent quelques taxons arctiques-alpins. Une seule combe à neige de la région renferme *Salix herbacea*, une autre *Phyllodoce caerulea*, et quelques-unes *Lycopodium alpinum*. La flore des combes à neige est fort peu diversifiée et possède un caractère franchement boréal. Les bordures des combes sont généralement occupées par le bouleau glanduleux (*Betula glandulosa*); celui-ci peut cependant se retrouver au centre de la combe à neige, mais il est alors rabougri (fig. 6). Vers le centre de la combe à neige, on observe des types de végétation plus ouverts où le bouleau glanduleux tend à disparaître au profit de *Vaccinium uliginosum* et d'*Empetrum nigrum*. Le centre

Combe	22 A						22 B	38						24							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	4	10	11	12	6	8	9	4	10	13	14	10
<i>Deschampsia atropurpurea</i>					1																
<i>Hylocomium splendens</i>						1		5	2	1				1	2	2	4	2	+		+
<i>Salix herbacea</i>							3														
<i>Calamagrostis canadensis</i>							1				3				1		+	2	2	2	4
<i>Cladonia crispata</i>							+														
<i>Polytrichum piliferum</i>							+														
<i>Poa arctica</i>							+														
<i>Peltigera aphthosa</i>							+										+				
<i>Lycopodium selago</i>							+														
<i>Cladonia bellidiflora</i>							+														
<i>Cladonia cf. gonecha</i>							+														
<i>Lycopodium complanatum</i>																	+				
<i>Luzula parviflora</i>								1													2
<i>Rubus chamaemorus</i>									+			1		2	2					2	1
<i>Equisetum sylvaticum</i>										+	1		1					1			2
<i>Eriophorum angustifolium</i>											4	1									
<i>Vaccinium oxycoccos</i>											+		+							+	
<i>Calliergon</i> sp.											2	5									
<i>Paludella squarrosa</i>											1	2									
Mousse											1										
<i>Kalmia polifolia</i>														1							
<i>Salix planifolia</i>														1							
<i>Phylodoce caerulea</i>								1													
<i>Cladonia</i> sp.																			+		
<i>Pedicularis labradorica</i>																			+		
<i>Peltigera</i> sp.																				1	

Bandes de végétation. 1) à *Cladonia* — *Betula*, 2) à *Betula* — *Éricacées* (périphérie supérieure), 3) à *Éricacées* — *Betula*, 4) à *Éricacées* — *Herbacées*, 5) à *Éricacées* — *Herbacées*, 6) à *Betula* — *Éricacées* (périphérie inférieure), 7) à *Salix herbacea*, 8) à *Betula* (périphérie), 9) à *Betula* (ouvert). 10) à *Herbacées* — Mousse, 11) à *Eriophorum angustifolium*, 12) à *Calliergon*, 13) à *Lycopodium alpinum*, 14) à *Sphagnum russowii*.
 → Haut vers le bas de la combe.

