



ARNEWS Annual Report 1991

Rapport annuel 1991 sur le Dispositif national d'alerte rapide pour les pluies acides (DNARPA)

J. Peter Hall and/et Bruce A. Pendrel
Information Report / Rapport d'information ST-X-5



Forestry
Canada

Forêts
Canada

Canada

ARNEWS Annual Report 1991

Rapport annuel 1991 sur le Dispositif national d'alerte rapide pour les pluies acides (DNARPA)

Compiled by / Compilation par

J. Peter Hall and/et Bruce A. Pendrel
Science and Sustainable Development Directorate /
Direction des sciences et du développement durable

**in cooperation with officers of the Forest Insect and Disease Survey /
avec la collaboration des agents du Relevé des insectes et
des maladies des arbres :**

G. A. Van Sickle, R. Turnquist
Pacific and Yukon Region / Région du Pacifique et du Yukon

H. F. Cerezke
Northwest Region / Région du Nord-Ouest

A. Hopkin
Ontario Region / Région de l'Ontario

S. D'Eon,
Petawawa National Forestry Institute / Institut forestier national de Petawawa

B. H. Moody
Science and Sustainable Development Directorate /
Direction des sciences et du développement durable

P. Desrochers, D. Lachance
Quebec Region / Région du Québec

L. P. Magasi
Maritimes Region / Région des Maritimes

A. Raske
Newfoundland and Labrador Region / Région de Terre-Neuve et du Labrador

Information Report ST-X-5 / Rapport d'information ST-X-5

Published by / Publié par

Forestry Canada / Forêts Canada
Science and Sustainable Development Directorate /
Direction des sciences et du développement durable
Ottawa, 1992

Forestry Canada

Forestry Canada is the main focus for forestry matters in the federal government. It provides national leadership through the development, coordination, and implementation of federal policies and programs to enhance long-term economic, social, and environmental benefits from the forest sector for Canadians.

Forestry Canada is a decentralized organization with six regions, two national research institutes, and seven regional sub-offices located across Canada. Headquarters is located in the National Capital Region in Hull, Quebec.

In support of its mandate, Forestry Canada carries out the following activities:

- administers forest development agreements negotiated with the provinces
- undertakes and supports research, development, and technology transfer in forest management, utilization, and environment
- compiles, analyzes, and disseminates information about national and international forest resources and related matters
- monitors disease and insect pests in Canada's forests
- provides information, analyses, and policy advice on economics, industry, markets, and trade related to the forest sector
- promotes employment, education, and training opportunities in the forest sector
- promotes public awareness of all aspects of the forest sector.

Forestry Canada interacts regularly with provincial and territorial governments, industry, labor, universities, conservationists, and the public through such bodies as the Canadian Council of Forest Ministers, the Forest Sector Advisory Council, the Forestry Research Advisory Council of Canada, the Canadian Forest Inventory Committee, the Canadian Committee on Forest Fire Management, the Canadian Interagency Forest Fire Centre, and regional consultative committees. Forestry Canada is also active in international forestry agencies such as the International Union of Forestry Research Organizations and the Food and Agriculture Organization, as well as in technical and trade missions.

Forêts Canada

Forêts Canada est l'organisme principal en matière de foresterie à l'intérieur du gouvernement fédéral. Chef de file sur le plan national, il assure la préparation, la coordination et la mise en œuvre des politiques et des programmes fédéraux dans le but d'améliorer les avantages économiques, sociaux et environnementaux à long terme offerts aux Canadiens par le secteur forestier.

Forêts Canada est une organisation décentralisée : six régions, deux instituts de recherche nationaux ainsi que sept sous-bureaux régionaux sont répartis dans tout le Canada. L'administration centrale est établie dans la région de la Capitale nationale, à Hull (Québec).

Pour remplir son mandat, Forêts Canada assume les tâches suivantes :

- il administre les accords de développement forestier conclus avec les provinces
- il entreprend et appuie la recherche, la mise au point et le transfert technologique dans le domaine de la gestion, des normes d'utilisation et de l'environnement des forêts
- il rassemble, analyse et diffuse de l'information sur les ressources forestières nationales et internationales et les domaines connexes
- il fait des relevés des maladies et des insectes ravageurs des forêts canadiennes
- il fournit de l'information, des analyses et des conseils (quant aux politiques) concernant l'économie, l'industrie, les marchés et le commerce reliés au secteur forestier
- il favorise les occasions d'emploi et de formation universitaire et technique dans le secteur forestier
- il encourage les Canadiens à prendre conscience de tous les aspects du secteur forestier.

Forêts Canada entretient des rapports sur une base régulière avec les gouvernements provinciaux et territoriaux, l'industrie, le monde du travail, les universités, les environnementalistes et le public par l'entremise d'organismes comme le Conseil canadien des ministres des Forêts, le Conseil consultatif du secteur forestier, le Conseil consultatif de la recherche forestière du Canada, le Comité de l'Inventaire des forêts du Canada, le Comité canadien de la gestion des incendies de forêt, le Centre interservices des feux de forêt du Canada et des comités consultatifs régionaux. Forêts Canada joue également un rôle actif dans des organismes internationaux de foresterie comme l'Union internationale des instituts de recherches forestières et l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture, de même qu'au sein de délégations de nature technique ou commerciale.

Contents / Table des matières

ARNEWS Annual Report 1991	5
Rapport annuel 1991 sur le Dispositif national d'alerte rapide pour les pluies acides (DNARPA)	19
Figures 1–15	35

© Minister of Supply and Services Canada 1993

Cat. No. Fo29-33/1-1992

ISBN 0-662-59433-9

Copies of this publication may be obtained free of charge from:

Forestry Canada

Public Information Office

Ottawa, Ontario

K1A 1G5

Phone: (819) 997-1107

Fax: (819) 953-7048

A microfiche edition of this publication may be purchased from:

Micromedia Ltd.

Place du Portage

165 Hôtel-de-Ville Street

Hull, Quebec

J8X 3X2

Editing and production: Paula Irving

Layout: Francine Langevin

Canadian Cataloguing in Publication Data

Canada. Forestry Canada. Science and
Sustainable Development Directorate

ARNEWS annual report

1990-

Annual

(Information report; ST-X-5)

Text in English and French.

Also available in Spanish.

Title on added t.p.: Rapport annuel...sur
le Dispositif national d'alerte rapide pour
les pluies acides (DNARPA).

ISSN 1188-2891 = ARNEWS annual report

Catalogue No. Fo29-33/1-

1. Forest conservation — Canada. 2. Acid
rain — Canada. 3. Air — Pollution — Canada.

I. Title. II. Title: Rapport annuel...sur le
Dispositif national d'alerte rapide pour les pluies
acides (DNARPA). III. Series: Information report
(Canada. Forestry Canada); ST-X-5.

ARNEWS Annual Report 1991

Contents

Acknowledgments	7
Abstract	7
Introduction.....	7
Methods	9
The Health of Canada's Forests	10
Discussion and Conclusions.....	16
References	17

Acknowledgments

ARNEWS was conceived and developed and is carried out by Forestry Canada staff across the country. This collaborative effort extends to the production of this report which has been prepared from several reports and analyses. The Forest Insect and Disease Survey (FIDS) plays a leading role in managing ARNEWS through its field, laboratory, analytical, and management staff. ARNEWS is part of Forestry Canada's Long Range Transport of Atmospheric Pollutants (LRTAP) program and is linked to Canada's Green Plan through the department's "Partners for Sustainable Development in Forestry" program.

Abstract

Forestry Canada's Acid Rain National Early Warning System (ARNEWS) has been in place since 1984 to detect early signs of damage to Canadian forests. ARNEWS is a long-term biomonitoring program designed to detect changes in forest vegetation and soils. ARNEWS plots are established and assessed by the Forest Insect and Disease Survey (FIDS) of Forestry Canada. The role of FIDS in ARNEWS is to identify all types and degrees of forest damage, separating damage caused by natural factors such as insects, diseases, and weather, from anthropogenic factors such as management practices and air pollution.

The health of 18 conifer and 9 hardwood species from across Canada, including areas known to receive some of the highest levels of atmospheric pollution in Canada, is described. There has been no indication of a large-scale decline in the health of our forests and little evidence has been found of symptoms of pollution. Where pollution-like symptoms have been observed, the same symptoms could usually be accounted for by natural factors. One exception is in the Bay of Fundy area of New Brunswick where research is under way to study the possible effects of acid fog and ozone on birch.

Introduction

Canada's forests are a valuable economic and sociological resource whose sustainability is essential to our well-being. Concerns about forest health in the face of environmental change led Forestry Canada (then the Canadian Forestry Service) to establish the Acid Rain National Early Warning System

(ARNEWS) in 1984. This national biomonitoring network was designed to detect early signs of the effects of acid rain on Canada's forests to enable action to be taken to forestall anticipated damage (Magasi 1988; Hall and Addison 1991). The term "acid rain" is used to encompass all forms of air pollution—wet and dry deposition of sulfates (SO_4); nitrates (NO_3); gaseous pollutants (O_3); and airborne particles.

ARNEWS uses a common set of measurements taken on permanent sample plots established by Forestry Canada's Forest Insect and Disease Survey (FIDS) to assess forest health. Data collected are supplemented by the results of other surveys and investigations by FIDS and its cooperators. The strategy of the ARNEWS program is to detect early signs of damage to forest trees and soils that may have been caused by acid rain by isolating damage attributable to natural causes or management practices, and to monitor the long-term changes in vegetation and soils attributable to acid deposition and other pollutants. Because the symptoms of air pollution damage are not highly specific, they are often confused with damage caused by other agents. The experience of FIDS field technicians trained to distinguish these symptoms from abnormal climatic conditions, nutrient deficiencies, and the effects of insects and diseases is crucial in the separation of the effects of normal forest damage from those of air pollution.

