

Dynamique spatio-temporelle d'une bande forestière près de la limite des forêts, rivière aux Feuilles, Nouveau-Québec

Spatio-temporal evolution of a forest strip near the tree-line, Rivière aux Feuilles, Nouveau-Québec

Raumlichzeitliche Dynamik eines Waldstreifens nahe der Waldgrenze, Rivière aux Feuilles, Neues Québec

Anne Godmaire and Serge Payette

Volume 35, Number 1, 1981

Quatrième Colloque sur le Quaternaire du Québec

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1000379ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/1000379ar>

[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

Godmaire, A. & Payette, S. (1981). Dynamique spatio-temporelle d'une bande forestière près de la limite des forêts, rivière aux Feuilles, Nouveau-Québec.

Géographie physique et Quaternaire, 35(1), 73–85.

<https://doi.org/10.7202/1000379ar>

Article abstract

The spatial distribution of dead or living individuals among larch (*Larix laricina* (Du Roi) K. Koch) and black spruce (*Picea mariana* (Mill.) BSP.) populations within a forest strip has allowed us to reconstruct the forest evolution since 1550 years BP. The influence of climatic conditions and forest fires on these populations could thus be determined. The fluctuation of success in tree species regeneration and that of the spatial distribution of trees which appeared during the last five decades are ascribed to climatic conditions. Two recent fires (100 and 160 years ago) have in part influenced the distribution pattern as well as the success of colonization of older trees. These fires have restricted the tree populations to a damp depression and have affected their structure. The different soil horizons containing charcoal, detected on the site, (1550 ± 130 years BP, 1170 ± 100 years BP, 640 ± 80 years BP) and their spatial distribution indicate that forest fires have had an influence on the extent of the forest cover. Prior to 1550 years BP, the forest strip covered a greater surface than today. After the fire of 1170 years BP, a change in the number and the dynamic of fires, associated with periglacial activity during that period, suggests a cooler climate. Finally, the spatial fluctuations of the tree populations are associated with the climatic changes that have occurred since 1550 years BP and that are brought out by the absence or the success of tree species regeneration since the larch and the black spruce have burnt.

DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE D'UNE BANDE FORESTIÈRE PRÈS DE LA LIMITE DES FORÊTS, RIVIÈRE AUX FEUILLES, NOUVEAU-QUÉBEC

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

RÉSUMÉ La répartition spatiale des individus vivants et morts des populations de mélèzes (*Larix laricina* (DuRoi) K. Koch) et d'épinettes noires (*Picea mariana* (Mill.) BSP.) d'une bande forestière a permis de préciser leur comportement depuis 1550 ans BP. L'influence des conditions climatiques et des feux sur ces populations forestières a pu être déterminée. La fluctuation du succès de régénération et celle de la répartition spatiale des individus des cinq dernières décennies sont attribuables aux conditions climatiques. Deux feux récents, il y a 100 ans et 160 ans, ont influencé en partie le patron de répartition ainsi que le succès de colonisation des individus plus âgés. Ces feux ont restreint les populations arborescentes à une dépression topographique humide en plus d'affecter la structure des populations. Les différents horizons de charbons de bois détectés sur le site (1550 ± 130 ans BP, 1170 ± 100 ans BP, 640 ± 80 ans BP) ainsi que leur répartition indiquent que les feux ont exercé une influence sur l'importance du couvert forestier. Avant 1550 ans BP, la bande forestière occupait une surface plus grande qu'actuellement. Après le feu de 1170 ans BP, un changement dans la fréquence et le comportement des feux associé aux manifestations du pergélisol pendant cette période suggèrent un refroidissement climatique. Finalement, les fluctuations spatiales des populations sont reliées aux changements du climat depuis 1550 ans BP, mis en évidence par l'absence ou le succès de la régénération après feu du mélèze et de l'épinette noire.

ABSTRACT *Spatio-temporal evolution of a forest strip near the tree-line, Rivière aux Feuilles, Nouveau-Québec.* The spatial distribution of dead or living individuals among larch (*Larix laricina* (Du Roi) K. Koch) and black spruce (*Picea mariana* (Mill.) BSP.) populations within a forest strip has allowed us to reconstruct the forest evolution since 1550 years BP. The influence of climatic conditions and forest fires on these populations could thus be determined. The fluctuation of success in tree species regeneration and that of the spatial distribution of trees which appeared during the last five decades are ascribed to climatic conditions. Two recent fires (100 and 160 years ago) have in part influenced the distribution pattern as well as the success of colonization of older trees. These fires have restricted the tree populations to a damp depression and have affected their structure. The different soil horizons containing charcoal, detected on the site, (1550 ± 130 years BP, 1170 ± 100 years BP, 640 ± 80 years BP) and their spatial distribution indicate that forest fires have had an influence on the extent of the forest cover. Prior to 1550 years BP, the forest strip covered a greater surface than today. After the fire of 1170 years BP, a change in the number and the dynamic of fires, associated with periglacial activity during that period, suggests a cooler climate. Finally, the spatial fluctuations of the tree populations are associated with the climatic changes that have occurred since 1550 years BP and that are brought out by the absence or the success of tree species regeneration since the larch and the black spruce have burnt.

ZUSAMMENFASSUNG *Räumlich-zeitliche Dynamik eines Waldstreifens nahe der Waldgrenze, Rivière aux Feuilles, Neues Québec.* Die räumliche Verteilung von toten oder lebenden Individuen unter Lärchen (*Larix laricina* (Du ROI) K. Koch) und schwarzen Kiefern (*Picea mariana* (Mill.) BSP.) Bevölkerungen in einem Waldstreifen hat uns erlaubt die Walddynamik seit 1550 Jahren v.u.Z. wiederherzustellen. Der Einfluss der klimatischen Verhältnisse und der Waldfeuer auf diese Bevölkerung konnte so ermittelt werden. Die Schwankungen im Gelingen der Regenerierung der Baumarten und die der räumlichen Verteilung der Bäume, welche in den letzten fünf Dekaden erschienen, sind klimatischen Verhältnissen zu zuschreiben. Zwei Feuer die vor 100 und 160 Jahren stattfanden, haben dieses Verteilungsmuster teilweise beeinflusst, wie auch das Gelingen der Ansiedlung älterer Bäume. Diese Feuer haben die Baumbevölkerung auf eine feuchte Vertiefung beschränkt und haben auch ihre Struktur beeinflusst. Die in der Gegend entdeckten, verschiedenen Bodenschichten, welche Holzkohle enthalten (1550 ± 130 Jahre v.u.Z. 1170 ± 100 Jahre v.u.Z., 640 ± 80 Jahre v.u.Z.), und ihre räumliche Verteilung zeigen, dass Waldfeuer einen Einfluss auf die Ausdehnung der Waldecke gehabt haben. Vor 1550 Jahren v.u.Z. deckte der Waldstreifen eine grössere Oberfläche als heute. Nach dem Feuer von 1170 J. v.u.Z., zeigt ein Wechsel in der Zahl und der Dynamik der Feuer, verbunden mit periglazialer Aktivität in dieser Zeit, ein kühleres Klima an. Schliesslich stehen die räumlichen Veränderungen der Baumbevölkerung in Verbindung mit den klimatischen Veränderungen, die seit 1550 v.u.Z. erfolgt sind.

INTRODUCTION

La limite des forêts de l'hémisphère nord a fait l'objet de nombreux travaux effectués selon différentes approches, comme l'analyse pollinique (NICHOLS, 1975; RICHARD, 1980; RITCHIE et HARE, 1971; SHORT et NICHOLS, 1977), l'analyse macrofossile (KARLÉN, 1976; DENTON et KARLÉN, 1977; KULLMAN, 1980; GAGNON et PAYETTE, 1981) et l'analyse paléo-pédologique (BRYSON *et al.*, 1965; SORENSON *et al.*, 1971; PAYETTE et LAJEUNESSE, 1980).

Les études portant sur les déplacements de la limite des forêts à l'aide de l'analyse pollinique ont parfois livré des évaluations fondées sur une maigre quantité de données factuelles, alors que la réalité écologique semblait plus complexe. En dehors des analyses macrofossiles, il existe peu de moyens pour reconstituer l'histoire des fluctuations de la limite des forêts d'une région (GAGNON et PAYETTE, 1981); la prudence s'impose quand il s'agit de faire la distinction entre les changements de la position de la limite des forêts et les variations du couvert forestier de la même région. Dans cette perspective, l'étude de la dynamique spatio-temporelle du couvert forestier, à proximité de la limite écologique des forêts (PAYETTE, 1976), peut présenter un intérêt paléo-climatique dans la mesure où les variables retenues sont fortement influencées par les conditions climatiques.