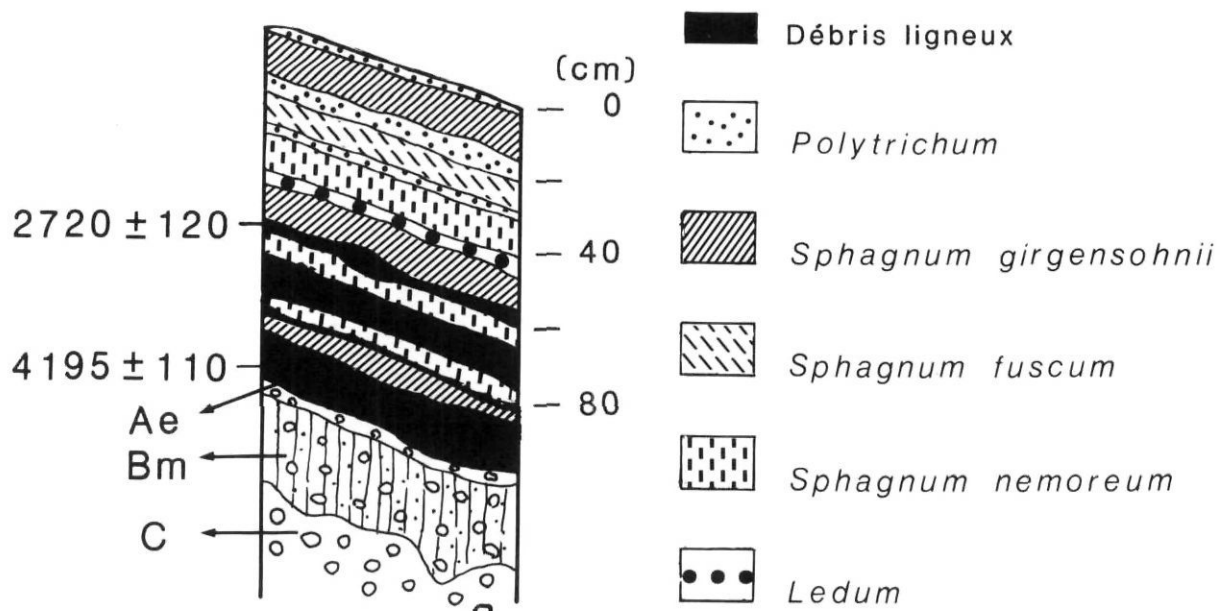


FIGURE 4. Coupe stratigraphique d'un sol de combe à neige sur substrat tourbeux (modifié d'après Payette, en préparation). La formation de la combe à neige s'est faite après la disparition des épinettes du site. L'âge maximal de la combe à neige correspond à la datation au radiocarbone (BP) des derniers débris ligneux.

Stratigraphic section in soil of snow patch developed on peat (modified after Payette, in preparation). The inception of this snow patch coincided with spruce withdrawal. Maximum age of snow patch corresponds to ¹⁴C date (BP) of wood remains.

TABLEAU II

Datation au radiocarbonate des échantillons de bois
prélevés dans les combes à neige du lac à l'Eau Claire

N° des sites	Altitude (m)	Matériel daté	N° de laboratoire	Âge ¹⁴ C (BP)
1	245	charbons	UQ-434	1140 ± 70
2	280	charbons	UQ-435	800 ± 90
5	260	charbons	I-12931	1940 ± 80
7	300	charbons	UQ-438	1800 ± 60
9	280	charbons	UQ-436	690 ± 60
9A	280	charbons	I-12890	1720 ± 80
11	290	charbons	UQ-444	370 ± 60
13	275	charbons	I-12899	1080 ± 80
18	315	charbons	I-12934	720 ± 80
20	325	charbons	Beta-8933	1280 ± 60
21A	300	charbons	Beta-8934	230 ± 50
21B	300	charbons	Beta-8935	540 ± 50
22A	315	charbons	QU-1171	680 ± 80
22B	310	charbons	QU-1172	650 ± 90
24	300	charbons	UQ-439	1410 ± 80
25A	260	charbons	UQ-442	710 ± 60
36A	310	charbons	I-12970	200 ± 75
37	310	charbons	QU-1173	450 ± 100
38	310	charbons	UQ-440	1120 ± 70
41	265	bois	UQ-475	460 ± 70
46-0	345	charbons	UQ-476	410 ± 60
46-1	345	charbons	UQ-477	1370 ± 70
47	330	charbons	UQ-441	780 ± 60
T-15	240	bois	UQ-696	2430 ± 130
T-16	240	bois	UQ-740	2000 ± 70
T-18	235	bois	UQ-741	760 ± 80
T-19	235	bois	UQ-782	1470 ± 70
T-20	235	bois	UQ-794	160 ± 70
T-21	235	bois	UQ-769	530 ± 70
T-22	235	bois	UQ-802	1910 ± 90
T-23	240	bois	UQ-804	860 ± 60
T-24	235	bois	UQ-823	920 ± 70
T-26	—	bois	UQ-821	2150 ± 160
T-27	240	bois	UQ-825	470 ± 50
T-28	240	bois	UQ-826	3930 ± 80
T-29	240	bois	UQ-840	1000 ± 70
T-30	240	bois	UQ-854	2830 ± 70
T-31	235	bois	UQ-856	1070 ± 80
T-32	235	bois	UQ-859	550 ± 55
T-33	240	bois	UQ-860	moderne
T-34	240	bois	UQ-866	820 ± 120
T-35	235	bois	UQ-868	300 ± 70
T-36	235	bois	QC-1332	2720 ± 120

des combes à neige, correspondant à la partie la plus enneigée et la plus tardivement déneigée, est le plus souvent colonisé par *Solidago macrophylla*, *Deschampsia flexuosa*, *Carex brunnescens*, *Coptis groenlandica*, *Calamagrostis canadensis* et *Stereocaulon paschale*. Des formations conifériennes, arborescentes et arbustives, bordent également les combes à neige de la région.