Plots were established across Canada in representative forest ecosystems with emphasis on the commercially important tree species and in areas of known acid deposition (Magasi 1988). ARNEWS was designed to assess all forest types, although at present, species that occur sporadically despite having high public interest or visibility, such as oak (*Quercus* sp.), elm (*Ulmus* sp.), hickory (*Carya* sp.), or walnut (*Juglans* sp.), are poorly represented. Other forest types that are underrepresented include the northern hardwoods and some forest types in southern British Columbia. Additional plots are planned for establishment in 1992 and 1993 to complete the system.

In the first of a proposed series of annual ARNEWS reports by Hall (1991), it was concluded that there was no evidence of large-scale decline in the health of Canadian forests, although it was possible that trees had been weakened or stressed by air pollution and that this stress was not apparent. Air pollution has subtle effects on tree physiology or soil chemistry and symptoms may be masked by the effects of natural conditions. Many trees assessed as part of ARNEWS have been stressed by weather conditions, insects, diseases, and other normal features of forest ecosystems.

Fraser (1989) suggested that although Canadian pollution levels are low and few effects had been observed, losses in tree growth could occur at current pollution levels. Berrang et al. (1991) argued that reduced growth in some species, combined with natural competition, could change the species and/or genetic structure of the forest. A high degree of genetic variability has enabled trees to survive for millions of years (Gregorius 1989) and to dominate many terrestrial ecosystems while tolerating a wide range of stresses (Bormann 1985). The mature forest ecosystem is maintained in an oscillating steady state under the competitive pressures of space, light, water, and nutrients, and the periodic stresses of drought, fire, flood, and pests (Garner et al. 1989). Except for some catastrophic stresses, the effect of natural stresses is difficult to determine. Individual trees are altered by stress, however, and become susceptible to insect and disease organisms that attack and may kill them (Auclair 1987). Usually, however, forest ecosystems are not permanently damaged and recover to a state resembling their original condition. It is usually the interaction of several abiotic and biotic factors that produces an unhealthy forest, rather than the effect of a single factor (Manion 1981). It is in this context that ARNEWS data are interpreted.

The 1990 ARNEWS report on forest health in Canada (Hall 1991) showed that mortality was generally in the normal range of 1 to 2% and was attributed to natural factors. Detailed descriptions for 25 of the major Canadian tree species showed that nearly all damage was due to identifiable stresses. An early warning system to detect and monitor conditions remains an essential part of our commitment to the sustainability of Canada's forests. This is the second in the series of annual reports on the health of Canada's forests and synthesizes the results of the 1991 measurements.

♦ Drought ♦

Drought is a period of dry weather during which there is insufficient rain to meet the requirements of trees. Trees are adapted to a wide range of conditions, but exceptional weather conditions create stress and, depending on their severity and the coincidence of other types of stress, damage may result.

Physiological drought occurs when soils cannot provide sufficient water to plants. This happens when there are too many salts or solutes in the soil water or when the soil is frozen. In the latter case the symptoms are usually described as "winter-

drying" or "winter-kill," caused by trees transpiring during the winter and the water not being replaced. Damage includes dead twigs, branches, or whole trees, buds are severely injured, and less foliar biomass is produced in the next growing season. Injury may be related to deep frost penetration into the soil, caused by a lack of insulating snow.

Drought in summer causes severe wilting of hardwoods, yellowing (chlorosis), browning, and tissue death (necrosis). In conifers, premature needle shedding occurs. Trees that are stressed by drought have an altered physiology that renders them susceptible to other stress such as insect or disease damage. Air pollution is an additional stress that may affect the health of previously stressed trees.

In mountainous areas and especially on the eastern slopes of the Rocky Mountains, chinook winds cause rapid and extreme changes in temperature from below 0°C to 20°C, resulting in "red belts" of conifers with reddish brown needles.

The soils of some regions are particularly susceptible to drought, so that it is difficult to generalize about the effects of drought on forests. Even within a stand the effects are usually varied, because of the natural variation in soils and topography that results in trees being subjected to different degrees of stress. The inherent variation in the physiology of individual trees may also cause them to respond differently.

Observations to 1990 suggested that tree health in central and eastern Ontario has deteriorated because of a prolonged dry period from 1987 to 1989. Aspen, white birch, red oak, sugar maple, and red maple were affected to varying degrees. Symptoms observed were thin foliage, dead twigs, and dead branches, all of which contributed to a widespread decline, most evident in white birch. Drought also contributed directly to the death of several aspen trees. In British Columbia, drought may have been an additional stress contributing to tree mortality from natural causes, such as suppression, shading, and bark beetles, in Douglas-fir, amabilis fir, and western hemlock.

♦ Ozone ♦

Ozone (O_3) is found throughout the atmosphere where it is generated naturally by the action of sunlight on oxygen in the upper atmosphere and by electrical discharge during thunderstorms. Although depletion of ozone in the upper atmosphere (holes in the ozone layer) has gained much attention recently, nearer to the surface of the earth a different problem

emerges. Here, the natural generation of ozone is added to by human activity, which produces several volatile organic compounds (VOC) that catalyze the reactions that produce O₃ from precursors such as nitrogen oxides. Certain VOC are produced by the forest itself. These biogenic sources are difficult to quantify, and their role in the pollutant load is not well understood. The phytotoxic effect of O₃ itself may constitute a stress that increases biogenic VOC emissions from the forest.

Ozone is a widespread air pollutant in North America and the gaseous pollutant most injurious to forests (Garner et al. 1989). High concentrations can occur far from the sources of pollution and can injure and retard the growth of many plant species. For example, ozone damage in the northern United States is causing concern about aspen and eastern white pine productivity and genetic diversity (Berrang et al. 1991; Berry 1973).

Reviews of ozone damage symptoms have been prepared by Malhotra and Blauel (1980) and the Forest Response Program of the National Acid Precipitation Assessment Program (NAPAP, n.d.), among others. The visible symptoms of ozone exposure are recognized as either acute or chronic responses. Acute injury involves the death of cells, develops within a few hours or days following exposure, and is usually associated with exposure to high concentrations. It is expressed as stippling (pigmentation), flecking, bleaching, and bifacial necrosis (when the tissues connecting the upper and lower leaf surfaces are killed). Chronic injury appears in response to long-term, low-concentration exposure and develops within days or weeks. It may be manifested as chlorosis, stippling, premature senescence, and necrosis. Damage levels are affected by both the duration of exposure and the long-term accumulation of exposure events. Environmental conditions, physiological condition, and genetic tolerance also affect the degree of damage to trees.

It is difficult to separate O₃ damage from senescence, nutritional disorders, other environmental stresses, pathogens, or insect damage. Tissue chemical analysis or microscopic examination can help in identification, but we do not know whether ozone is the cause of these symptoms in the field.

Damage symptoms on conifer needles usually consist of chlorotic mottle and tip-burn. Mottle is usually induced by exposure to low levels of O₃, whereas tip-burn is induced on young needles by high concentrations of O₃. Chlorotic mottle develops as small patches of yellow tissue surrounded by apparently healthy tissue. Necrosis appears as tip dieback or necrotic banding, which develop on semi-mature leaf tissue during leaf expansion. Eventually,

the remaining needle tips may die, producing large areas of reddish brown discoloration. Tip-burn usually affects all needles in a fascicle equally, especially in white pine. Young, rapidly growing needles that are directly exposed to sunlight are the most sensitive. Symptoms can vary widely on individuals within a species.

Damage symptoms on hardwoods consist mainly of stipple. The upper leaf surfaces may have tan, red, brown, purple, or black discoloration on part or all of the leaf. Stippling is often more intense on leaves exposed to direct light but, in the absence of further stress, the stippling may fade and become difficult to observe 1–4 weeks after exposure.

The youngest leaves are normally the most sensitive and symptoms tend to develop at leaf tips, whereas on older leaves, symptoms are found toward the base, although the entire surfaces of older leaves may exhibit symptoms when exposed to ozone periodically during growth.

Chlorosis, the loss of chlorophyll, may appear in discrete patches, called mottle, or in patterns similar to stippling, called flecking. Fleck injury is characterized by small, discrete areas of dead cells and leads to the formation of irregular lesions. The lesions may be bleached or colored as in stippling, and the affected areas may be slightly sunken. Prolonged exposure to low doses may cause chlorotic tissues to coalesce, and take on a bronzed appearance and may be followed by premature needle loss.

In the Maritimes, flecking was reported on young needles of white pine in 1990 (Hall 1991), and symptoms on birch in the Bay of Fundy area, occurring mostly in the early 1980s, have been described (Magasi 1989, 1992). Considerable twig and branch dieback has occurred, and there is some mortality caused by repeated defoliation. Acidic fog has been linked to this condition and it is thought that ozone is indirectly involved. In the Ontario Region, speckling and marginal necrosis were observed in 1988 on white birch; in the Pacific Region, flecking on needles of white spruce and Englemann spruce was reported, but this was attributed to snow and reflected light.

Methods

ARNEWS consists of 103 permanent sample plots located in all 10 provinces (Fig. 1; Figs. 1–15 follow the French translation in this report). Plot establishment and assessment procedures are given by Magasi (1988), while D'Eon and Power (1989) describe plot attributes.