De telles situations semblent exister dans la région de la rivière aux Feuilles (58°15' N, 72° O) où les espèces arborescentes, mélèze laricin (*Larix laricina* (DuRoi) K. Koch) et épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) BSP.), montrent des capacités de régénération par graines distinctes (PAYETTE et GAGNON, 1979). Le comportement et la répartition de ces deux espèces sont influencés par les conditions climatiques et le passage des feux. Ces derniers causent des perturbations importantes aux écosystèmes forestiers et sont des catalyseurs de changements écologiques se reflétant dans la structure des paysages végétaux. Les feux sont, en effet, un facteur important du dynamisme des écosystèmes forestiers (LUTZ, 1956; ROWE, 1970; ROWE et SCOTTER, 1973; HEINSELMAN, 1973; WRIGHT, 1974; KELSALL *et al.*, 1977), non seulement en forêt boréale, mais aussi à la limite des forêts où ses traces sont particulièrement abondantes (SORENSON *et al.*, 1971; NICHOLS, 1975, 1976; PAYETTE et GAGNON, 1979; PAYETTE, 1980). Le feu exerce, en conjonction avec le climat, un contrôle déterminant sur le paysage forestier de l'Hémi-arctique québécois (PAYETTE, 1980). Par exemple, un incendie survenant lors d'une période climatique froide, inhibant toute régénération par graines, empêchera la recolonisation forestière; il en résultera une régression du couvert forestier. Les fluctuations spatiales des forêts seraient ainsi reliées aux fluc-

tuations climatiques, mises en évidence par l'absence ou le succès de régénération après feu.

En retenant que le climat est un facteur limitatif au niveau de la régénération par graine (PAYETTE et GAGNON, 1979; BLACK et BLISS, 1980), nous tentons de déterminer dans la présente étude son influence sur la dynamique spatiale des populations de mélèzes et d'épinettes noires, exprimée par les mouvements d'expansion et de contraction d'une bande forestière, située à quelques kilomètres au sud de la limite écologique des forêts de la région de la rivière aux Feuilles. Afin de mettre en évidence la relation qui existe entre la dynamique spatiale des populations arborescentes et les fluctuations du climat, nous avons procédé à la cartographie détaillée de tous les individus des populations arborescentes vivantes et fossiles d'une bande forestière, ainsi que des individus fossiles localisés dans une formation lichénique adjacente. Nous avons voulu aussi préciser l'importance écologique des différents feux détectés sur le site. Les fluctuations spatiales de la bande forestière devraient permettre la reconstitution historique du site et contribuer à la mise en évidence des relations existant entre les populations arborescentes, le climat et les feux.

SITE ÉTUDIÉ

La végétation de la rivière aux Feuilles appartient à la zone de la toundra forestière, sous-zone arbustive, domaine écoclimatique du mélèze et de l'épinette noire (PAYETTE, 1976). Trois étages de végétation se répartissant le long d'un gradient altitudinal caractérisent le paysage végétal de la vallée de la rivière aux Feuilles (fig. 1); aux altitudes inférieures à 150 m cor-



FIGURE 1. Les forêts sont confinées aux creux des vallées et aux dépressions topographiques, rivière aux Feuilles, Nouveau-Québec.

Forest are confined to valley floors and topographical depressions, Rivière aux Feuilles, Nouveau-Québec.

respondant aux vallées, les forêts d'épinettes noires et de mélèzes dominant; jusqu'à 190 m, les formations forestières de plus en plus ouvertes et dominées par le mélèze sont réduites à d'étroites bandes forestières confinées aux dépressions topographiques; enfin, les sites exposés des interfluves, perturbés par l'activité périglaciaire, sont colonisés par des communautés lichéniques et par quelques krummholz d'épinettes noires.

Le choix d'un site montrant une sensibilité aux conditions écologiques peut permettre de mettre en évidence l'influence du facteur climatique sur la dynamique spatio-temporelle des populations arborescentes. L'étude s'est donc poursuivie sur le versant nord-est de la rivière Corporon, cours d'eau faisant partie du bassin hydrographique de la rivière aux Feuilles. Le site étudié se situe à une altitude de 160 m environ. Il comprend une bande forestière où plusieurs arbres montrent une forme de croissance érodée et où se trouvent de nombreux fossiles arborescents. La végétation lichénique borde de part et d'autre cette forêt et les fossiles arborescents trouvés dans cette zone indiquent une ancienne expansion de la forêt. Les dimensions de l'aire étudiée sont de 20 m de largeur sur 128 m de longueur. Le grand axe de la surface étudiée est perpendiculaire à la pente générale et le terrain accuse un léger dénivelé de 7 m de l'extrémité sud à l'extrémité nord.

Les deux types de végétation compris dans l'aire étudiée, la formation forestière et la formation lichénique, contrastent par leur structure et par les conditions écologiques qui y prévalent. La formation forestière est confinée à une dépression humide. Les mélèzes arborescents et verticillés dominant, et les épinettes noires, nettement moins nombreuses, se présentent sous forme de clones. La strate arbustive clairsemée se compose principalement de *Betula glandulosa* Michx, de *Salix planifolia* Pursh, et d'Éricacées, tandis que la strate muscinale est constituée de mousses hypnacées, de sphaignes et de quelques plaques de lichens occupant les sites les mieux drainés.

Sous le couvert forestier, de nombreuses mares à fond rocheux s'intercalent entre des buttes de matériel minéral et des monticules de gros cailloux. On y observe aussi un ruissellement diffus, et l'horizon minéral à texture de loam sableux présente, par endroits, des signes de mauvais drainage. Le profil de sol correspond au podzol humoferrique, surmonté d'un horizon organique de type tourbeux. Des phénomènes périglaciaires sous le couvert arborescent ont été notés; il s'agit, entre autres, de buttes minérales gelées (fig. 2) et de lentilles de glace pure dans l'horizon organique et entre les roches. L'activité périglaciaire semble affecter l'ensemble de la formation forestière.

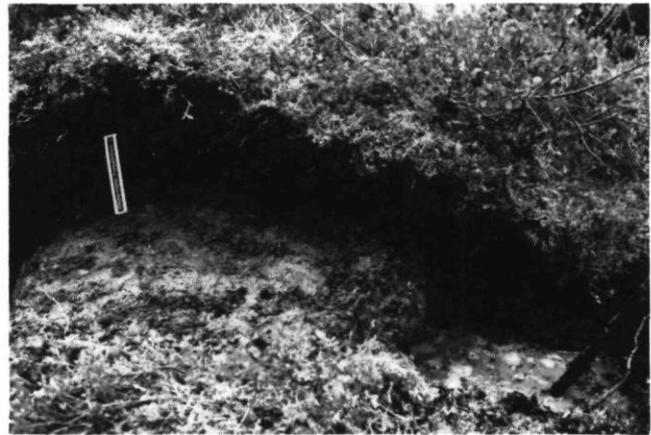


FIGURE 2. Phénomènes périglaciaires actuels (butte minérale gelée) sous le couvert forestier.

Periglacial activity under forest cover (frozen mineral mound).

La formation lichénique adjacente à la formation forestière est dominée par les *Cladina* et par quelques espèces arbustives, dont *Empetrum nigrum* L., *Betula glandulosa* Michx. et *Ledum decumbens* (Ait.) Lodd. La végétation lichénique colonise un milieu sec, le drainage étant favorisé par la topographie convexe. La surface du sol est ponctuée d'ostioles de boue et de gros cailloux. La séquence verticale du profil de sol est perturbée; une partie de l'horizon organique et des horizons spodiques sont géliturbés. À la fin août 1979, le matériel tixotropique se trouvait à une profondeur moyenne de 60 cm sous la formation forestière et de 75 cm sous la formation lichénique; le mollisol avait une épaisseur minimale de 140 cm sous la formation forestière et de 110 cm sous la formation lichénique.

MÉTHODES

L'échantillonnage s'est fait en deux temps: d'abord, les populations arborescentes vivantes ont été étudiées sur tout le terrain; ensuite, les populations fossiles ont fait l'objet d'une analyse détaillée sur les deux tiers sud du terrain, comprenant des surfaces égales de végétation lichénique et de végétation forestière. Un échantillonnage exhaustif et une cartographie de tous les individus des populations arborescentes vivantes et fossiles ont été réalisés. Le terrain a été subdivisé en quadrats de 4 m de côté. Chaque quadrat était identifié par une lettre de A à E et par un chiffre de 1 à 32, correspondant aux graduations de l'abscisse et de l'ordonnée tous les 4 m.

Trois catégories d'individus ont été distinguées; les arbres: individus issus de graines, dont le diamètre à hauteur de poitrine (1,5 m) était supérieur à 1,5 cm; les plantules: individus issus de graines dont le diamè-

tre à hauteur de poitrine était inférieur à 1,5 cm et enfin, les marcottes, qui regroupent les individus issus de l'enracinement d'une branche. Tous les individus de chacune des espèces composant les populations actuelles étaient numérotés; on notait la hauteur, le diamètre basal, la présence de cicatrices de feu, la forme de croissance (clone, verticille, normale), la microtopographie et le substrat végétal.

La détermination de l'âge des individus et des cicatrices de feu a été faite en laboratoire. Une section du tronc a été prélevée à la base des plantules, des arbres et des marcottes au niveau du tapis muscinal. Les cernes annuels étaient dénombrés sous une loupe binoculaire à un grossissement de 40X. L'âge calculé des individus sous-évalue cependant l'âge réel, car la base du tronc des plantules et des arbres se fait progressivement enfouir par la croissance du tapis muscinal. De plus, l'épinette noire et le mélèze peuvent développer sur la tige des racines adventives en réponse à cet enfouissement (LEBARRON, 1945; HUSTICH, 1956; Dubreuil, en prép.). À cause de cette imprécision, l'âge des individus a été regroupé en classes de dix ans. La présence de pourriture à la base de certains troncs d'arbres a nécessité le prélèvement d'une section à un niveau plus élevé, augmentant ainsi l'imprécision de l'âge. Aucun traitement n'a été fait pour tenter d'évaluer l'âge à la base. Ils sont considérés comme individus dont l'âge est sous-évalué (fig. 3). Le passage de feux récents peut être détecté par la présence de cicatrices triangulaires, à la base du tronc des arbres vivants (MOLNAR et McMINN, 1960; GILL, 1974). L'âge de ces cicatrices est obtenu avec précision par le dénombrement des cernes annuels formés depuis la destruction d'une partie du cambium.