La végétation des combes à neige sur substrat tourbeux est dominée par *Sphagnum russowii*, *S. girgensohnii*, *Polytrichum strictum*, *Vaccinium uliginosum*, *Rubus chamaemorus* et *Dicranum* spp. Plusieurs espèces de mousses et de plantes vasculaires y présentent une distribution conta-

gieuse et forment généralement de grandes plaques circulaires ou elliptiques. Des krummholz d'épinette noire bordent généralement la partie supérieure des combes à neige (fig. 7).

RÉGÉNÉRATION DES CONIFÈRES DES COMBES À NEIGE

Les combes à neige de la toundra forestière sont des habitats non forestiers, et qui tendent à le demeurer malgré l'invasion épisodique des conifères. En effet, la régénération des conifères dans ces milieux est plutôt faible. La structure d'âge des plantules et des gaulis d'épinette noire provenant de cinq combes à neige sur substrat minéral (fig. 8) montre que la régénération de l'espèce a été continue depuis 1952,

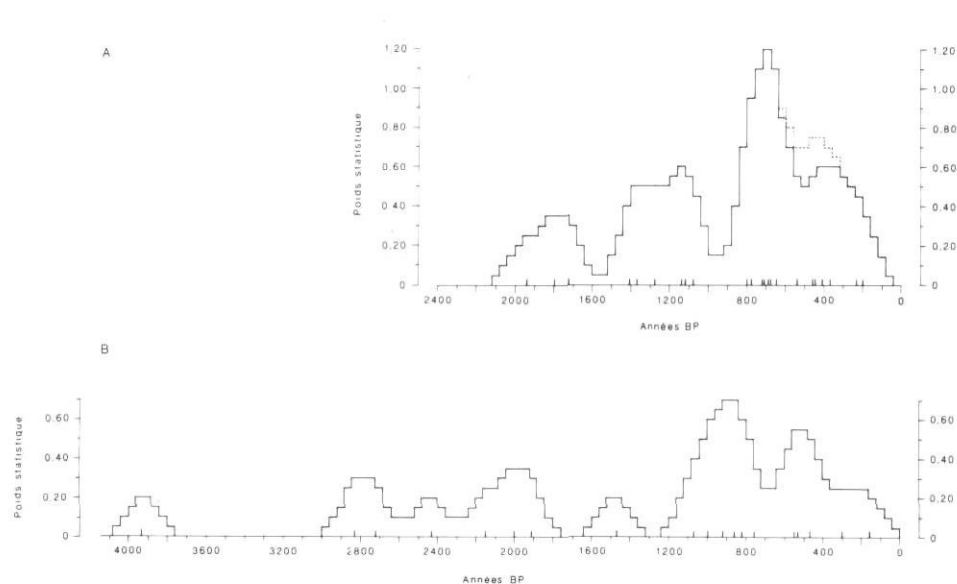


FIGURE 5. Fréquence des datations ^{14}C (A) des charbons de bois provenant des combes à neige sur substrat minéral et (B) des débris ligneux enfouis dans les sédiments organiques des combes à neige sur substrat tourbeux. Le pointillé correspond à la datation au radiocarbonate d'un morceau de bois non carbonisé enfoui. Les traits verticaux à la base de l'histogramme donnent la distribution du nombre de datations au radiocarbonate.

Frequency of ^{14}C dates from (A) charcoal found in snow patches developed on mineral soil and (B) wood remains buried in snow-patch peat. Dots correspond to radiocarbon date of a buried non-charred wood fragment, and bars to number of radiocarbon dates.



FIGURE 6. Les combes à neige sur substrat minéral sont généralement ceinturées par le bouleau glanduleux.

Snow patches developed on mineral soil are generally bordered by dwarf birch.

FIGURE 7. Chez la grande majorité des combes à neige sur substrat tourbeux, la partie supérieure est colonisée par des krummholz d'épinette noire. L'agrandissement de ces combes à neige se fait par la mort des épinettes noires situées en bordure.

The upper part of snow patches developed on peat is colonized by black spruce krummholz. Death of nearby spruces favors snow patch expansion.



avec un maximum notable au cours de la décennie 1960. Depuis la décennie 1970, la régénération est pratiquement inexistante. Par ailleurs, un seul gaulis d'épinette noire a été recensé dans l'ensemble des combes à neige sur substrat tourbeux.