Parameters measured annually, at 5-year intervals, or more frequently as required are as follows:

- A. Annual assessments
 - 1. Tree mortality
 - 2. Tree condition
 - 3. Acid rain symptoms
- B. Every 5 years
 - 1. Radial growth
 - 2. Vertical growth
 - 3. Crown structure and density
 - 4. Foliage nutrients
 - 5. Soil chemistry
- C. One or more assessments per growing season
 - 1. Acid rain symptoms
 - 2. Insect and disease conditions
 - 3. Seed production (optional)

Only visual assessments are made on trees within plots. Sampling and detailed measurements requiring hand-held branch samples are made on off-plot trees to ensure that the trees within the plot remain undisturbed. Measurements reported here are tree mortality, tree condition, and the type and degree of foliar damage, including any symptoms of air pollution. Possible symptoms of air pollution were compared with known symptoms of emission toxicity on vegetation, as presented by Malhotra and Blauel (1980) and NAPAP (no date).

The health of the tree crown in conifers is assessed as the percentage of foliage missing, for whatever reason, from the "normal" foliage complement of the tree. This takes into account the natural loss of needles as a twig matures. The retention of needles by conifers is measured as the percentage of a full complement for each age-class (twig internode) represented on the branch. The crown condition classification in hardwoods integrates foliage loss with the proportion of dead twigs and branches in the crown.

Tree condition classification for conifers:

- 01 = Healthy and no defoliation.
- 02 = Healthy and only current defoliation.
- 03 = Current and some older foliage damaged, but total defoliation less than 25%.
- 04 = 26–50% total defoliation.
- 05 = 51–75% total defoliation.
- 06 = 76–90% total defoliation.
- 07 = More than 90% total defoliation.

Tree condition classification for hardwoods:

- 01 = Normal healthy tree.
- 02 = Foliage thin, off-color, particularly in the upper crown, no bare twigs or branches.
- 03 = Dead twigs present but no dead branches. Dead twigs occur at the ends of the branches, usually in the top of the crown about 0.5 to

1.0 m from the edge of the crown. In this and subsequent categories the foliage is usually, but not necessarily, weak.

- 04 = Dead branches present on up to 25% of the crown.
- 05 = Dead branches present on up to 50% of the crown.
- 06 = More than 50% of the crown is dead but some living branches still present on the tree.
- 07 = More than 50% of the crown is dead. No living branches present except small adventitious ones, usually at the base of the crown or on the stem.

Most ARNEWS plots are located in semimature, natural forests, where the number of trees would normally be expected to decline because of competition as the stand matures. Mortality in excess of 2% often reflects the effects of stress (such as significant insect defoliation and natural catastrophes) in addition to that attributable to normal stand development. The distribution of tree frequency over a range of crown conditions typically shows a reduction in the number of trees from healthy to less healthy classes and an increase in numbers of dead trees, those that die from competition.

Insects and diseases are identified and their relative levels of damage are determined from samples collected near the plot. Observations of tree condition, however, refer to trees on the plot. Whenever possible, observations are made during the field season to coincide with the life stages of the different groups of organisms.

This report describes observations made on 18 conifers and 9 hardwoods. The conifers are eastern white pine, jack pine, lodgepole pine, red pine, tamarack, black spruce, Englemann spruce, Norway spruce, red spruce, hybrid spruce, Sitka spruce, white spruce, western hemlock, Douglas-fir, alpine fir, amabilis fir, balsam fir, and western red cedar. The hardwoods are largetooth aspen, trembling aspen, white birch, yellow birch, American beech, red oak, black cherry, red maple, and sugar maple. The species described in the text are those that have at least 10 individuals in the region.

The Health of Canada's Forests

A description of the health of individual species follows. For each species, mortality, tree condition, and causes of symptoms are described. Damage on foliage that is symptomatic of air pollution or could be confused with air pollution is noted. As expected, a variety of conditions was observed among plots and

regions because of the variation in natural conditions. Hence a strict comparison of tree condition among plots is not always appropriate; rather, trends within a plot, intraregional comparisons, and overall levels of condition are more likely to provide the necessary insights into forest health.

Eastern White Pine (*Pinus strobus* L.)

Eastern white pine is found in significant numbers on one plot in Nova Scotia, one in Quebec, and two in Ontario. In Nova Scotia, the average annual mortality since 1985 has been 1.1%. No mortality occurred on either Quebec or Ontario plots in 1991. Tree condition has improved gradually on the Nova Scotia plot since 1989 so that almost 90% of the trees are found in the three "healthy" classes. In Quebec, all trees were rated in class 04, which may be a consequence of the normal loss of needles from the 3-year-old internodes. In any case, the trees appear healthy. In Ontario, an average of 59% of trees are found in the three healthiest classes, and most of the remainder are in class 04. Because almost all class 04 trees are on one plot, likely a single unknown event before plot establishment caused their condition. The second plot contains more than 80% healthy trees (Fig. 2a, b). This is unchanged from 1990. On the Nova Scotia plot, trace to low amounts of needle flecking were observed. Causes of this condition are unknown. No symptoms were reported from the Ontario plots. Needle retention on 2-year-old shoots increased for the third year in Nova Scotia.

Jack Pine (*Pinus banksiana* Lamb.)

Jack pine is found in significant numbers on one New Brunswick plot, seven in Ontario, three in Manitoba, and one in Saskatchewan. The health of trees in New Brunswick continues to reflect the effects of severe winter storm damage several years previously. Four additional codominant or intermediate trees have died, three of which also had chronic damage attributable to the pitch nodule maker (*Petrova albicapitana* Bsk.) and to globose gall rust (*Endocronartium harknessii* [J.P. Moore] Y. Hiratsuka), an insect and a disease that are found throughout the plot. A long-horned beetle, *Mono-chamus* sp., was associated with two of the dead trees. Average annual mortality since 1985 is 2.6%, the highest for any Maritime plot. In Ontario, six trees died, two on each of three plots; however, five of

these trees were in the intermediate or suppressed crown dominance categories. Mortality in Manitoba and Saskatchewan plots averaged 4.1% in 1991, up slightly from 1990, a result of *Armillaria* root rot. About 60% of the trees on the New Brunswick plot remain in the relatively healthy class 03; however, the remaining trees in class 04 and worse are declining. Tree crowns in Ontario remained healthy, with 80% showing no signs of defoliation or dieback (Fig. 3a). Crown condition on jack pine in Manitoba and Saskatchewan improved in 1991 (Fig. 3b). On a few New Brunswick trees, trace needle flecking was observed. The degree of needle retention in New Brunswick decreased in all age-classes, but particularly among 2- and 3-year-old needles. For the first time since 1989, no 4-year-old needles were present. The percentage of needles retained in 1991 is the lowest since 1987.

Lodgepole Pine (*Pinus contorta* Dougl.)

Lodgepole pine is found in significant numbers on three Alberta plots and on one British Columbia plot, and in lesser numbers on a second British Columbia plot. Mortality on Alberta plots remained at 4.9% during 1990 and 1991. No specific pest problems were found, and mortality appears to result from competition during stand development. A shift of trees out of condition class 01 into class 03 (Fig. 4) may be due to the effects of *Atropellis* canker. All British Columbia trees were classified healthy and no foliar discoloration was recorded. In Alberta plots, pine needle cast disease (*Lophodermella* sp.) resulted in some loss of needles.

Red Pine (*Pinus resinosa* Ait.)

Red pine is found in significant numbers on one Quebec plot. No mortality has occurred on this plot since establishment in 1985. However, tree condition has been declining since 1987, when 73% of trees were in condition class 03; by 1991, 93% of trees were in condition class 04. Drought, shallow soils, tree age (trees average 110 years old), insects, mites, and diseases are probable causes of deterioration. A special survey will be undertaken to identify the causes.

Tamarack (*Larix laricina* [Du Roi] K.Koch)

Tamarack is found in significant numbers on one New Brunswick plot. Mortality over 7 years has

averaged 0.6%, with no mortality in 1991. All plot trees are infected with European larch canker (*Lachnellula willkommii* [Hartig] Dennis), which is causing a gradual deterioration in tree condition such that only 45% have less than 25% damage. Branch mortality is found on 60% of trees and twig mortality on the remaining 40%.

Black Spruce (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.)

Black spruce is found in significant numbers on three Newfoundland plots, two in New Brunswick, three in Quebec, four in Ontario, and one in Manitoba. Only one tree died in Newfoundland in 1991. In New Brunswick, one suppressed tree died, and the average annual mortality since 1985 is about 2.0%. In Quebec, the death of two trees on one plot resulted in 1.0% mortality for 1991. In Ontario, three trees died from suppression and/or blowdown damage. The Manitoba plot averaged 3.8% mortality from 1990 to 1991.

In 1991, 80% of Newfoundland black spruce were in class 01, the percentage remaining virtually unchanged since 1989 (Fig. 5a). On the southwest New Brunswick plot, there was a significant improvement in tree condition, a reduction in class 03 trees from 53% to 16% (Fig. 5b). On the south-central New Brunswick plot, where almost 30% of the trees died in previous years, the remaining live trees are in classes 03 and 04, continuing a gradual decline (Fig. 5c). Tree condition remained relatively unchanged on two of the Quebec plots, the majority of trees on one plot being in class 03 and on the other plot being in class 04. On the third plot, many trees are shifting from class 03 (62% in 1987) to class 04 (52% in 1991). An overall improvement in crown condition was seen in Ontario, with 85% of trees in class 01 or 02, up 29% from 1990 (Fig. 5d). All living black spruce trees were in class 01 in the Manitoba plot (Fig. 5e).

No foliar damage was found on Newfoundland black spruce. In New Brunswick, a trace amount of needle flecking was observed on older needles on two plots and a trace of insect damage was found. Needle retention was normal and complete for all trees in Newfoundland. In the Maritimes, needle retention was almost 90% in the four youngest age-classes, although retention on older internodes was less.

Engelmann Spruce (*Picea engelmannii* Parry)

Engelmann spruce is found in significant numbers on only one British Columbia plot. All but one tree remain healthy. Trace to light amounts of winter flecking, a discoloration caused by snow

deposition and reflected sunlight, were recorded again in 1991 as in 1990.