La compilation des données sur les populations vivantes ainsi que quelques traitements statistiques ont été faits à l'aide des programmes du SPSS (NIE *et al.*, 1975). La cartographie des individus des populations vivantes a été exécutée avec GRAPHIC (LAVOIE et SAVARD, 1979) et le tracé des isolignes de densité des classes d'âge de la strate de régénération du mélèze a été réalisé avec ISOLIGNE (BROCHU, 1979). Ces programmes ont été mis au point au Centre de traitement de l'information de l'université Laval.

Tous les individus fossiles ont été numérotés. Les spécimens enfouis ont été dégagés en décapant le tapis végétal. La hauteur totale de la tige ou du fragment, le diamètre basal, la forme de croissance (clone, verticille ou normale), l'origine (graine ou marcotte), la direction de chute ou l'inclinaison, l'état du tronc (cassé, déraciné ou debout), le degré d'enfouissement du tronc sous le tapis muscinal, ainsi que le taux de décomposition du tronc et des racines étaient estimés pour chaque tige fossile. On a de plus noté la présence

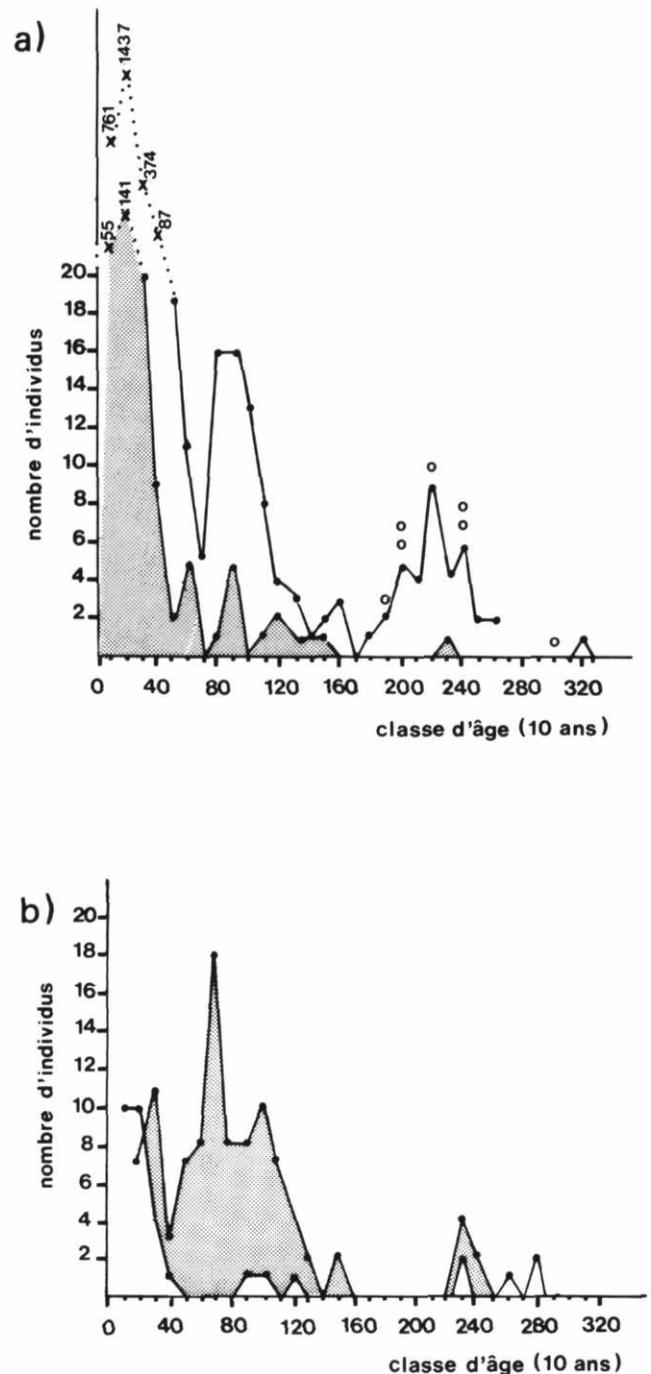


FIGURE 3. Courbes de structure d'âge: A) mélèze laricin (*Larix laricina* (Du Roi) K. Koch); B) épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) BSP.); zone blanche, individus issus de graines, zone grise, marcottes; 0, âge sous-évalué.

Age structure curves: A) Larch (*Larix laricina* (Du Roi) K. Koch); B) Black spruce (*Picea mariana* (Mill.) BSP.); white area, individual from seed origin; grey area, layers; 0, underestimated age.

d'arbres vivants s'enracinant au-dessus de tous les troncs morts enfouis.

L'identification de ces tiges fossiles a été rendue possible grâce à la présence des macrorestes calcinés comme les aiguilles, les cônes, les écailles de cônes, les brindilles d'épinettes, ainsi que les brachyblastes de mélèzes trouvés près des troncs. De plus, la forme de croissance des spécimens a permis de distinguer le mélèze de l'épinette. Cette dernière espèce possédant une croissance clonale, on note une concentration de tiges convergeant vers une zone d'enracinement assez restreinte. Des liaisons entre ces tiges peuvent être distinguées lorsque la décomposition n'est pas trop avancée. Le mélèze présente généralement un tronc isolé et droit. En outre, l'examen des coupes anatomiques du bois de certains fossiles (GAGNON et PAYETTE, 1981) a permis de compléter et de vérifier les identifications. Enfin, une décomposition du bois trop avancée chez quelques fossiles (36) n'a pas permis leur identification. Finalement, des charbons de bois ont été prélevés dans les horizons stratigraphiques caractéristiques pour fin d'analyse au ^{14}C .

RÉSULTATS

POPULATIONS ACTUELLES

La courbe de structure d'âge (fig. 3) traduit la variation des effectifs de chaque population. Ces courbes de population permettent de saisir la relation qui existe entre la variation des effectifs des populations et la variation de la répartition spatiale des individus. On note un certain synchronisme au niveau des pics et des creux des deux populations, avec des pics dans les classes d'âge de 11 à 50 ans, 71 à 110 ans, 191 à 250 ans et des creux dans les classes d'âge de 1 à 10 ans, 51 à 70 ans et de 111 à 190 ans.

Répartition spatiale du mélèze

Étant donné le très grand nombre d'individus dans les classes d'âge de 1 à 10 ans (761), 11 à 20 ans (1 437) et 21 à 30 ans (374), le contour des plages d'âge de chaque classe d'âge a été déterminé par l'isoligne de densité de 0,8 individu/m². La densité à l'intérieur de ces plages d'âge englobant tous les individus de la même classe d'âge peut atteindre 15 individus/m². Chez les classes d'âge supérieures à 30 ans, les plages englobent tous les individus appartenant à l'intervalle du pic ou du creux, donc plusieurs classes d'âges successives (fig. 4a, 4b, 4c). La répartition spatiale des individus des différentes plages d'âge de la strate de régénération montre qu'il y a une transgression de la bordure forestière par les plantules des classes d'âge de 11 à 20 ans, 21 à 30 ans, 31 à 50 ans (fig. 4a, 4b). La classe d'âge de 1 à 10 ans montre au contraire un

patron de contraction des surfaces colonisées, autant sur les bordures que dans la formation forestière. En effet, à cette période (décennie 1970) correspond un creux de population résultant d'un nombre d'individus deux fois moindre que dans la classe d'âge de 10 à 20 ans. La répartition spatiale en fonction des plages d'âge des individus de plus de 70 ans ne montre pas de correspondance entre les pics de population et les expansions latérales et entre les creux et les contractions. Les individus de 71 à 110 ans, bien que faisant partie d'un pic, montrent une répartition spatiale restreinte sous le couvert forestier. D'autre part, les bordures forestières sont indifféremment colonisées par des individus appartenant au pic de 191 à 250 ans et au creux de 111 à 190 ans (fig. 4a, 4b).

Répartition spatiale de l'épinette noire

La population d'épinette noire étant petite, il est possible de représenter individuellement les clones arborescents et les plantules (fig. 5). La répartition spatiale des épinettes noires en fonction de l'âge révèle que les plus vieux clones croissent en bordure et au centre de la formation; les jeunes clones âgés de 140 ans ou moins et les plantules s'installent presque exclusivement sous couvert forestier.

POPULATIONS FOSSILES

L'étude des populations fossiles s'est faite sur une partie de la surface étudiée (20 m × 80 m) et comprend des portions égales de formation lichénique et de formation forestière (fig. 6). Les fossiles d'arbres retrouvés dans chacune de ces formations ont été considérés séparément afin de connaître les mouvements de la bordure forestière et l'importance de la colonisation forestière dans la zone lichénique et de suivre l'évolution des populations dans la dépression humide de la zone forestière. Les dimensions minimales retenues pour désigner un arbre fossile ont été établies à partir de la cartographie et du diagramme de dispersion de la hauteur en fonction du diamètre basal des tiges retrouvées. Une hauteur minimale de 1,50 m et un diamètre minimal de 4,0 m définissaient ces limites inférieures. Les arbres vivants sélectionnés pour fin de comparaison correspondent aussi à ces critères.