CHRONOLOGIE ^{14}C DES COMBES À NEIGE

La grande majorité des combes à neige sur substrat minéral se sont formées à la suite d'une déforestation des sites par le feu (fig. 5a). La combe à neige n° 41, située dans l'île Têtard 4, fait cependant exception; les morceaux de bois échantillonnés au contact du sol minéral ne portaient aucune

trace de feu. Cette combe à neige sur substrat minéral s'est développée différemment des autres et fait actuellement l'objet d'une étude détaillée (Mathieu, en préparation). On observe trois périodes principales d'ouverture des sites à la suite de feux, soit 1850-1700, 1400-1100 et 800-600 BP. La dernière période est la plus importante compte tenu du nombre de feux responsables de la déforestation. Par ailleurs, l'incidence des feux reliés à l'ouverture des sites semble avoir été moins grande vers 1600-1500 et 1000-900 BP (fig. 5a).

Les sols des combes à neige sur substrat tourbeux ne renferment pas de charbons de bois. La datation au radio-

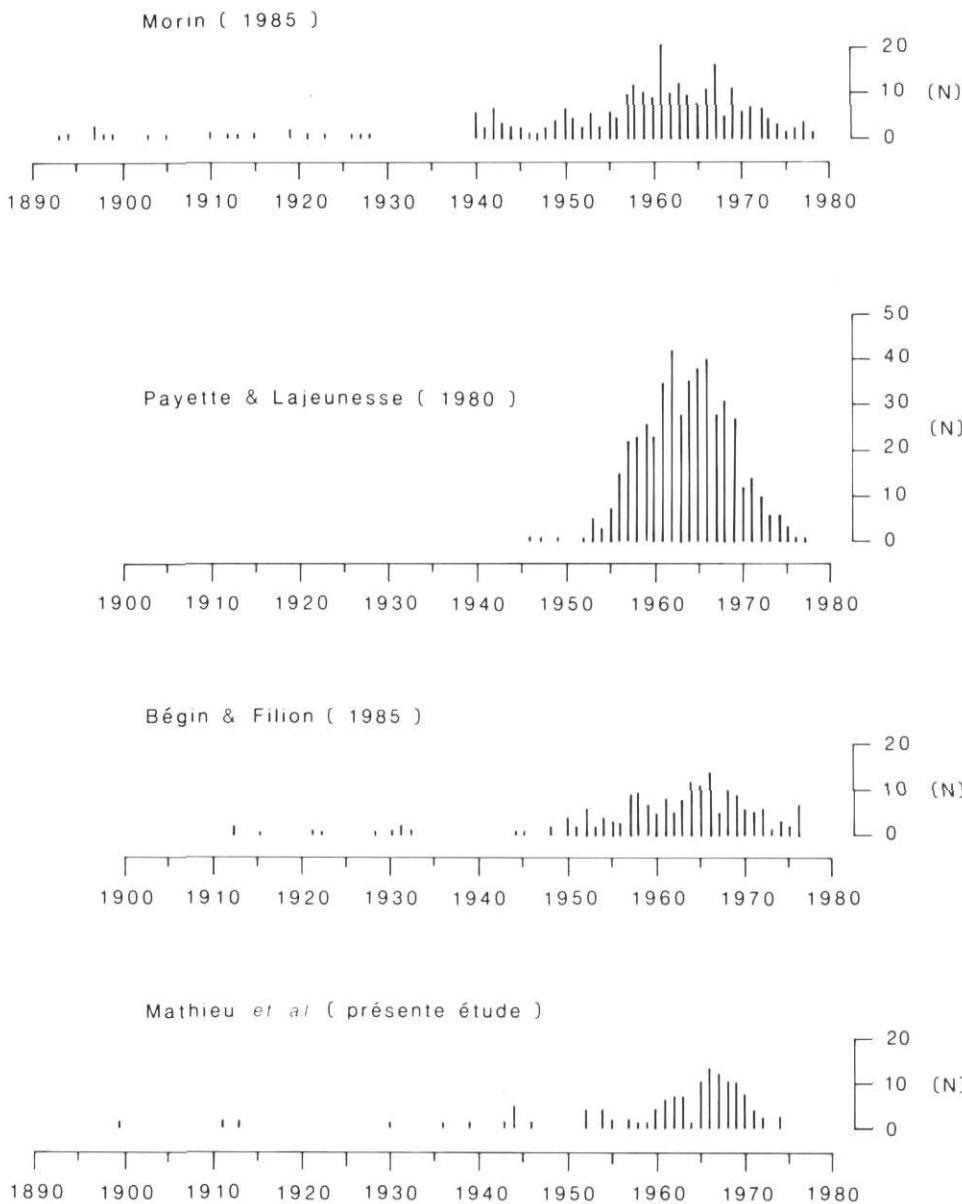


FIGURE 8. Structure d'âge des épinettes noires colonisant cinq combes à neige sur substrat minéral au lac à l'Eau Claire et comparaison avec celles d'autres sites.