Norway Spruce (*Picea abies* [L.] Karst.)

Norway spruce is found in significant numbers on only one Ontario plot. All trees are healthy, and more than 90% were in the healthiest classification.

Red Spruce (*Picea rubens* Sarg.)

Red spruce is found in significant numbers on three New Brunswick plots, two in Nova Scotia, and four in Quebec. In Nova Scotia, one codominant red spruce that had been chronically infested with ragged spruce gall adelgid, *Pineus similis* (Gill.), died in 1991. The average annual mortality for all Maritime plots since 1985 is 0.7%. In the Quebec plots, five trees died resulting in an average mortality of 3.0%. The gradual decline in tree condition seen in the Maritimes plots since 1987 continued; about 4% of trees moved from class 03 to class 04 (Fig. 6). In two southern Quebec plots, 50% and 59% of the trees were in class 03, while 47% and 60% of the trees in two western plots are in class 04. Spruce budworm caused light defoliation in northern New Brunswick, twig aphid was at trace levels along the Bay of Fundy coast, and mites caused trace needle flecking in southwestern Nova Scotia. Trace levels of chlorotic older foliage were observed on most plots. Needle retention levels reflected feeding by the spruce budworm.

Red/Black Spruce Hybrids

Red/black spruce hybrids occur on one plot each in Prince Edward Island and New Brunswick. No mortality was observed on either plot; consequently, the average annual mortality since 1985 was reduced to 1.2%. Crown condition was relatively unchanged with almost 70% of the trees in class 03 or healthier, although the condition of the Prince Edward Island plot was not as good as that in New Brunswick. Chlorotic older foliage was found on about 25% of trees and almost 30% were damaged by wind. Needle flecking was observed on some trees in Prince Edward Island.

Sitka Spruce (*Picea sitchensis* [Bong.] Carr.)

Sitka spruce is a lesser component of several British Columbia plots. All trees are healthy and no foliage discoloration has been observed.

White Spruce (*Picea glauca* [Moench] Voss)

White spruce is found in significant numbers on one Newfoundland plot, two in Nova Scotia, one in New Brunswick, three in Ontario, two in Saskatchewan, two in Alberta, and two in British Columbia. White spruce occurs in fewer numbers on many plots in all provinces. Its wide distribution makes it an excellent species for national comparisons.

In Newfoundland, tree mortality remained less than 1%, with only one tree dying in 1991. No white spruce mortality occurred on the Maritimes plots, the average annual mortality since 1985 being 0.6%. One tree died on each of two plots in Ontario, one resulted from blowdown. No trees died on the Saskatchewan or Alberta plots and one British Columbia tree died, infected by a brown cubicle rot, a *Polyporus* sp. The average annual mortality since 1985 on British Columbia plots is 1.5%. In the Maritimes, overall tree condition was unchanged from 1990. In Ontario, the percentage of healthy trees (with no dieback) had increased by 12% to 33% in 1991 (Fig. 7a). The remainder had damage on older foliage caused by spruce budworm. One plot had had no budworm damage since 1987 and all trees were in class 01. Almost all trees on plots in Saskatchewan and Alberta were classified as healthy (Fig. 7b). All British Columbia trees were in class 01; also, no foliar discoloration was recorded. Damage caused by insects, diseases, and abiotic conditions was found in trace to low levels on the Maritimes plots. Needle flecking and chlorosis occurred on the older foliage of some plots and a few winter-killed buds were found.

Western Hemlock (*Tsuga heterophylla* [Raf.] Sarg.)

Western hemlock is found in significant numbers on eight British Columbia plots. No new mortality has occurred since the storm damage and blowdown recorded in 1990, the average annual mortality since 1985 being 1.4%. Most trees are healthy except for 8% of all trees, found on five plots, that have some crown thinning in the under 25% defoliation class. Most of these were understory or intermediate trees shaded by dense canopies and two of these trees were storm damaged. Two other trees with more than 25% defoliation were suppressed understory trees. Chlorosis of older foliage of the lower crown has been recorded for 5 years. It is attributed to natural shading and competition in closed canopy stands. In 1991, trace to light levels of foliage discoloration were recorded on 29% of all trees spread over all plots, although most discolored trees were found in three plots.

Douglas-Fir (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco)

Douglas-fir is found in significant numbers on six British Columbia plots. Trees were generally healthy on five out of six plots, and only a few trees died from shading (five suppressed trees) and root rot attack (*Armillaria ostoyae* [Romagn.] Herink) (four trees). On the other plot, near Penticton, 45% of the trees were defoliated more than 25%, with 3% more than 90% defoliated. Defoliation, part of 400 000 ha defoliated in British Columbia in 1991, was caused by the western spruce budworm (*Choristoneura occidentalis* Free). Some of the severely defoliated trees may not recover. Defoliation up to 50% also occurred in four other plots from natural dieback in densely stocked understory trees in closed-canopy stands. One tree was storm damaged. The average annual mortality over all plots was 2.0%. Discoloration in the form of chlorotic lower crown foliage was recorded at trace to light levels on only three trees on one coastal plot and was probably due to the Swiss needle cast, *Phaeocryptopus gaeumannii* (Rohde) Petr., and a snow blight fungus, *Ceuthospora* sp.

Alpine Fir (*Abies lasiocarpa* [Hook.] Nutt.)

Alpine fir is a small component of three British Columbia plots. All trees were healthy and most had no foliar discoloration except for light levels on two trees on one plot, caused by a needle disease, *Lirula abietis-concolor* (Mayr ex Dearn.) Darker, and a secondary fungus, *Stegopezizella balsameae* (Davis) Syd.

Amabilis Fir (*Abies amabilis* [Dougl.]Forbes)

Amabilis fir is found in significant numbers on two British Columbia plots. Four intermediate trees died from competition, shading, and attack by bark beetles (*Pseudohylesinus* sp. or *Scolytus ventralis* LeConte); average annual mortality since 1985 was 0.8%. Most trees were healthy; seven trees had up to 50% defoliation from either natural crown thinning or dieback. In one case, storm damage resulted in a broken top. Foliar discoloration, mainly reddish brown older foliage at trace to light levels in the lower crown, was recorded on 16 trees on 4 plots. This was attributed to natural shading and competition under a closed canopy.

Balsam Fir (*Abies balsamea* [L.] Mill.)

Balsam fir is found in significant numbers on seven Newfoundland plots, five in Nova Scotia, three

in New Brunswick, five in Quebec, and one in Ontario.

In Newfoundland, only one tree died, and the mortality rate remained below 1%. In Nova Scotia, six trees died and in New Brunswick, five died, bringing the average annual mortality in the Maritimes since 1985 to 2.5%. More than half of the new mortality was found among intermediate trees in deteriorating condition and at least four of them were infested by bark beetles. Three trees on one plot were broken at ground level; one had been a dominant tree in good condition. Of four codominant trees, two died from beetle attack. All four had been 26% to 50% defoliated in 1990. This mortality occurred on five plots, four of which had a history of infestation by the spruce budworm. In Quebec, where two trees died from windfall, the mortality rate for 1991 was 2.0%. No mortality was found among the Ontario trees.

Tree condition in Newfoundland remained generally good, as in 1990, with 85% of all balsam fir trees rated as class 01 and 94% within the top three classes (Fig. 8a). In the Maritimes, there was little change in tree condition from 1990; some trees previously in poor condition died, and a few of the class 04 trees declined further. Trees in class 03 or better stayed the same (Fig. 8b). Most Quebec trees were in condition class 03. A decline in crown condition occurred in Ontario, with no trees remaining in class 01 (Fig. 8c). Trees with more than 25% defoliation increased by 43% to 80% in 1991. This deterioration was attributed to defoliation by the spruce budworm.

In Newfoundland, trace foliar damage was caused by the hemlock looper. Light to moderate defoliation by spruce budworm was noted on three New Brunswick plots; one of these also experienced light hemlock looper damage. Variable levels of needle flecking occurred on all five Nova Scotia plots on needles dating from 1989 or earlier. Needle retention was normal and complete for Newfoundland balsam fir. The presence of spruce budworm and hemlock looper reduced needle retention in New Brunswick, but retention was normal and complete on all Nova Scotia plots.

Western Red Cedar (*Thuja plicata* Donn)

Western red cedar is found in significant numbers on two British Columbia plots. One shaded tree died in 1991 and the average annual mortality has been 2.0%. Most trees were healthy, except for two individuals with thinning foliage and one that was storm damaged. No foliar discoloration was recorded.

Largetooth Aspen (*Populus grandidentata* Michx.)

Largetooth aspen is found only as a lesser component of one Nova Scotia plot and three plots in Ontario. In Ontario, of a total of 12 trees, two suppressed trees that had also been stressed by drought and possibly *Armillaria* died. Most of the healthy trees improved in 1991, with 47% showing no dieback (Fig. 9).

Trembling Aspen (*Populus tremuloides* Michx.)

Trembling aspen is found in significant numbers on one Prince Edward Island plot, two in Ontario, one in Manitoba, and one in Saskatchewan. Only one wind-damaged tree died in 1991. On the Prince Edward Island plot, tree condition had deteriorated since 1987, twig dieback was evident, and 30% of trees were classified as having dead branches in up to 25% of the crown. Only trace amounts of insect or disease damage were found. In Ontario, crown conditions improved with 40% of trees found in the healthiest classifications, up from 12% in 1990 (Fig. 10a). Improvement was greatest where insect defoliation by the forest tent caterpillar was limited to trace amounts. Trees on both plots were stressed by drought from 1987 to 1990. Considerable mortality occurred among trees in the Manitoba and Saskatchewan plots, where cumulative mortality reached 24.7% by 1991. Most of the remaining trees were classified as healthy and an improvement in crown condition was recorded in 1991 (Fig. 10b). Two likely causes were defoliation by the large aspen tortrix, *Choristoneura conflictana* (Wlk.), and late spring frosts.