Formation lichénique

Un grand nombre (76) de tiges enfouies, calcinées et partiellement décomposées, ont été observées dans l'aire de la formation lichénique sud où l'on ne retrouve actuellement aucun arbre vivant (fig. 6). D'après leur répartition spatiale et leur taux de décomposition, ces fossiles devaient appartenir à la même population. Un feu d'âge ^{14}C moderne (UQ-140) (tabl. I; fig. 7) a détruit tous les arbres qui s'y trouvaient. Un fossile calciné

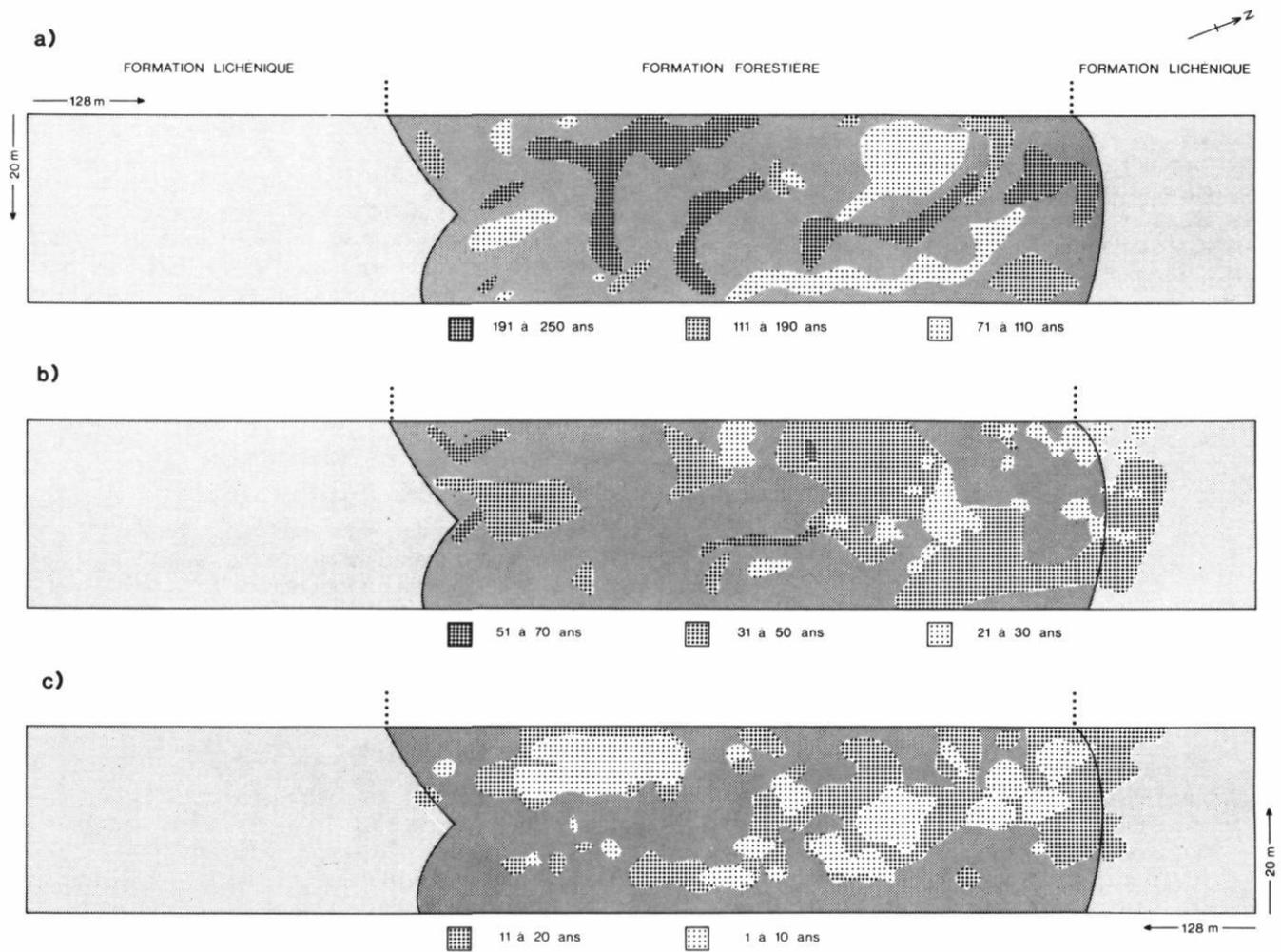


FIGURE 4. Répartition spatiale des mélèzes en fonction de l'âge. Les plages d'âge sont définies par l'intervalle du pic ou du creux de la courbe de population. La légère transgression de la bordure forestière nord par les individus des classes d'âge 10 à 50 ans correspond à un réchauffement climatique.

Age distribution of larches. Age zones are defined from density classes of the population age structure. The small transgression on the northern forest border by the 10 to 50 year-old-groups correlates with a climatic warming.

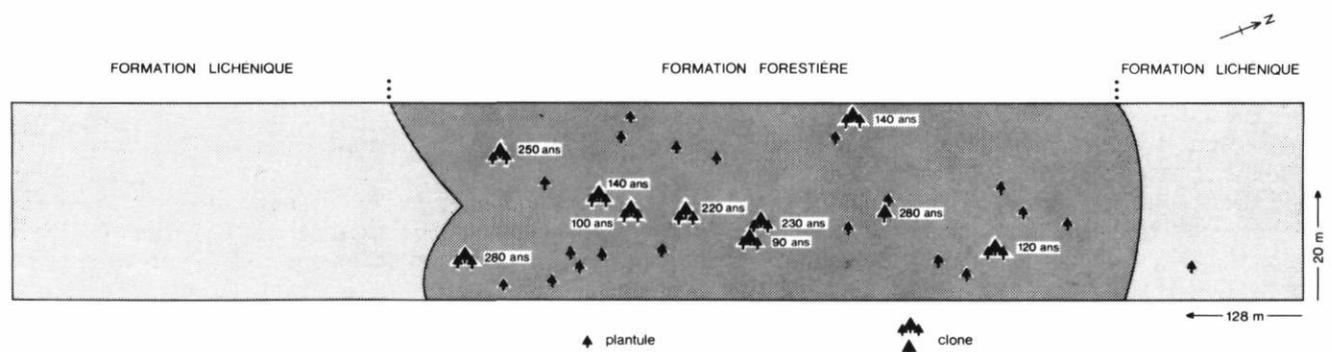


FIGURE 5. Répartition spatiale des épinettes noires en fonction de l'âge.

Spatial distribution of black spruce according to age.

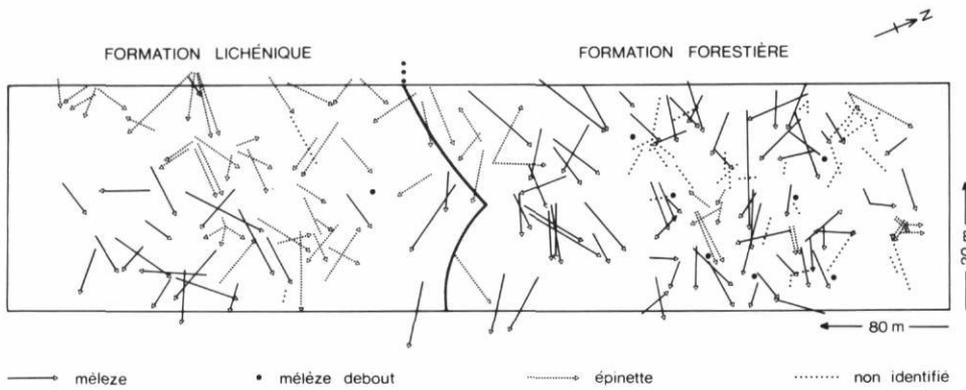


FIGURE 6. Répartition des tiges mortes de mélèzes laricins et d'épinettes noires.

Distribution of dead stems of larches and black spruces.