Age structure of black spruce populations from five snow patches developed on mineral soil in Lac à l'Eau Claire area and comparison with other sites in northern Québec.

carbone de la dernière strate de conifères, située généralement entre 10 et 55 cm de la surface du sol (fig. 4), correspond à l'âge maximal de l'ouverture du site. La distribution statistique des datations au radiocarbone est plutôt continue (fig. 5b). Les combes à neige se seraient formées après 3000 BP dans la majorité des cas, surtout entre 2900-1700, 1000-800 et 600-400 BP.

DISCUSSION

La végétation des combes à neige sur substrat minéral reflète bien celle de la région du lac à l'Eau Claire où prédominent les taxons boréaux (tabl. I). Il est peu probable qu'une grande variété de taxons arctiques-alpins s'établissent dans ces milieux, puisqu'ils sont peu répandus (DESHAYE et MORISSET, 1985) et que l'importance spatiale du bouleau glanduleux dans plusieurs sites empêche leur implantation.

Les combes à neige du lac à l'Eau Claire sont généralement bordées par des formations conifériennes qui constituent une importante source de diaspores. De telles combes à neige sont susceptibles d'être colonisées occasionnellement par l'épinette noire. La structure d'âge des conifères de certaines combes à neige de la région confirme ce fait et indique un maximum de régénération entre 1960 et 1970 et une baisse notable à partir de 1971 (fig. 8). Cette tendance a également été notée dans des combes à neige et d'autres milieux ouverts du Nord québécois (PAYETTE et LAJEUNESSE, 1980; MORIN et PAYETTE, 1984; BÉGIN et FILION, 1985; PAYETTE et FILION, 1985; MORIN et PAYETTE, 1986). Elle est vraisemblablement le résultat d'un réchauffement climatique global enregistré au cours des décennies 1950 et 1960 (YAMAMOTO, 1980).

La formation des deux types de combes à neige du lac à l'Eau Claire n'est pas synchrone. Si l'on compare, en effet,

la répartition des poids statistiques des datations au radiocarbone, on note que les périodes associées au passage des feux dans les combes à neige sur substrat minéral ne correspondent pas à celles des combes à neige sur substrat tourbeux (fig. 5a et 5b). L'interprétation paléoécologique de ces deux types de combe à neige ne peut donc pas être la même.

Les périodes de feux, correspondant à la déforestation des sites maintenant occupés par les combes à neige sur substrat minéral, concordent avec celles déjà observées par MILLET et PAYETTE (1987) pour la même région, sauf entre 1850 et 1700 BP où ces auteurs notent une faible incidence des feux. À l'instar de MILLET et PAYETTE (1987), on peut affirmer que les feux ont causé une ouverture du paysage végétal, et plus particulièrement dans les combes à neige où les populations conifériennes incendiées n'ont pu se régénérer. Ces périodes de déforestation ont été également observées ailleurs dans la toundra forestière du Nord québécois (FILION, 1984; PAYETTE et GAGNON, 1985). Ces résultats soulignent l'importance des feux sur la déforestation des sites pendant l'Holocène supérieur, notamment à l'occasion de périodes froides où la régénération est ralentie ou lorsque les populations conifériennes brûlées forment des krummholz à faible pouvoir régénérateur (BRYSON *et al.*, 1965; SORENSON *et al.*, 1971; BLACK et BLISS, 1980; PAYETTE et GAGNON, 1985). Les combes à neige sur substrat minéral du lac à l'Eau Claire se sont développées plus tardivement que celles de la plupart des autres régions étudiées jusqu'à ce jour (FILION et PAYETTE, 1982; PAYETTE et LAJEUNESSE, 1980; PAYETTE et BOUDREAU, 1984; MORIN, 1985; PAYETTE *et al.*, 1985). Cette situation peut être reliée à la localisation relativement méridionale du lac à l'Eau Claire, non loin de la forêt coniférienne boréale où les combes à neige atteignent leur limite de distribution dans les basses terres.