White Birch (*Betula papyrifera* Marsh.)

White birch is found in significant numbers on one Nova Scotia plot, one in New Brunswick, two in Quebec, and four in Ontario. In New Brunswick, the death of three white birch brought the average annual mortality since 1985 to 1.8%. All but one of the dead trees were codominant, and all had been stressed by severe foliage browning before 1986 (Magasi 1989). *Armillaria* root rot caused the death of one tree. No white birch died in Quebec. In Ontario, four trees died on two plots from *Armillaria*.

In southern New Brunswick, trees were under severe stress before 1986 by recurring browning of young foliage, which was widespread along the Bay of Fundy coast. Since then, there has been a gradual improvement in the condition of white birch, the

number of surviving trees with only twig dieback increasing since 1989. Trees with branch dieback either improved by moving into class 03 or better, or deteriorated further and died. On the Nova Scotia plot, more than 60% of the trees had only twig dieback and no trees had more than minimal branch dieback. A separate annual survey of 11 permanent plots, established to follow changes in tree condition, provided a more detailed picture of the Bay of Fundy situation: tree deterioration continued for 2 more years after the last severe incidence of browning in 1986 and there were no healthy trees left. The first sign of improvement was observed in 1989, and by 1991, 20% of the trees were again healthy. In 1991, healthy trees outnumbered those with branch dieback for the first time since 1985 (Fig. 11). In Quebec, 70% of the trees had some branch dieback (condition class 04), unchanged from previous years. In Ontario, a slight increase in crown dieback was observed, part of a trend since 1987 (Fig. 12). Drought, insect borers, *Armillaria* and *Phellinus* root rots, and storm damage have all contributed to the unhealthy status of white birch. Foliar damage in the Maritimes was less in 1991 than in 1990. Trace to light damage was caused by the hemlock looper (*Lambdina fiscellaria* Gn.), the spearmarked black moth (*Rheumaptera hastata* L.), a variety of other insect species, and *Septoria* leaf spot. Trace marginal browning and interveinal chlorosis were also recorded.

Yellow Birch (*Betula alleghaniensis* Britton)

Yellow birch is found in significant numbers on one Newfoundland plot and three Quebec plots and is a lesser component of three New Brunswick plots. In Newfoundland, no evidence of dieback was found. In New Brunswick, no trees have died since plot establishment. One tree died in Quebec in 1991. About half of the 12 New Brunswick trees were healthy or had only twig dieback, and the other half had some branch mortality. They showed improvement over time, with the percentage of class 04 trees decreasing in favor of class 03 for the third consecutive year in 1991. Trees in one Quebec plot remained healthy while tree condition in the other plot worsened, with many trees rated in class 04. This may be related to early-summer drought. In New Brunswick, trace to light insect damage was observed and trace amounts of disease and abiotic injury were found. Marginal discoloration and some chlorosis were observed on trees in New Brunswick, similar to symptoms on sugar maple on the same plot. These conditions were attributed to drought.

American Beech (*Fagus grandifolia* Ehrh.)

American beech is found in significant numbers on one Quebec plot. No mortality occurred in 1991. All trees were in condition class 04 and many had stem wounds or cankers.

Red Oak (*Quercus rubra* L.)

Red oak is found in significant numbers on two Quebec plots and one Ontario plot. No trees died in either the Quebec or Ontario plots in 1991. On one Quebec plot, a deterioration in tree condition had been noted since 1988, when 84% of the trees were in classes 03 or 04. Now 84% of trees are in classes 04 or 05. Defoliation on this plot, caused mostly by pear thrips, *Taeniothrips inconsequens* (Uzel), was 45% in 1988 and 1989, 20% in 1990, and 30% in 1991. On the other Quebec plot, tree condition had been declining since 1988, but stabilized in 1991 with 47% of trees in class 05. The condition of the Ontario ARNEWS trees was unchanged from 1990, an improvement over 1986 to 1989 conditions (Fig. 13). All trees had some dieback; 88% had between 5 and 25% dieback. Drought was a factor in tree condition from 1987 to 1989; however, the reasons for the relatively poor tree health before plot establishment and since then are not known.

Black Cherry (*Prunus serotina* Ehrh.)

Black cherry is found in significant numbers on one Quebec plot. No mortality occurred in 1991 and tree condition remained unchanged, with most trees fairly healthy.

Red Maple (*Acer rubrum* L.)

Red maple was found in significant numbers on one Nova Scotia plot, and one in Ontario, and in fewer numbers on four plots in Nova Scotia, four in New Brunswick, two in Quebec, and three in Ontario. No trees died in Nova Scotia in 1991, the average annual mortality since 1985 being 0.2%. One tree died in Ontario. In Nova Scotia, the number of trees in class 01 decreased gradually from 1987 to 1990, while the number of trees in class 04 increased marginally. Almost 80% of all trees were still in class 03 or better (Fig. 14). The Ontario plot is in a drought area; however, its condition declined only slightly. In Nova Scotia, only trace foliar damage was evident in 1991, less than in 1990. Some leaf

mottling and chlorosis were detected and wind torn leaves were found on two Nova Scotia plots. On one of these, interveinal chlorosis was moderate on 23% of the leaves. In Ontario, foliar damage was limited to trace insect defoliation and maple leaf spot disease.

Sugar Maple (*Acer saccharum* Marsh.)

Sugar maple is found in significant numbers on one New Brunswick plot, eight in Quebec, and eight in Ontario. In New Brunswick, no trees have died since the beginning of the program. No trees died in Quebec in 1991. In Ontario, five suppressed or intermediate trees died in 1991, one on each of five plots. *Armillaria* root rot was found on two of these and suspected on a third.

There was a general trend towards healthier trees on the New Brunswick plot from 1987 to 1991, even though one tree fell to class 05 (Fig. 15a). This was the first time since 1986 that there were more trees in classes 01 to 03 (65%) than in class 04, or higher. Most Quebec trees were unchanged, remaining in condition class 04 in 1991. In Ontario, there was a slight improvement in crown condition in 1991, with more than 40% of trees in the 0% dieback class (Fig. 15b). These improvements were thought to be related to a lessening of the drought and reduced levels of defoliation by the forest tent caterpillar. Trees on a plot near Sault Ste. Marie showed a deterioration in condition probably caused by high temperatures and winds recorded during 1989 and 1990 as well as the earlier drought. However, the overall condition of trees remained good, 87% having less than 25% dieback. Only trace foliar damage was observed in New Brunswick. Damage from disease was considerably less than in 1990, probably because of dry conditions in 1991. Trace abiotic damage was recorded for the first time since plot establishment. Symptoms observed were marginal discoloration and chlorosis, both of which are consistent with drought. In Ontario, leaf scorch was recorded and was attributed to high winds and drought.

Discussion and Conclusions

The assessment of ARNEWS plots in 1991 indicates that there is no large-scale decline in the health of Canadian forests that can be attributed directly to atmospheric pollution. This conclusion is similar to that reached after the 1990 assessment. The classic symptoms of air pollution were sought but little evidence was found. Damage that may be

related to air pollution was described and is identified for further investigation, especially on birch in the Bay of Fundy area of New Brunswick. It is possible, of course, that trees have been weakened or stressed by external factors such as air pollution and that this stress is not apparent. The effects of insects, diseases, drought, and storms were observed frequently.

This assessment of forest health in Canadian ARNEWS plots shows that mortality was generally in the normal range of 1 to 2% and was caused largely by competition within stands. Higher rates for jack pine, balsam fir, white and yellow birch, and trembling aspen on some plots are attributable to stress from drought, frost, windstorms, winter storms, root rots, spruce budworm, and other defoliators.

Observations in 1991 suggest that drought continues to play a role in tree health. In the Maritimes, drought symptoms appeared as marginal discoloration or chlorosis on yellow birch, red maple, and sugar maple. On sugar maple, however, a reduction in the impact of disease was also attributed to drought conditions. In Quebec, drought is implicated in the deterioration of red pine and black spruce on plots in the Gaspé Peninsula after lower than normal rainfall in 1987, 1988, and 1990. Deterioration first became apparent in red pine in 1990 and in black spruce in 1991. There was also concern for sugar maple north of Quebec City and for yellow birch north of Montreal after a period of drought in the early part of the 1991 growing season. In Ontario, an improvement in sugar maple and trembling aspen is thought to be related to recovery from drought, although this recovery has not been seen as yet in red maple, and it is possible that a root disease has become established in those trees. Ontario white birch continues to deteriorate because of drought, activity by insect borers, and *Armillaria* and *Phellinus* root rots. In British Columbia, province-wide mean temperatures during the growing season from 1987 to 1990 were above the 30-year (1951–1980) average, and precipitation in 1985, 1989, and 1990 was below average, particularly in the Vancouver, Prince Rupert, and Prince George regions. No damage attributable specifically to drought was reported, but it has likely affected tree condition and mortality in this region also.

Cause-effect relationships cannot be demonstrated for ozone on trees; however, where possible symptoms were observed, trees are under close scrutiny. In 1991, needle flecking was widespread on white spruce, black spruce, balsam fir, yellow birch, sugar maple, red maple, and white birch in the Maritimes. Other ozone-like symptoms seen in the Maritimes were chlorosis and marginal discoloration.

In the case of yellow birch and sugar maple, the symptoms were attributed to the effects of drought. The damage on white birch has been duplicated by exposing birch seedlings to ambient levels of ozone and observing similar symptoms (Dr. Roger Cox, Forestry Canada—Maritimes Region, pers. comm.). Levels of ozone and acid fog have been lower recently in the Maritimes near the affected sites, and this has been paralleled by a reduction in the level of damage. Research is under way to determine the causes and extent of the problem.