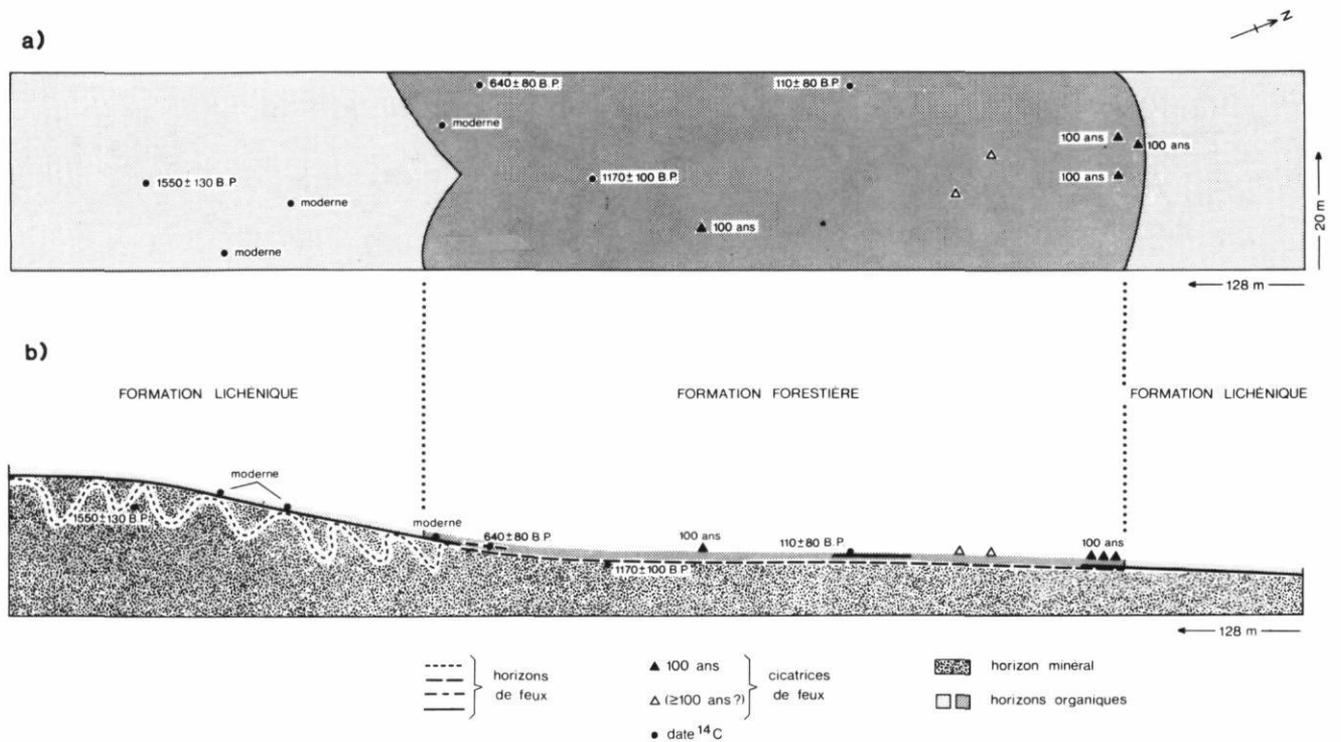


FIGURE 7. Dates ¹⁴C et cicatrices de feux: a) répartition spatiale, b) répartition stratigraphique. Le comportement et l'importance des feux sont traduits par la répartition spatio-temporelle des différents horizons de feux.

Radiocarbon dates and firemarks: a) spatial distribution, b) stratigraphic distribution. Behaviour and importance of fires are shown by the space-time distribution of the different fire horizons.

d'âge ¹⁴C moderne (UQ-139) a été retrouvé sous la souche d'un arbre vivant de 156 ans dans la bordure forestière sud. Le taux de décomposition et le niveau stratigraphique d'enfouissement de ce fossile sont comparables à ceux des fossiles de la zone lichénique. Ceci suggère le passage d'un feu il y a environ 160 ans, soit vers 1820.

Une estimation de l'âge des troncs fossiles a été faite (fig. 8) en comparant le diamètre basal des troncs fossiles au diagramme de dispersion de l'âge en fonction du

diamètre basal (DHB) des arbres vivants de la même espèce de la formation forestière. (Les diamètres sont regroupés par classe de 1,0 cm et les âges par classe de 10 ans.) Par exemple, si le diamètre basal d'un mélèze fossile de la formation lichénique est de 10 cm, la comparaison avec le diagramme de dispersion âge/diamètre basal des mélèzes vivants de même diamètre de la formation forestière situe son âge entre 71 et 240 ans (fig. 9a, 9c). Bien que ces résultats soient peu précis, cette méthode permet d'évaluer l'époque de l'instal-

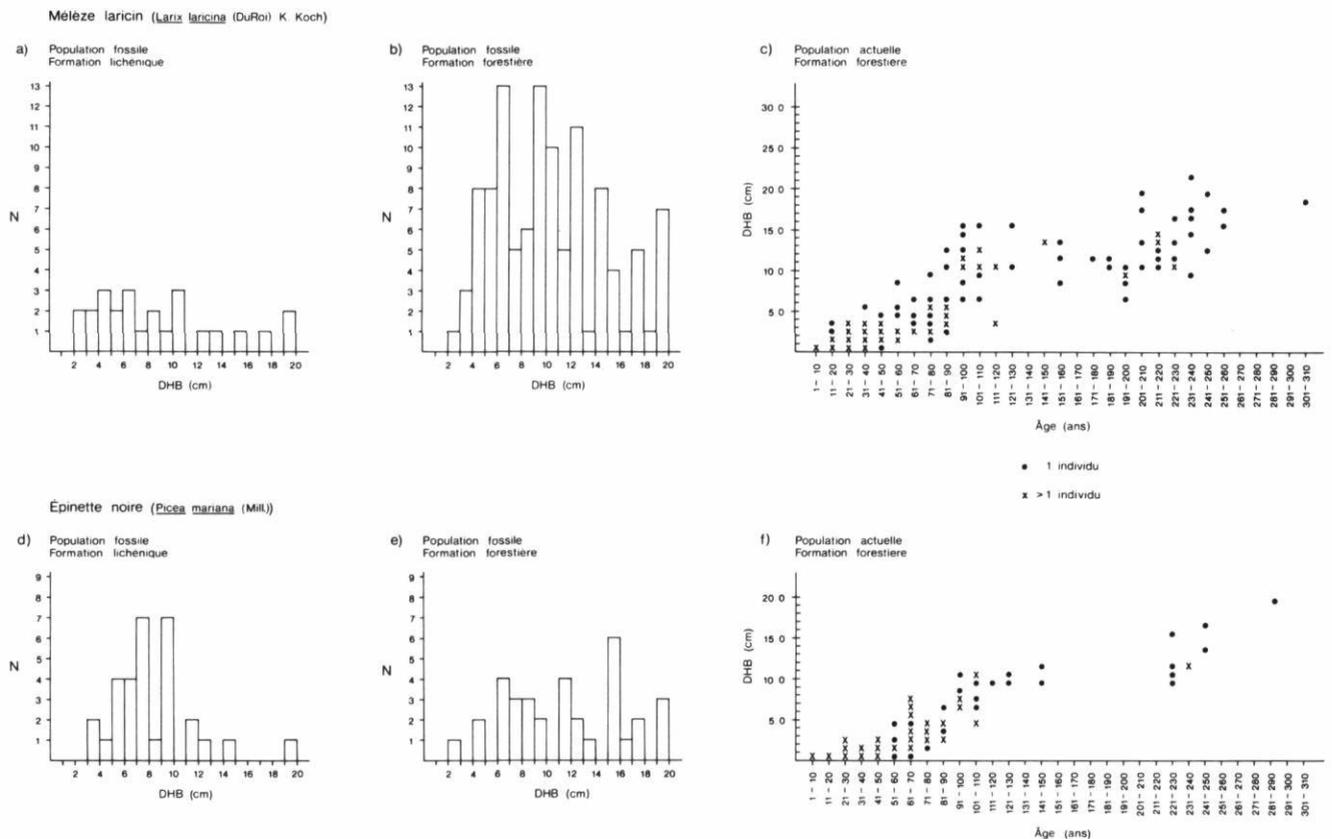


FIGURE 8. Estimation de l'âge des arbres fossiles par comparaison du diamètre basal des troncs fossiles au diagramme de dispersion âge/diamètre basal du tronc des arbres vivants.

Estimates of fossil tree ages: fossil trunk base diameter in relation with age dispersion/trunk base diameter diagram from living trees.

lation des arbres dans l'aire lichénique actuelle. En additionnant l'âge maximal attribué aux arbres fossiles, soit environ 200 à 300 ans, avec l'âge minimal du feu (160 ans), l'implantation remonte à environ 350-450 ans.

L'identification des fossiles calcinés a permis d'établir le nombre d'individus issus de graines par espèce (fig. 9a, 9c) et le nombre de tiges (marcottes + individus issus de graines) par espèce (fig. 9b, 9d). Les individus issus de graines (fig. 9a) sont presque aussi nombreux chez le mélèze que chez l'épinette noire; par contre, le nombre de tiges (fig. 9b) est plus important chez l'épinette noire que chez le mélèze.

Formation forestière

La cartographie des tiges fossiles situées dans l'aire de la formation forestière actuelle (fig. 6) révèle un total de 136 tiges; ce nombre est 1,5 fois plus grand que le nombre de tiges vivantes de la forêt (96 tiges) dans l'aire étudiée et 1,8 fois plus grand que le nombre total de tiges de la formation lichénique (76 tiges). Les dates de mortalité des fossiles sont nécessairement très variables dans la formation forestière, situa-

tion différente de celle de l'aire lichénique où toutes les tiges sont mortes simultanément. Le degré d'enfouissement dans la végétation et le taux de décomposition diffèrent d'un fossile à l'autre. Par exemple, des arbres fossiles se trouvent sous les souches d'arbres vivants de 90 à 240 ans ou sous les souches d'arbres fossiles. D'autres encore debout conservent leur écorce en tout ou en partie. Le nombre de fossiles dans la formation est en réalité la résultante de leur accumulation depuis une période indéterminée, mais relativement longue. Durant cette période, la formation a subi quelques perturbations mineures. La présence de charbon de bois au centre de la formation daté à 110 ± 80 ans BP (QU-936), de cicatrices de feu de 100 ans sur les arbres de la bordure nord, et aussi de quelques cicatrices de feu d'âge indéterminé (pourriture du tronc), mais datant sûrement de 100 ans ou plus, en témoignent (fig. 7). La position stratigraphique des fossiles de mélèze varie depuis les horizons organiques de surface jusqu'à la partie minérale du sol. Quant aux tiges fossiles d'épinette noire, elles font partie de clones vivants âgés au maximum de 280 ans; ces tiges ne sont pas enfouies dans la végétation.