Les combes à neige sur substrat tourbeux se sont développées de façon relativement continue depuis 3000 BP, bien que leur nombre ait augmenté au cours du dernier millénaire (fig. 5b). En fait, l'absence de concordance entre le développement des combes à neige sur substrat tourbeux et celui du type précédent s'explique par l'incidence de processus écologiques propres à l'évolution holocène des tourbières ombrotrophes des îles du lac à l'Eau Claire. La formation de ces combes n'a pu être véritablement amorcée qu'après 3000 BP, si l'on considère que l'entourbement généralisé des îles s'est produit entre 5000 et 3800 BP (PAYETTE, 1984). La date de 3930 ± 80 BP provenant de la combe n°T-28 fait exception dans cette chronologie, l'échantillon daté étant relativement près de la surface de la tourbière. Compte tenu du taux d'accumulation de la tourbe sur ces petites îles (Payette, en préparation), il faudrait faire remonter le début de l'entourbement avant 5050 BP, soit la plus vieille date correspondant au début de l'entourbement dans la région, ce qui est fort peu probable. Pour cette raison, nous avons exclu cette datation de notre interprétation (il y a probablement eu erreur dans l'échantillonnage ou au cours de l'analyse en laboratoire).

L'analyse détaillée de la stratigraphie d'une tourbière de la région a permis de constater que l'accumulation de la

tourbe s'est faite de manière différentielle, en fonction des caractéristiques microtopographiques qui ont préservé l'humidité assurant la croissance des sphaignes (fig. 9). D'après cette recherche, le versant est des îles de tourbe, où se trouvent les combes à neige étudiées, a accumulé deux fois plus de tourbe que le versant ouest. Ajoutée à la morphologie de drumlin de certaines îles dont l'abrupt se situe du côté est, cette situation a contribué à augmenter l'importance du dénivelé et a favorisé ainsi la formation d'une dépression topographique où la neige s'y accumule en plus grande quantité (fig. 9). Bien que la formation des combes à neige soit le résultat du climat généralement froid qui a sévi à l'Holocène supérieur, la chronologie du développement des combes à neige sur substrat tourbeux indique ainsi que le processus enclencheur est intimement relié à l'évolution de chaque tourbière insulaire vers un équilibre topographique. L'atteinte du seuil topographique critique dans la formation des combes à neige a varié au cours des derniers millénaires en fonction des conditions paléoécologiques particulières à chacune des îles. Les combes à neige des îles centrales du lac à l'Eau Claire se sont formées plus tôt que celles des îles périphériques (tabl. II). Il existe donc un gradient ouest-est dans la formation de ce type de combe à neige. Plusieurs combes à neige de la partie ouest du lac sont en voie de formation (fig. 7) autour des sites échantillonnés, alors que les îles centrales renferment de très grandes combes à neige. Le microclimat plus humide et plus exposé du centre du lac, tel que révélé par la distribution des tourbières ombrotrophes (fig. 1) et les types de végétation (PAYETTE, 1983), a certes favorisé cette situation.

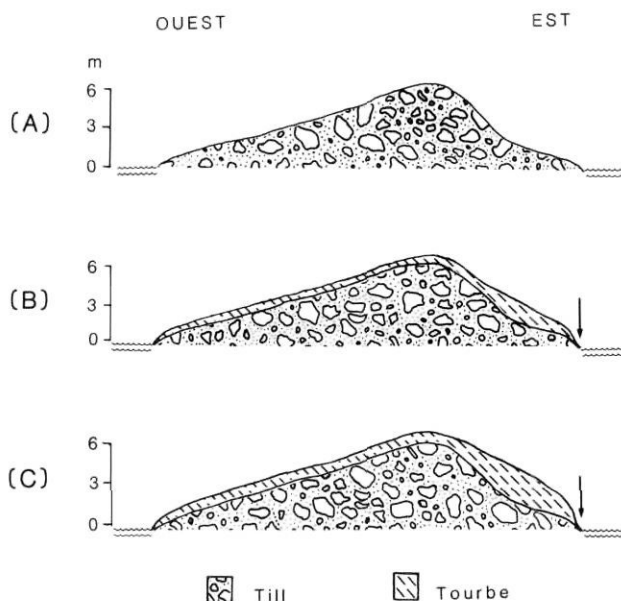


FIGURE 9. Origine probable des combes à neige sur substrat tourbeux. A) Profil originel de l'île avant entourbement. B) Entourbement plus accéléré dans la partie est (sous le vent) de l'île. C) Topographie actuelle et régularisée de l'île. ↓ : combe à neige.