References

- Auclair, A.N.D. 1987. The distribution of forest declines in eastern Canada. In Kairukstis, L., S. Nilsson, and A. Straszak (eds.), Proc. Workshop on Forest Decline and Reproduction: Regional and Global Consequences. IIASA, A-2361, Laxenburg, Austria.
- Berrang, P.; Karnosky, D.F.; Bennett, J. P. 1991. Natural selection for ozone tolerance in *Populus tremuloides*: an evaluation of nationwide trends. Can. J. For. Res. 21: 1091-1097.
- Berry, C.R. 1973. The differential sensitivity of Eastern White Pine to three types of air pollution. Can. J. For. Res. 3: 184-187.
- Bormann, F.H. 1985. Air pollution stresses on forests. Bioscience 35(7): 434-441.
- D'Eon, S.P; Power, J.M. 1989. The Acid Rain National Early Warning System (ARNEWS) plot network. Forestry Canada, Petawawa Natl. For. Inst., Chalk River, Ont. Inf. Rep. PI-X-91, 119 p.
- Fraser, G.A. 1989. Acid rain control: Potential commercial forestry benefits to Canada. Forestry Canada, Ottawa, Ont. Inf. Rep. E-X-42. 31 p.
- Garner, J.H.B.; Pagano, T.; Cowling, E. 1989. An Evaluation of the role of ozone, acid deposition and other airborne pollutants in the forests of eastern North America. USDA For. Serv. Southeast For. Expt. Sta., Asheville, N.C., Gen. Tech. Rep. SE-59. 172 p.
- Gregorius, H.R. 1989. The importance of genetic multiplicity for tolerance of atmospheric pollution. Pages 163-172 in Scholtz, F., H.R. Gregorius, and D. Rudin (eds.), Genetic effects of air pollutants in forest tree populations. Springer-Verlag, Berlin.
- Hall, J. Peter. 1991. ARNEWS Annual Report 1990. Forestry Canada, Ottawa, Ont., Inf. Rep. ST-X-1. 17 p.
- Hall, J. Peter; Addison, P.A. 1991. Response to air pollution: ARNEWS assesses the health of Canada's forests. Forestry Canada, Ottawa, Ont., Inf. Rep. DPC-X-34, 13 p.
- Magasi, L.P. 1988. Acid rain national early warning system: Manual on plot establishment and monitoring. Can. For. Ser., Ottawa, Ont., Inf. Rep. DPC-X-25.
- Magasi, L.P. 1989. White birch deterioration in the Bay of Fundy region, New Brunswick 1979-1988, Forestry Canada, Maritimes Region, Fredericton, N.B., Inf. Rep. MX-177.
- Magasi, L.P. 1992. Forest pest conditions in the Maritimes in 1991. Forestry Canada, Maritimes Region, Fredericton, N.B., Inf. Rep. M-X-181.
- Malhotra, S.S.; Blauel, R.A. 1980. Diagnosis of air pollutant and natural stress symptoms on forest vegetation in western Canada. Can. For. Serv., North For. Res. Centre, Edmonton, Alta., Inf. Rep. NOR-X-228. 84 p.
- Manion, P.D. 1981. Tree disease concepts. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J.
- National Acid Precipitation Assessment Program (NAPAP). (n.d.). Diagnosing injury to eastern forest trees. NAPAP Forest Responses Program, Vegetation Survey Research Cooperative, USDA, U.S.F.S. 122 p.

**Rapport annuel 1991
sur le Dispositif national d'alerte rapide
pour les pluies acides (DNARPA)**

Table des matières

Remerciements	21
Résumé	21
Introduction.....	21
Méthodes	24
Bilan de santé des forêts du Canada	25
Discussion et conclusions	32
Références	32

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1993

Nº de cat. Fo29-33/1-1992

ISBN 0-662-59433-9

Il est possible d'obtenir sans frais des exemplaires de cette publication auprès de :

Forêts Canada

Bureau d'information du public

Ottawa (Ontario)

K1A 1G5

Téléphone : (819) 997-1107

Télécopieur : (819) 953-7048

Des microfiches ou copies de cette publication sont en vente chez

Micromedia Ltée

165, rue Hôtel-de-Ville

Hull (Québec)

J8X 3X2

Révision : Denis Rochon

Mise en page : Francine Langevin

Données de catalogage avant publication (Canada)

Canada. Forêts Canada. Direction générale des sciences
et du développement durable

Rapport annuel...sur le Dispositif national d'alerte
rapide pour les pluies acides (DNARPA)

1990-

Annuel

(Rapport d'information ; ST-X-5)

Texte en anglais et en français. Également disponible en espagnol.

Titre de la p. de t. addit....ARNEWS annual report.

ISSN 1188-2891 = ARNEWS annual report

Nº de cat. MAS Fo29-33/1-

1. Forêts — Conservation — Canada. 2. Pluies
acides — Canada. 3. Air — Pollution — Canada

I. Titre. II. Titre : ARNEWS annual report.

III. Coll.: Rapport d'information (Canada. Forêts
Canada); ST-X-5.

SD414.C32C3 1992 634.9'619'0971 C92-099522-5F

Remerciements

Le DNARPA a été imaginé et mis au point par le personnel de Forêts Canada de partout au pays, qui continue de voir à son fonctionnement. Cette collaboration s'étend à la réalisation du présent rapport, synthèse de plusieurs comptes rendus et analyses. Le Relevé des insectes et des maladies des arbres (RIMA) joue un rôle de premier plan dans la conduite du réseau, grâce à son personnel de terrain et de laboratoire, à ses analystes et à ses gestionnaires. Le DNARPA fait partie du Programme de transport à distance des polluants atmosphériques de Forêts Canada, et le programme « Partenaires pour le développement durable des forêts » du même ministère lui sert de maillon avec le Plan vert du Canada.

Résumé

Le Dispositif national d'alerte rapide pour les pluies acides (DNARPA) de Forêts Canada, dont l'objet est de déceler les premiers signes de dégâts causés aux forêts du Canada, existe depuis 1984. En effet, le DNARPA est un programme de surveillance biologique à long de terme de l'évolution de la végétation et des sols forestiers. Le personnel du Relevé des insectes et des maladies des arbres (RIMA) de Forêts Canada établit et évalue les parcelles qui font partie du dispositif. Le rôle du RIMA est d'identifier tous les types et tous les degrés de dégâts causés à la forêt, en distinguant ceux qui sont attribués à des causes naturelles, telles que les insectes, les maladies, les conditions météorologiques, et ceux qui sont attribuables à des causes anthropiques, telles que les pratiques d'aménagement et la pollution atmosphérique.

Dans le présent compte rendu, nous décrivons l'état de santé de 18 conifères et de 9 feuillus de partout au Canada, y compris de régions que l'on sait exposées aux plus fortes concentrations de pollution atmosphérique au Canada. On n'a trouvé aucun signe de déclin généralisé de l'état de santé de nos forêts et peu de symptômes attribuables à la pollution. Quand ces derniers ont été observés, ils ont pu habituellement être attribués à des facteurs naturels. Fait exception la région de la baie de Fundy, au Nouveau-Brunswick, où on étudie les effets possibles du brouillard acide et de l'ozone sur le bouleau.

Introduction

Les forêts du Canada constituent une ressource socio-économique précieuse, dont la durabilité est in-

dispensable à notre mieux-être. En 1984, les inquiétudes pour l'état de santé des forêts, face aux changements écologiques, ont amené Forêts Canada (alors le Service canadien des forêts) à créer le Dispositif national d'alerte rapide pour les pluies acides (DNARPA). Ce réseau national de biosurveillance visait à déceler les premiers signes des effets des pluies acides sur les forêts du Canada, afin de déclencher les mesures de prévention des dégâts prévus (Magasi, 1988; Hall et Addison, 1991). Dans ce contexte, l'expression « pluies acides » désigne toutes les formes de pollution atmosphérique — le dépôt humide et sec de sulfates [SO₄], de nitrates [NO₃], les polluants gazeux [O₃] et les particules atmosphériques.

Le DNARPA mesure un ensemble commun de paramètres dans des parcelles permanentes créées par le Relevé des insectes et des maladies des arbres [RIMA] de Forêts Canada afin d'évaluer la santé des forêts. Les données ainsi collectées sont étoffées par les résultats d'autres relevés et enquêtes du RIMA et de ses collaborateurs. La stratégie que s'est donnée le programme DNARPA est de déceler les premiers signes de dégâts qui peuvent avoir été causés aux arbres et aux sols forestiers par les pluies acides, en distinguant les dommages attribuables aux causes naturelles et les dommages causés par les pratiques d'aménagement. Elle est aussi de surveiller la lente évolution de la végétation et les sols, qui serait attribuable aux dépôts acides et aux autres polluants. Parce que les symptômes imputables à la pollution atmosphérique ne sont pas très spécifiques, on les confond souvent avec ceux qui sont dus à d'autres agents. L'expérience des techniciens de terrain du RIMA, formés à distinguer ces symptômes de ceux des conditions climatiques anormales, des carences en éléments nutritifs et des dégâts des insectes et des maladies, est cruciale pour la discrimination des effets de la pollution atmosphérique.

Dans l'ensemble du Canada, on a établi des parcelles qui sont représentatives des écosystèmes forestiers, en insistant sur les essences ligneuses d'importance commerciale ainsi que sur les régions que l'on sait recevoir des dépôts acides (Magasi, 1988). Le DNARPA visait à évaluer tous les types de forêts, bien que, pour le moment, malgré leur grande notoriété ou le grand intérêt que le public manifeste à leur égard, les essences disséminées y soient mal représentées, par exemple le chêne (*Quercus*), l'orme (*Ulmus*), le caryer (*Carya*) ou le noyer (*Juglans*). Parmi les autres types forestiers sous-représentés, mentionnons les feuillus nordiques et quelques types du sud de la Colombie-Britannique. Pour compléter le réseau, on prévoit d'ajouter des parcelles en 1992 et en 1993.