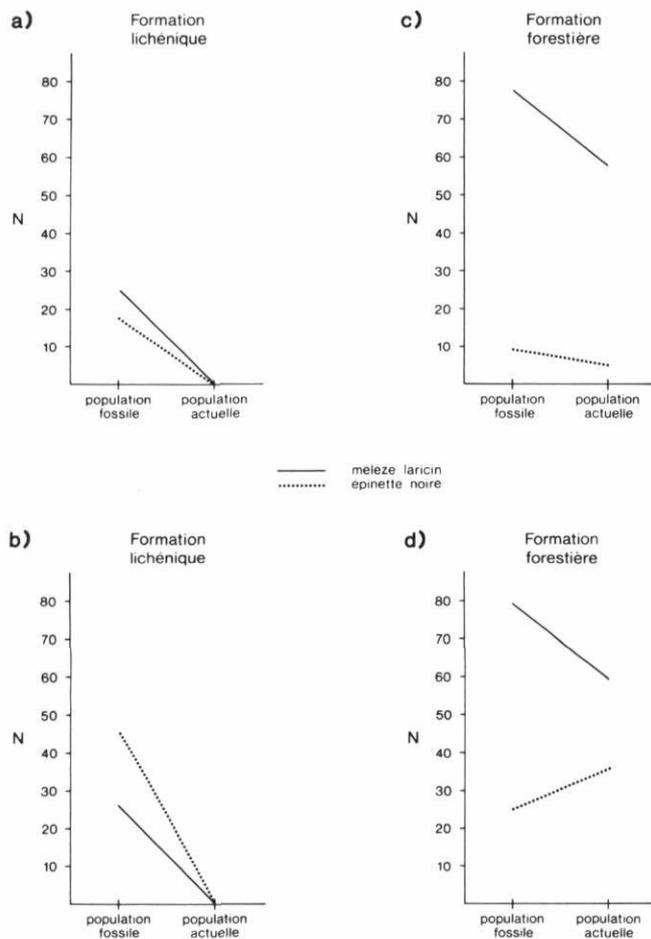


FIGURE 9. a, c : Nombre d'individus issus de graines par espèces en fonction de la situation spatio-temporelle. (Espace : formation lichénique, formation forestière. Temps : population fossile, population actuelle.) b, d : Nombre de tiges (individus issus de graines + marcottes) par espèce en fonction de la situation spatio-temporelle.

a, c : Number of individuals per species from seed origin in relation with the space-time situation. (Space : lichen formation, forest formation. Time : fossil population, present population.) b, d : Number of stems from seeds and layers/species, in relation with the space-time situation.

La comparaison du diamètre des arbres fossiles avec le diagramme de dispersion âge/diamètre basal des arbres vivants (fig. 8b, 8c, 8e, 8f), ajoutée à l'information fournie par les arbres fossiles enfouis sous les arbres vivants, suggère que l'apparition de la formation forestière remonte à plus de 400 ans. Les populations fossiles de la formation forestière renferment un plus grand nombre de tiges et d'individus issus de graines de mélèzes que d'épinettes noires (fig. 9c, 9d). Le marcottage est également très important chez l'épinette, alors qu'il est quasi inexistant chez le mélèze (fig. 9c et 9d).



FIGURE 10. Horizon de feu daté à 1550 ± 130 ans BP. Cet horizon est intensément géliturbé.

Fire horizon dated 1550 ± 130 years BP. This horizon is very gelliturbated.

Charbons de bois

Des charbons de bois prélevés dans différents horizons ont fourni les dates ^{14}C suivantes : 1550 ± 130 ans BP (fig. 10), 1170 ± 100 ans BP (fig. 11), 640 ± 80 ans BP, 110 ± 30 ans BP et moderne (tabl. I). La répartition spatiale et stratigraphique de ces échantillons souligne l'importance des feux dans l'histoire du site (fig. 7).

DISCUSSION

POPULATIONS ACTUELLES

Les fluctuations spatiales du couvert forestier sont en relation avec les feux et le climat. Le patron plurimodal de la courbe de structure d'âge des populations arborescentes est le résultat d'un développement variable imposé en grande partie par ces deux facteurs. Le synchronisme qui existe entre les pics et les creux des courbes de mélèzes et d'épinettes noires suggère qu'un ou des facteurs communs ont influencé l'évolution de ces deux populations. PAYETTE et GAGNON (1979) ont signalé le même phénomène chez les populations de mélèzes et d'épinettes noires du lac Minto et de la rivière aux Feuilles. Ils imputent cette correspondance aux réponses synchrones des populations aux fluctuations des conditions écologiques.

Une contraction spatiale de la surface colonisée ainsi qu'une diminution du nombre d'individus de la strate de régénération du mélèze au cours des dix dernières années sont observées dans le site étudié. Cette tendance a aussi été notée dans les travaux de Dubreuil (en prép.) et Morin (en prép.), qui ont étudié respectivement les strates de régénération sous couvert forestier et des bordures de colonisation forestière de différents types

TABLEAU I

Dates ¹⁴C des charbons de bois

N° échantillon	Âge ¹⁴ C	Description de l'échantillon
UQ-139	Moderne	Bordure forestière sud. Charbons de bois, sous la souche d'un arbre vivant de 156 ans. Au contact du matériel minéral. Les charbons de bois proviennent de la tige d'un fossile d'une longueur approximative de 3,20 m.
UQ-140	Moderne	Formation lichénique sud. Charbons de bois provenant d'un fossile calciné sous l'horizon fibrique de 10 cm d'épaisseur.
QU-798	Moderne	Formation lichénique sud. Charbons de bois provenant d'un fossile calciné sous l'horizon fibrique de 10 cm d'épaisseur.
QU-936	110 ± 80	Centre de la formation forestière. Tige très décomposée et partiellement calcinée. Enfouie sous l'horizon fibrique, dans une zone humide.
QU-925	640 ± 80	Sous couvert forestier. Près de la bordure forestière sud. Correspond à une zone humide. Charbons de bois provenant d'un tronc d'arbre partiellement calciné et enfoui au centre d'un horizon organique épais de 60 cm.
QU-924	1170 ± 100	Formation forestière. Gros charbons de bois au contact du matériel minéral et sous un horizon humique tourbeux. Cet horizon est quasi continu dans la formation.
QU-951	1550 ± 130	Formation lichénique sud. Très petits charbons de bois où se distinguent des aiguilles d'épinettes. Horizon organique intensément géliturbé dans la matrice minérale.

de formations conifériennes à la rivière aux Feuilles. Les populations de mélèzes dans les combes à neige de cette région présentent aussi la même tendance (PAYETTE et LAJEUNESSE, 1980). La courbe dendrochronologique établie pour la région de la rivière aux Feuilles (Morin, en prép.) indique une tendance au refroidissement durant ces dix dernières années, tandis que les 40 années antérieures ont connu un climat plus doux. C'est à ces conditions climatiques favorables que peut être attribuée la transgression de la bordure forestière nord et le succès de colonisation par les plantules de mélèzes des classes d'âge de 11 à 50 ans (fig. 4b, 4c). L'expansion restreinte au niveau de la bordure sud peut trouver une explication dans les caractéristiques physiques du terrain. Cette bordure est exposée aux vents dominants provenant du sud-ouest; l'enneigement ainsi qu'un déneigement tardif favorisé par le relief (PAYETTE *et al.*, 1975) peuvent avoir influencé sa colonisation. Ainsi, les facteurs de l'environnement immédiat ne permettent pas l'expression de la tendance d'expansion enregistrée pour l'ensemble de la région.

Il ressort de l'analyse spatio-temporelle de la strate de régénération qu'à une période climatiquement favorable correspond un pic de population, ainsi qu'une augmentation des surfaces colonisées. L'expansion latérale des bordures forestières se fait en fonction des conditions climatiques et physiques du milieu (lit de germination, neige, etc.). Une période climatique plus rigoureuse cause une diminution du nombre d'indi-

vidus, ainsi qu'une contraction de l'aire favorable à l'implantation des plantules (fig. 4b, 4c).

Pour l'ensemble des individus de 71 ans et plus des deux populations, on n'observe pas de correspondance entre les pics de populations et les expansions latérales ou les creux et les contractions (fig. 3, 4 et 5). La répartition spatiale et le succès de colonisation de ces individus ont été influencés en partie par les incendies. Ces feux ont modifié la position de la bordure forestière sud. En effet, il y a 160 ans, le feu a brûlé la partie de la forêt qui se trouvait dans l'aire lichénique actuelle et les conditions climatiques n'ont pas permis une recolonisation. C'est pourquoi l'analyse de la répartition spatiale des individus de plus de 160 ans peut être faite en supposant que la bande forestière devait être plus large avant le feu. Par ailleurs, les feux de surface de 160 et 100 ans ont pu pénétrer dans la forêt; bien que leur intensité ait été faible, ne laissant que quelques traces, ils semblent avoir modifié la structure des populations. Ils ont pu ainsi éclaircir le couvert forestier et affecter la strate de régénération de l'époque. Ces perturbations mineures, et qui n'ont touché qu'une partie des populations de la dépression forestière humide, ont eu un effet opposé à celui qu'a eu l'incendie sur le site exposé adjacent à la forêt. L'ouverture du couvert forestier favorise le maintien du mélèze, espèce héliophile, et l'expansion des clones d'épinettes noires (fig. 9b, 9d) dont le marcottage est notamment influencé par l'éclaircissement (STANEK, 1961; LÉGÈRE, 1979; PAYETTE et GAGNON, 1979). L'ouverture peut être

aussi attribuée à l'activité périglaciaire décelée dans le parterre forestier; cette activité périglaciaire affecte le système racinaire des arbres (ZOLTAI et TARNOCAI, 1974) en les rendant plus sensibles aux vents causant des chablis. Il en résulte un développement en mosaïque de la formation forestière.