Probable mechanism of snow-patch inception in peatlands. A) Island profile before peat inception. B) Peat accumulation more accelerated along the eastern part (lee side) of the island. C) Present regularized topography of the island. ↓ : snow-patch.

CONCLUSION

Cette étude a permis de préciser la chronologie du développement des combes à neige sur substrat minéral au lac à l'Eau Claire et de la comparer avec celle d'autres régions du Nord québécois. Il en ressort que les combes à neige sont apparues plus tardivement qu'ailleurs, probablement en raison de la position méridionale du lac à l'Eau Claire qui a été moins affecté, par l'intermédiaire des feux, par l'onde de refroidissement survenu à l'Holocène supérieur. Par ailleurs, quelques combes à neige sur substrat minéral se sont agrandies graduellement au fur et à mesure de la mort naturelle des épinettes noires. Un tel phénomène est d'un grand intérêt paléocologique, car il offre la possibilité d'évaluer les modalités d'ouverture des combes à neige et l'influence de la neige sur la survie et la mortalité des épinettes au cours des derniers siècles; une étude détaillée tente actuellement de faire le point sur cette question (Mathieu, en préparation). D'un autre côté, on a souligné dans ce travail le caractère particulier des combes à neige sur substrat tourbeux, dont le développement est lié non seulement au climat mais aussi à l'évolution des tourbières ombrotrophes pendant l'Holocène. Leur mode de développement semble tout à fait différent de celui des combes à neige des milieux minéraux. Dans ce contexte, les combes à neige constituent un habitat intéressant pour comprendre les changements climatiques survenus à l'Holocène supérieur. Une étude plus élaborée mériterait, certes, de préciser leur formation dans l'ensemble des deux bassins du lac à l'Eau Claire où les différences mésoclimatiques jouent un rôle déterminant dans le développement de plusieurs écosystèmes.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par le fonds FCAR (gouvernement du Québec), le Conseil de recherches en sciences naturelles et génie du Canada, et le ministère des Affaires indiennes et du Nord-Canada (programme de formation des chercheurs). Ivan Grenier a confectionné les figures. Jacqueline Bouchard a participé à l'échantillonnage sur le terrain. Michel Allard et Denis St-Onge ont révisé le manuscrit et apporté des suggestions utiles.