Dans le premier rapport annuel sur le DNARPA, qui fait partie d'une série projetée par Hall (1991), la conclusion était qu'il n'existait aucun signe de déclin généralisé de la santé des forêts du Canada, même s'il était possible que des arbres aient été affaiblis ou traumatisés par la pollution atmosphérique sans que ce traumatisme ne soit visible. La pollution atmosphérique exerce des effets subtils sur la physiologie des arbres ou sur la chimie des sols. Les symptômes peuvent être masqués par les effets des conditions naturelles. Beaucoup d'arbres évalués dans le DNARPA ont été traumatisés par les conditions météorologiques, les maladies et les insectes ainsi que par d'autres agents ordinaires des écosystèmes forestiers (*ibid.*).

Fraser (1989) a laissé entendre que, même si l'intensité de la pollution au Canada est faible et que peu d'effets ont été observés, il était possible que la pollution actuelle provoque un ralentissement de la croissance des arbres. Berrang et collaborateurs (1991) ont prétendu que le ralentissement de la croissance de certaines essences combiné à la concurrence naturelle pouvait modifier la composition en espèces ou la structure génétique de la forêt. La grande variabilité génétique des arbres a permis à ces derniers de survivre pendant des millions d'années (Gregorius, 1989) et de dominer beaucoup d'écosystèmes terrestres tout en tolérant une large gamme de traumatismes (Bormann, 1985). Arrivé à maturité, l'écosystème forestier se maintient dans un équilibre oscillant, sous l'effet des pressions de la concurrence pour l'espace, la lumière, l'eau et les éléments nutritifs ainsi que sous l'effet des traumatismes périodiques dus à la sécheresse, aux incendies, aux inondations et aux parasites (Garner et collab., 1989). Si l'on excepte certaines catastrophes, l'effet des traumatismes naturels est difficile à déterminer (*ibid.*). En raison des traumatismes qu'il subit, chaque arbre devient vulnérable aux insectes et aux maladies qui l'attaquent et peuvent le tuer (Auclair, 1987). Habituellement, toutefois, les écosystèmes forestiers ne subissent pas de dommages permanents et reviennent à un état qui ressemble à celui d'origine. Ordinairement, c'est l'interaction de plusieurs facteurs abiotiques et biotiques qui privent la forêt de sa santé, plutôt qu'un seul facteur (Manion, 1981). C'est dans ce contexte que les données collectées par le DNARPA sont interprétées.

Le rapport annuel 1990 du DNARPA sur l'état de santé des forêts au Canada (Hall, 1991) a montré que la mortalité se trouvait généralement dans l'intervalle normal de 1 à 2 % et qu'elle était attribuable à des facteurs naturels. La description détaillée de 25 des principales essences canadiennes a montré que presque tous les dégâts étaient attribuables à des

traumatismes identifiables. Un système d'alerte rapide, visant à détecter et à surveiller les symptômes, reste un élément essentiel de notre engagement à maintenir la durabilité des forêts du Canada. Le présent rapport, synthèse des résultats des mesures effectuées en 1991, est le deuxième d'une série de rapports annuels sur l'état de santé des forêts du Canada.

♦ Sécheresse ♦

La sécheresse est une période de temps sec durant laquelle la pluie ne suffit pas à satisfaire aux besoins des arbres. Ces derniers sont adaptés à une large gamme de conditions, mais ils sont traumatisés par les conditions climatiques extrêmes et, selon la gravité de ces dernières et leur coïncidence avec d'autres types de traumatismes, ils peuvent subir des dommages.

La sécheresse physiologique survient lorsque les sols ne peuvent pas fournir suffisamment d'eau aux végétaux. Cela se produit lorsque l'eau du sol renferme trop de sels ou de solutés ou lorsque le sol est gelé. Dans ce dernier cas, on désigne habituellement les symptômes par l'expression « dessiccation hivernale »; elle est causée par la transpiration des arbres et le non-rempacement de l'eau ainsi perdue. Les dommages se manifestent comme suit : mort des ramilles, des branches ou de l'arbre entier, lésions graves aux bourgeons et diminution de la biomasse foliaire au cours de la saison de végétation suivante. Les dégâts peuvent être causés par la pénétration du gel en profondeur, dans le sol, du fait de l'absence d'une couche isolante de neige.

Chez les feuillus, la sécheresse estivale cause le flétrissement, le jaunissement (chlorose), le brunissement et la mort des tissus (nécrose). Chez les conifères, on assiste à la chute prématuée des aiguilles. Les arbres traumatisés subissent une altération physiologique qui les rend vulnérables aux autres atteintes que sont par exemple les déprédatrices des insectes ou la maladie. La pollution atmosphérique est une cause supplémentaire de traumatisme qui peut diminuer la santé d'arbres déjà traumatisés.

Dans les régions montagneuses, notamment sur les pentes orientales des Rocheuses, le chinook provoque des variations rapides et extrêmes de la température, qui passe de moins de 0°C à 20°C, d'où l'apparition de ces zones de conifères dont les aiguilles sont devenues « brun rougeâtre ».

Les sols de certaines régions sont particulièrement vulnérables à la sécheresse, de sorte qu'il est difficile de généraliser les effets de cette dernière sur

les forêts. Même dans un peuplement, les effets sont habituellement non uniformes en raison de la variabilité naturelle des sols et de la topographie, qui fait que les arbres sont soumis à divers degrés de traumatismes. Les variations inhérentes de la physiologie individuelle des arbres peuvent également faire réagir ces derniers différemment.

Les observations faites jusqu'en 1990 portent à croire que la santé des arbres dans le centre et l'est de l'Ontario s'est dégradée à cause d'une longue période de sécheresse, de 1987 à 1989. Le peuplier, le bouleau à papier, le chêne rouge, l'érytre à sucre et l'érytre rouge ont été plus ou moins touchés. On a alors observé la raréfaction du feuillage, ainsi que la mort de rameaux et de branches, facteurs qui ont tous contribué à un déclin général, des plus évidents chez le bouleau à papier. La sécheresse a également contribué directement à la mort de plusieurs peupliers. En Colombie-Britannique, elle peut s'être ajoutée aux autres traumatismes (par exemple la situation de dominé, le manque de lumière, l'attaque des scolytes), qui ont contribué à la mortalité naturelle du douglas taxifolié, du sapin gracieux et de la pruche occidentale.

♦ Ozone ♦

L'ozone (O_3) est un gaz que l'on trouve partout dans l'atmosphère, où il est produit naturellement par l'action de la lumière solaire sur l'oxygène, dans la haute atmosphère, et par les décharges d'électricité qui accompagnent les orages. La destruction de la couche d'ozone dans la haute atmosphère (trous dans la couche d'ozone) a beaucoup fait parler d'elle dernièrement, mais, près de la surface de la terre, nous affrontons un problème différent. Ici, à l'ozone d'origine naturelle s'ajoute l'ozone anthropique, qui provient de la réaction de précurseurs tels que les oxydes d'azote. Leur réaction est catalysée par un certain nombre de composés organiques volatils, produits de l'activité humaine. Certains composés volatils sont produits par la forêt elle-même. Ces sources biologiques sont difficiles à quantifier, et leur rôle dans la charge de pollution est mal connu. L'effet phytotoxique du O_3 peut, en lui-même, causer un traumatisme qui augmente les émissions de composés organiques volatils par la forêt.

L'ozone est un polluant atmosphérique répandu en Amérique du Nord et c'est le polluant gazeux le plus nuisible aux forêts (Garner et collab., 1989). Le gaz peut se retrouver en fortes concentrations loin de ses sources d'émission; ces fortes concentrations peuvent causer des lésions chez de nombreuses espèces végétales et retarder leur croissance. Par exemple, les dégâts dus à l'ozone dans le nord des

États-Unis sont inquiétants pour la productivité du peuplier et du pin blanc ainsi que pour leur diversité génétique (Berrang et collab., 1991; Berry, 1973).

Malhotra et Blauel (1980) ainsi que, aux États-Unis, le *Forest Response Program* du *National Acid Precipitation Assessment Program* (NAPAP, non daté), pour ne nommer que ces sources, ont fait un survol des symptômes attribuables à l'ozone. Les symptômes visibles de l'exposition à l'ozone sont soit aigus, soit chroniques. Les dommages aigus comprennent la mort des cellules, qui survient en quelques heures à quelques jours après l'exposition, habituellement à de fortes concentrations. Elle s'exprime par des granulations (pigmentation), des mouchetures, un blanchiment, une nécrose sur les deux côtés des feuilles (lorsque les tissus entre les deux surfaces de la feuille sont tués). Les blessures chroniques se manifestent en réaction à l'exposition à des concentrations faibles mais durables et elles se manifestent en quelques jours ou quelques semaines : chlorose, granulations, sénescence pré-maturée et nécrose. L'intensité des lésions est déterminée à la fois par la durée de l'exposition et par la sommation à long terme des épisodes d'exposition. Les conditions du milieu, les conditions physiologiques, la tolérance génétique peuvent également influer sur l'intensité des dégâts subis par les arbres.

Il est difficile de distinguer les dégâts causés par l'ozone de la sénescence, des désordres nutritifs, d'autres traumatismes de l'environnement ainsi que des dégâts causés par les pathogènes ou les insectes. L'analyse chimique ou l'examen microscopique des tissus peuvent aider à déterminer les causes, mais nous ne savons pas si l'ozone est à l'origine de ces symptômes dans la forêt.