POPULATIONS FOSSILES

Chez l'épinette noire de la formation forestière actuelle, une diminution du nombre d'individus issus de graines est enregistrée par rapport à la population fossile, ce qui est probablement en relation avec les mauvaises conditions climatiques empêchant la recolonisation du site incendié. Le marcottage semble au contraire augmenter, favorisé comme il a été mentionné par l'ouverture du couvert forestier (fig. 9c, 9d).

L'analyse des populations fossiles en fonction des périodes climatiques se réfère surtout au nombre d'individus issus de graines et non de tiges, car ces dernières comprennent à la fois des marcottes et des individus issus de graines. Le nombre de tiges renseigne toutefois sur l'importance du couvert forestier.

Il y a environ 350-450 ans, on estime que les conditions climatiques ont permis l'implantation des arbres dans l'aire lichénique. Cependant, la recolonisation a pu se faire à la suite du feu de 640 ± 80 ans BP. Lors de la colonisation de ce site, l'établissement de l'épinette noire à l'aide de graines a été plus important que celui des populations fossile et actuelle de la formation forestière (fig. 9a, 9c). De plus, les tiges fossiles d'épinettes sont plus nombreuses que les tiges fossiles des mélèzes dans l'aire lichénique. Favorisé par le milieu humide de la dépression topographique, le mélèze semble avoir toujours dominé par rapport à la population d'épinettes noires issues de graines. Les épinettes fossiles reposent directement sur le tapis muscinal, tandis que les mélèzes fossiles se retrouvent au contact du matériel minéral et sous les troncs d'arbres vivants ou fossiles. L'analyse des populations fossile et actuelle révèle que l'occupation du territoire par les espèces arborescentes dépend des conditions climatiques. Le passage d'un feu en période froide a pour effet de restreindre les populations aux milieux protégés. Par ailleurs, un éclaircissement du couvert forestier dans une zone protégée aura pour effet de favoriser la régénération des espèces arborescentes.

FEUX ET FLUCTUATIONS DU COUVERT FORESTIER DEPUIS 1500 ANS

L'importance du couvert forestier, définie en fonction de la répartition spatiale et de la densité des arbres, dépend des conditions de recolonisation forestière après feu. L'intensité et l'étendue d'un feu sont reliées à la disponibilité et à l'abondance du combustible (WEIN,

1976; PAYETTE, 1980) et au régime hydrique du milieu (COCHRANE et ROWE, 1969). Selon certains auteurs (QUIRK et SYKES, 1971; HEINSELMAN, 1973; ROWE et SCOTTER, 1973; ZACKHRISSE, 1977), l'humidité du sol forestier et l'épaisseur du couvert de mousses humides sont des facteurs qui peuvent réduire l'intensité des feux de surface dans les forêts occupant des dépressions humides et ne permettent parfois que des incendies irréguliers.

Un feu détruisant une formation forestière pendant une période climatique défavorable à la régénération par graine ne sera pas suivie d'une recolonisation. Ces événements de l'histoire de la végétation et du climat définis par les feux sont considérés comme des périodes importantes du point de vue du refroidissement climatique (PAYETTE 1980). Cependant, les feux ne sont pas enregistrés partout avec la même intensité; les facteurs locaux comme les zones humides et le manque de combustible peuvent tamponner l'effet destructeur du feu en période climatique défavorable.

Ces prémisses permettent de saisir la signification écologique des feux. Des indices des conditions climatiques à la suite des feux, ainsi que les différentes périodes climatiques établies pour la région par les études de PAYETTE et SÉGUIN (1979), PAYETTE (1980), PAYETTE et LAJEUNESSE (1980), GAGNON et PAYETTE (1981) et Couillard (en prép.) permettent d'interpréter en fonction des conditions paléoclimatiques le comportement des feux et les fluctuations du couvert forestier dans le site étudié.

La répartition spatio-temporelle des deux (fig. 7a, 7b) donne un aperçu des fluctuations du couvert forestier depuis 1500 ans environ (fig. 12). Aux alentours de 1550 ± 130 ans BP, des arbres colonisaient le site de l'actuelle formation lichénique; des aiguilles calcinées révèlent la présence de l'épinette noire. Une période froide qui a suivi le feu a occasionné la géliturbation de l'horizon organique calciné dans le matériel minéral (fig. 10). À la suite de ces événements, il y a probablement eu une recolonisation par les arbres, car 350-450 ans plus tard (v.g. 1170 ± 100 ans BP) survint un autre feu qui a affecté l'ensemble de la formation forestière, comme en témoigne la continuité de l'horizon de feu (fig. 11). Ces dates, ca 1550 et 1170 ans BP, correspondent à deux périodes de feux bien définies dans la région (PAYETTE, 1980; PAYETTE et LAJEUNESSE, 1980; Gagnon, en prép.; Couillard, en prép.).

Au passage du feu de 1170 ± 100 ans BP correspond la transition d'un régime hydrique bien drainé, qui avait permis jusqu'alors le développement d'un podzol, à un régime très humide, favorisant l'implantation d'une végétation hygrophile et le développement d'un horizon organique de type tourbeux. Ce changement des conditions de drainage pourrait être attribuable à la pré-

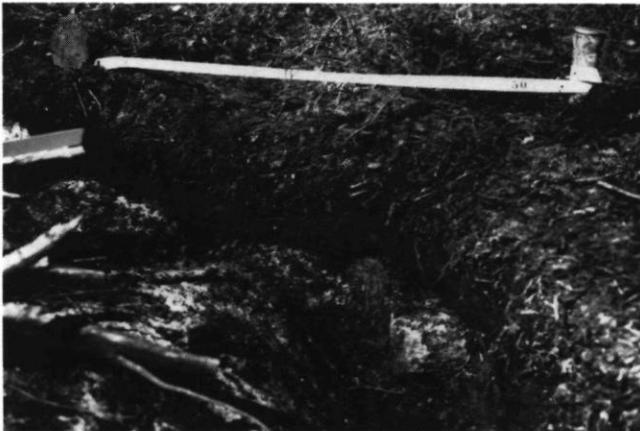


FIGURE 11. Horizon de feu daté à 1170 ± 100 ans BP. Charbons de bois au contact du matériel minéral et sous un horizon organique de type tourbeux.

Fire horizon dated from 1170 ± 100 years BP. Charcoals in contact with mineral material and below the peaty horizon.

sence du pergélisol. Des phénomènes semblables de mauvais drainage associé au pergélisol ont été observés dans les forêts du Mackenzie (Territoire-du-Nord-Ouest) par ZOLTAI et PETTAPIECE (1973) et ZOLTAI et TARNOCAI (1974).

Le feu de 1170 ± 100 ans BP a été suivi d'une recolonisation forestière à l'emplacement de la formation forestière actuelle. Par la suite, les feux semblent avoir affecté la formation arborescente sans l'éliminer complètement. L'humidité du parterre forestier, due à la présence du pergélisol, a pu contribuer à modifier le comportement de ces feux. Entre ca 1170 ans BP et aujourd'hui, les feux détectés dans le site étudié sont apparus à un intervalle de 500 à 600 ans environ (v.g. 640 ± 80 ans BP et 160 ans). Par ailleurs, les conditions climatiques n'ont pas permis une recolonisation de l'aire lichénique sud, à la suite du dernier feu de 160 ans qui a détruit une partie de la formation forestière. Il en est résulté une diminution de l'importance du couvert forestier.

Les dates de feux relevées dans le site étudié correspondent à la chronologie des feux établie pour la région de la rivière aux Feuilles (PAYETTE, 1980). Des périodes climatiques identifiées comme froides sont centrées autour des intervalles définis par les feux: 1600-1400, 1100-900, 700-?, 500-100 ans BP et aujourd'hui.

D'après les données obtenues dans le présent travail, les feux ont exercé une influence sur l'importance spatiale du couvert forestier. Ils ont perturbé le site à des intervalles plus ou moins variables. L'intervalle entre les feux semble s'être accru depuis ca 1170 ans BP. La diminution de la fréquence et de l'intensité des feux après cette période suggère un refroidissement clima-

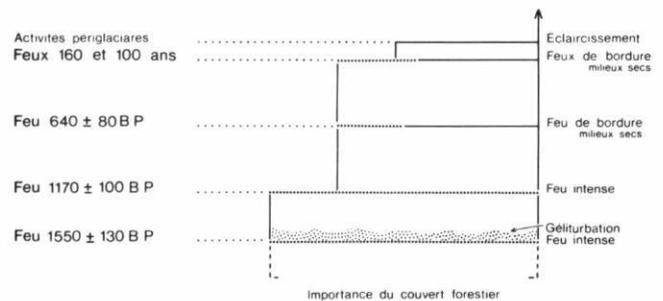


FIGURE 12. Fluctuations du couvert forestier depuis ca 1500 ans BP. La dynamique spatio-temporelle de la formation forestière dépend des feux et du climat.