RÉFÉRENCES

- ALLARD, M. et SEGUIN, M. K. - (1985) : La déglaciation d'une partie du versant hudsonien québécois : bassins des rivières Nastapoca, Sheldrake et à l'Eau Claire, *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 39, p. 13-24.
- BÉGIN, C. et FILION, L. (1985) : Analyse dendrochronologique d'un glissement de terrain de la région du lac à l'Eau Claire (Québec nordique), *Canadian Journal of Earth Sciences*, vol. 22, p. 175-182.
- BÉGIN, Y. (1986) : *Dynamique de la végétation riveraine du lac à l'Eau Claire, Québec subarctique*, Thèse Ph.D., Université Laval, Québec. 128 p.
- BLACK, R. A. et BLISS, L. C. (1980) : Reproductive ecology of *Picea mariana* (Mill.) BSP., at tree line near Inuvik, Northwest Territories, Canada, *Ecological Monographs*, vol. 50, p. 331-354.
- BOSTOCK, H. H. (1969) : *The Clearwater Complex, New Québec*, Geological Survey of Canada, Bull. 128, 63 p.
- BRYSON, R. A., IRVING, W. N. et LARSEN, J. A. (1965) : Radiocarbon and soil evidence of former forest in the Southern Canadian Tundra, *Science*, vol. 147, p. 46-48.
- DESHAYE, J. et MORISSET, P. (1985) : *La flore vasculaire du Lac à l'Eau Claire, Nouveau-Québec*, Provancheria, n° 18, 52 p.
- FILION, L. (1983) : *Dynamique holocène des systèmes éoliens et signification paléoclimatique (Québec nordique)*, Thèse Ph.D., Université Laval, Québec, 123 p.
- (1984) : A relationship between dunes, fire and climate recorded in the Holocene deposits of Québec, *Nature*, vol. 309, p. 543-546.
- FILION, L. et PAYETTE, S. (1982) : Régime nival et végétation chionophile à Poste-de-la-Baleine, Nouveau-Québec, *Naturaliste canadien*, vol. 109, p. 557-571.
- FREUND, J. E. (1967) : *Modern Elementary Statistics*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 432 p.
- GAGNON, R. et PAYETTE, S. (1981) : Fluctuations holocènes de la limite des forêts de mélèze, rivière aux Feuilles, Nouveau-Québec : une analyse macrofossile en milieu tourbeux, *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 35, p. 57-72.
- LAMB, H. H. (1977) : *Climate, Present, Past and Future. Vol. 2: Climatic History and the Future*, Methuen & Co. Ltd., London, 835 p.
- MILLET, J. et PAYETTE, S. (1987) : Influence des feux sur la déforestation des îles centrales du lac à l'Eau Claire, Québec nordique, *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 41, n° 1, p. 79-86.
- MORIN, H. (1985) : *La dynamique holocène des combes à neige du Golfe de Richmond (Québec nordique)*, Thèse Ph.D., Université Laval, Québec, 123 p.
- MORIN, H. et PAYETTE, S. (1986) : La dynamique récente des combes à neige du Golfe de Richmond (Québec nordique) : une analyse dendrochronologique, *Canadian Journal of Botany*, vol. 64, p. 2113-2119.
- MUELLER-DOMBOIS, D. et ELLENBERG, H. (1974) : *Aims and Methods of Vegetation Ecology*, John Wiley & Sons, New York, 547 p.
- OCCHIETTI, S. et HILLAIRE-MARCEL, C. (1977) : Chronologie ¹⁴C des événements paléogéographiques du Québec depuis 14 000 ans, *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 31, p. 123-133.
- PAYETTE, S. (1983) : The forest tundra and present tree-lines of the northern Québec-Labrador Peninsula, in *Tree-Line Ecology, Proceedings of the northern Québec Tree-Line Conference*, P. Morisset et S. Payette, édit., Nordicana, n° 47, p. 3-23.
- (1984) : Peat inception and climatic change in northern Québec, in *Climatic changes on a yearly to millennial basis*, N.-A. Mörner et W. Karlen, édit., D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, p. 173-179.
- PAYETTE, S. et BOUDREAU, F. (1984) : Évolution postglaciaire des hauts sommets alpins et subalpins de la Gaspésie, *Canadian Journal of Earth Sciences*, vol. 21, p. 319-335.
- PAYETTE, S. et FILION, L. (1985) : White spruce expansion at the tree line and recent climatic change, *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 15, p. 241-251.
- PAYETTE, S., BOUDREAU, F. et GAGNON, R. (1985) : Gélifluxion néoglaciale dans une combe à neige à la limite des arbres,

- Québec nordique, *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 39, p. 91-97.
- PAYETTE, S., GAUTHIER, L. et GRENIER, I. (1986): Dating ice-wedge growth in subarctic peatlands following deforestation, *Nature*, vol. 322, p. 724-727.
- PAYETTE, S. et GAGNON, R. (1985): Late Holocene deforestation and tree regeneration in the forest-tundra of Québec, *Nature*, vol. 313, p. 570-572.
- PAYETTE, S. et LAJEUNESSE, R. (1980): Les combes à neige de la rivière aux Feuilles (Nouveau-Québec): indicateurs paléoclimatiques holocènes, *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 34, p. 209-220.
- PLANTE, L. (1986): *Modélisation géophysique des cratères météoritiques du lac à l'Eau Claire (Nouveau-Québec)*, Thèse M. Sc., Université Laval, Québec, 183 p.
- SORENSEN, C. J., KNOX, J. C., LARSEN, J. A. et BRYSON, R. A. (1971): Paleosols and the forest border in Keewatin, N.W.T., *Quaternary Research*, vol. 1, p. 468-473.
- ST-CYR, N. (1985): *Formation et évolution des versants rocheux des îles centrales du lac à l'Eau Claire, Québec subarctique*, Thèse M.A., Université Laval, Québec. 209 p.
- WASHBURN, A. L. (1979): *Geocryology. A survey of periglacial processes and environments*, Wiley, New York, 406 p.
- YAMAMOTO, R. (1980): Change of global climate during recent 100 years, in *Proceedings of the Technical Conference on Climate-Asia and Western Pacific*, World Climate Programme, Guangzhou, China, WMO Publ. No. 578, Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, p. 360-375.