Forest cover fluctuations since ca. 1500 years BP. The space-time evolution of the forest formation is related to fires and climate.

tique. Cette tendance est confirmée par une faible production de combustible associée à la diminution du couvert forestier dans l'ensemble du paysage végétal, et à une inhibition du drainage dans la dépression reliée à la présence du pergélisol.

REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement M. Réjean Gagnon pour l'identification des coupes anatomiques. Les collaborations très appréciées de MM. Pierre La Salle, Louis Barrette et Richard Morasse du ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec ainsi que de M. Laurent Devers du Laboratoire de géochimie isotopique de l'université du Québec à Montréal ont permis la datation au ^{14}C des échantillons. Sans la précieuse assistance de M. François Gariépy, de M^{me} Danielle Fabbri et de M. Gérard Duhaime, le travail de terrain et la compilation des données n'auraient pu être effectués. Nous remercions MM. Jacques Baspeyre et Clément Nollet du Centre de traitement de l'information de l'université Laval pour leur précieuse collaboration. L'étude a bénéficié de l'aide financière de la DGES qui a octroyé une bourse d'étude au premier auteur au cours des années 1978-1979 et 1979-1980. Le Département de phytologie ainsi que le Centre d'études nordiques de l'université Laval ont aussi apporté un soutien financier et logistique important. M^{me} Andrée HÉROUX a confectionné les figures.

RÉFÉRENCES

- BLACK, R. A. et BLISS, L. C. (1980): Reproductive ecology of *Picea mariana* (Mill.) BSP., at tree line near Inuvik, Northwest Territories, Canada, *Ecological Monograph*, 50(30): 331-354.
- BROCHU, G. (1979): *ISOLIGNE, programme général de traçage de lignes de niveau sur traceuse numérique (version 1.1).*

- Groupe des applications scientifiques*, CTI, Univ. Laval, Québec, 31 p.
- BRYSON, R. A., IRVING, W. N. et LARSEN, J. A. (1965): Radio-carbon and soil evidence of former forest in the Southern Canadian Tundra, *Science*, 147: 46-48.
- COCHRANE, G. R. et ROWE, J. S. (1969): Fire in the tundra at Ranklin Inlet, N.W.T., *Ann. Tall Timber Fire Ecol. Conf. Proc.*, 9: 61-74.
- DENTON, G. H. et KARLÉN, W. (1977): Holocene glacial and tree-line variations in the White River Valley and Skolai Pass, Alaska and Yukon Territory, *Quat. Res.*, 7: 63-111.
- GAGNON, R. et PAYETTE, S. (1981): Fluctuations holocènes de la limite des forêts, rivière aux Feuilles, Nouveau-Québec: une analyse macrofossile, *Géogr. phys. Quat.*, 35: 57-72.
- GILL, A. (1974): Toward an understanding of fire scar formation: field observation and laboratory simulation, *For. Sci.*, 20: 198-207.
- HEINSELMAN, M. L. (1973): Fire in the virgin forest of the boundary water canoe area, Minnesota, *Quat. Res.*, 3: 325-383.
- HUSTICH, I. (1956): Correlation of tree-ring chronologies of Alaska, Labrador and Northern Europe, *Acta Geogr.*, 15: 1-25.
- KARLÉN, W. (1976): Lacustrine sediments and tree-limit variations as indicators of Holocene climatic fluctuations in Lapland, Northern Sweden, *Geogr. Ann.*, 58: 1-34.
- KELSALL, J. P., TELFER, E. S. et WRIGHT, T. D. (1977): *The effect of fire on the ecology of the boreal forest with particular reference to the Canadian North: a review and selected bibliography*, Can. Wild. Serv., Occ. Pap., 32: 458 p.
- KULLMAN, L. (1980): Radiocarbon dating of subfossil scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the Southern Swedish scandes, *Boreas*, 9: 101-106.
- LARSEN, J. A. (1974): Ecology of the northern continental border, *Arctic and Alpine Environment*, Jack D. IVES (édit.), p. 342-369.
- LAVOIE, J. M. et SAVARD, D. (1979): *GRAFIC, un programme général de graphique*, CTI, Univ. Laval, Québec, 67 p.
- LEBARRON, M. (1945): Adjustment of black spruce root systems to increasing depth of peat, *Ecology*, 26: 309-311.
- LÉGÈRE, A. (1979): *Étude d'une population clonale d'épinette noire (Picea mariana (Mill.) BSP.) en milieu hémiarctique*, Thèse de maîtrise, Univ. Laval, Québec, 68 p.
- LUTZ, H. J. (1956): *Ecological effects of forest fires in the interior of Alaska*, U.S. Dept. Agr., Tech. Bull., 1133: 121 p.
- MOLNAR, A. C. et McMINN, R. G. (1960): The origin of basal scars in British Columbia interior white pine type, *For. Chron.*, 36: 50-60.
- NIE, N. H., HULL, C. H., JENKINS, J. G., STEINBRENNER, K. et BENT, D. H. (1975): *Statistical package for the social sciences*, McGraw-Hill, New York, 675 p.
- NICHOLS, H. (1975): *Palynology and paleoclimatic study of the forest-tundra ecotone in Keewatin and Mackenzie, N.W.T. Canada*, Univ. of Colorado, Instaar Occ. Pap., n° 15, 87 p.
- (1976): Historical aspect of northern Canadian treeline, *Arctic*, 29: 38-47.
- 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.
- (1980): *Fire history at treeline in Northern Quebec: a paleoclimatic tool, fire history workshop*, Laboratory of Treering Research, Univ. of Arizona, Tuscon.
- PAYETTE, S. et GAGNON, R. (1979): Tree-line dynamics in Ungava peninsula, northern Quebec, *Hol. Ecol.*, 2: 239-248.
- PAYETTE, S. et LAJEUNESSE, R. (1980): Les combes à neige de la rivière aux Feuilles: indicateurs paléoclimatiques holocènes, *Géogr. phys. Quat.*, 34(2): 209-220.
- PAYETTE, S., OUZILLEAU, J. et FILION, L. (1975): Zonation des conditions d'enneigement en tundra forestière, baie d'Hudson, Nouveau-Québec, *Can. J. Bot.*, 53: 1021-1030.
- PAYETTE, S. et SÉGUIN, M. K. (1979): Les buttes minérales cryogènes dans les basses terres de la rivière aux Feuilles, Nouveau-Québec. *Géogr. phys. Quat.*, 33: 339-358.
- QUIRK, W. A. et SYKES, D. J. (1971): White spruce stringers in a fire-patterned landscape in interior Alaska, in *Proceedings, Fire in the Northern Environment. A Symposium*, Coll. (Fairbanks), p. 179-197.
- RICHARD, P.J.H. (1980): *Paléophytogéographie postglaciaire en Ungava*, 4^e Colloque sur le Quaternaire du Québec, Univ. Laval, Québec.
- RITCHIE, J. C. et HARE, F. K. (1971): Late Quaternary vegetation and climate near the arctic tree-line of northwestern North America, *Quat. Res.*, 1: 331-342.
- ROWE, J. S. (1970): Spruce and fire in northwest Canada, in *Proceedings, Tenth Annual Tall Timber Fire Ecology Conference*, E. Komarek, édit., p. 245-254.
- ROWE, J. S. et SCOTTER, G. W. (1973): Fire in the boreal forest, *Quat. Res.*, 3: 444-464.
- SHORT, S. K. et NICHOLS, H. (1977): Holocene pollen diagrams from subarctic Labrador-Ungava: vegetational history and climatic change, *Arctic and Alpine Res.*, 9(3): 265-290.
- SORENSEN, C. J., KNOX, J. C., LARSEN, J. A. et BRYSON, R. A. (1971): Paleosols and the forest border in Keewatin, N.W.T., *Quat. Res.*, 1: 468-473.
- STANEK, W. (1961): Natural layering of black spruce in Northern Ontario, *For. Chron.*, 37: 245-258.
- WEIN, R. W. (1976): Frequency and characteristics of Arctic tundra fires, *Arctic*, 29: 201-222.
- WRIGHT, H.E.J. (1974): Landscape development, forest fires, and wilderness management, *Science*, 186: 487-495.
- ZACKRISSON, O. (1971): Influence of forest fires on the North Swedish boreal forest, *Oikos*, 29: 22-32.
- ZOLTAI, S. C. et PETTAPIECE, W. W. (1973): *Studies of vegetation, landform and permafrost in the Mackenzie Valley: terrain, vegetation and permafrost relationships in the northern part of the Mackenzie Valley and northern Yukon, environmental-social committee, northern pipelines*, Task Force on Northern Oil Devel., Rept. n° 73-4, 105 p. (Info. Can.)
- ZOLTAI, S. C. et TARNOCAI, C. (1974): *Soils and vegetation of hummocky terrain. Environmental-social committee, Northern pipelines*, Task Force on Northern Oil Devel., Rept. n° 74-5, 86 p. (Info. Can.)