Sur les aiguilles des conifères, les symptômes sont habituellement l'apparition d'une marbrure chlorotique et le brunissement de l'extrémité des aiguilles. Le premier phénomène est habituellement provoqué par l'exposition à de faibles concentrations d' O_3 , tandis que le second est déclenché, chez les jeunes aiguilles, par de fortes concentrations d' O_3 . La marbrure chlorotique se manifeste par de petites plages de tissu jaune entourées de tissu apparemment sain. La nécrose se manifeste par le dépérissement des extrémités de l'aiguille ou par l'apparition de bandes nécrotiques, dans le tissu foliaire encore jeune, durant le développement de la feuille. Les extrémités des autres aiguilles peuvent subir le même sort, ce qui agrandit les zones de feuillage brun rougeâtre. La brûlure de l'extrémité des aiguilles les touche habituellement et également toutes les aiguilles du même fascicule, notamment chez le pin blanc. Les jeunes aiguilles en pleine croissance qui sont directement exposées à la lumière du soleil sont les plus vulnérables. Les symptômes peuvent

varier largement d'un arbre à l'autre de la même espèce.

Les symptômes chez les feuillus prennent principalement la forme de granulations. La face supérieure des feuilles peut prendre une teinte brun jaunâtre pâle, rouge, brune, violette ou noire, sur l'ensemble ou sur une partie du limbe. Les granulations sont souvent plus intenses sur les feuilles directement exposées à la lumière, mais, en l'absence d'autres causes de traumatisme, elles peuvent s'atténuer et devenir difficiles à distinguer une à quatre semaines après l'exposition.

Les feuilles les plus jeunes sont habituellement les plus vulnérables, et les symptômes tendent à se manifester à leur extrémité, tandis que sur les vieilles feuilles, les symptômes frappent surtout la base du limbe, même si la surface entière des vieilles feuilles peut être marquée lorsque ces dernières sont exposées périodiquement à l'ozone durant la croissance.

La chlorose, perte de la chlorophylle, peut se manifester en plages distinctes, appelées marbrures, ou sous des formes qui ressemblent à des granulations, appelées mouchetures. Les mouchetures se caractérisent par de petites plages discontinues de cellules mortes et elles mènent à la formation de lésions irrégulières. Celles-ci peuvent être décolorées ou avoir la même couleur que les granulations et être légèrement déprimées. L'exposition prolongée à de faibles concentrations peut provoquer la confluence des tissus chlorotiques, qui prennent un aspect bronzé. La chute prématuée des aiguilles peut suivre.

Dans les Maritimes, on a signalé des mouchetures sur les jeunes aiguilles des pins blancs en 1990 (Hall, 1991), tandis que les symptômes frappant le bouleau de la région de la baie de Fundy, surtout au début des années 80, ont été décrits (Magasi, 1989 et 1992). Le dépérissement des rameaux et des branches a été considérable, et les défoliations répétées ont provoqué une certaine mortalité. Le brouillard acide a été incriminé, et on pense que l'ozone serait indirectement en cause. Dans la région de l'Ontario, on a observé en 1988 des mouchetures et la nécrose de la bordure des feuilles du bouleau à papier, et, dans la région du Pacifique, des mouchetures sur les aiguilles de l'épinette blanche et de l'épinette d'Engelmann; toutefois, le phénomène a été attribué à la neige et à la réflexion des rayons du soleil.

Méthodes

Le DNARPA est constitué de 103 parcelles permanentes situées dans les 10 provinces (figure 1). Les méthodes d'établissement et d'évaluation des

parcelles sont données par Magasi (1988), tandis que D'Eon et Power (1989) en décrivent les caractéristiques.

Les paramètres mesurés chaque année, à intervalle de cinq ans ou, au besoin, à des intervalles plus courts, sont les suivants :

- A. Évaluations annuelles
 - 1. Mortalité des arbres
 - 2. État des arbres
 - 3. Symptômes imputables aux pluies acides
- B. Évaluations à tous les cinq ans
 - 1. Accroissement radial
 - 2. Accroissement vertical
 - 3. Structure et densité de la cime
 - 4. Éléments nutritifs du feuillage
 - 5. Chimie du sol
- C. Évaluations une ou plusieurs fois au cours de la saison de végétation
 - 1. Symptômes imputables aux pluies acides
 - 2. Attaques des insectes et des maladies
 - 3. Production de graines (facultatif)

Sur les parcelles, on ne fait que des évaluations visuelles. Les prélèvements et les mesures détaillées qui exigent le prélèvement à la main d'échantillons de branches se font sur des arbres à l'extérieur des parcelles, pour que les sujets à l'intérieur de la parcelle soient épargnés. Les mesures signalées dans le présent document se rapportent à la mortalité des arbres, à leur état ainsi qu'aux types et aux degrés de dommages foliaires, y compris tout symptôme de pollution atmosphérique. Les symptômes que l'on pouvait attribuer à la pollution atmosphérique ont été comparés aux symptômes qui sont attribuables avec certitude à la toxicité des émissions sur la végétation, tels qu'ils ont été présentés par Malhotra et Blaauw (1980) et le NAPAP [sans date].

L'état de santé de la cime des conifères est évalué par le pourcentage de feuillage manquant, quelle qu'en soit la cause, par rapport au feuillage « normal » de l'arbre. On tient compte de la perte naturelle des aiguilles à mesure que les rameaux vieillissent. La conservation des aiguilles par les conifères est mesurée en pourcentage du feuillage complet dans chaque classe d'âge (entre-noeud de la rameau) représentée sur la branche. Le classement de l'état de la cime chez les feuillus tient compte de la perte du feuillage, mais aussi de la proportion de rameaux et de branches mortes dans la cime.

Classification de l'état des conifères :

01 = Arbre sain, non défolié

02 = Arbre sain, n'ayant perdu que des feuilles de l'année

03 = Arbre dont les feuilles de l'année et certaines feuilles plus anciennes ont été ravagées; dans l'ensemble, la défoliation est inférieure à 25 %

04 = Défoliation totale de 26 à 50 %

05 = Défoliation totale de 51 à 75 %

06 = Défoliation totale de 76 à 90 %

07 = Plus de 90 % de défoliation totale

Classification de l'état des feuillus :

01 = Arbre sain, normal

02 = Feuillage clairsemé, à la couleur altérée, notamment dans le haut de la cime, mais pas de ramilles ni de branches dénudées.

03 = Arbre comportant des ramilles mortes mais pas de branches mortes. Les ramilles mortes se trouvent à l'extrémité des branches, habituellement dans le haut de la cime à environ 0,5 à 1,0 m de la périphérie de cette dernière; dans cette catégorie et les catégories ci-dessous, le feuillage est habituellement affaibli, mais pas nécessairement.

04 = Présence de branches mortes dans jusqu'à 25 % de la cime

05 = Présence de branches mortes dans jusqu'à 50 % de la cime

06 = Plus de 50 % de la cime est morte, mais des branches vivantes persistent.

07 = Plus de la moitié de la cime est morte. Aucune branche vivante sauf de petites branches adventives, habituellement à la base de la cime ou sur la tige.

La plupart des parcelles du DNARPA sont situées dans des forêts naturelles, qui ont franchi la moitié de leur existence, où le nombre d'arbres devrait normalement diminuer du fait de la concurrence qui s'exerce à mesure que le peuplement vieillit. Une mortalité supérieure à 2 % traduit souvent les effets de traumatismes (tels une forte défoliation due aux insectes et les conséquences de catastrophes naturelles), outre ceux qui sont attribuables à la croissance normale du peuplement. La distribution de la fréquence des arbres selon l'état des cimes montre ordinairement la réduction du nombre d'arbres dans les catégories en bonne santé et l'accroissement du nombre d'arbres morts, victimes de la concurrence.

Les insectes et les maladies sont identifiés, et leurs déprédatations relatives sont déterminées à partir d'échantillons prélevés près de la parcelle. Toutefois, l'observation de l'état des arbres porte sur les sujets qui se trouvent dans la parcelle. Toutes les fois que c'est possible, on fait coïncider les observations avec les stades évolutifs des différents groupes d'organismes.

Dans le présent rapport, nous décrivons les observations faites sur 18 conifères (pin blanc, pin

gris, pin tordu, pin rouge, mélèze laricin, épinette noire, épinette d'Engelmann, épinette de Norvège, épinette rouge, épinette hybride, épinette de Sitka, épinette blanche, pruche occidentale, douglas taxifolié, sapin subalpin, sapin gracieux, sapin baumier, thuya occidentale) et 9 feuillus (peuplier à grandes dents, peuplier faux-tremble, bouleau à papier, bouleau jaune, hêtre à grandes feuilles, chêne rouge, cerisier tardif, érable rouge, érable à sucre). Les essences décrites sont représentées par au moins 10 arbres dans la région.

Bilan de santé des forêts du Canada

Le rapport décrit la santé de chaque essence, et précise pour chacune la mortalité, l'état des arbres et les causes des symptômes. On relève les dégâts qui, sur le feuillage, sont symptomatiques de la pollution atmosphérique ou qui pourraient lui être imputés. Comme prévu, on a observé une large gamme de conditions d'une parcelle à l'autre et d'une région à l'autre, à cause des conditions naturelles variables. Il s'ensuit qu'une comparaison rigoureuse de l'état des arbres entre les parcelles ne convient pas toujours. C'est plutôt la tendance à l'intérieur d'une parcelle, les comparaisons intrarégionales et l'état général de santé qui sont les plus susceptibles de donner un bon aperçu de l'état de santé des forêts.

Pin blanc (*Pinus strobus* L.)

Le pin blanc est bien représenté dans une parcelle de la Nouvelle-Écosse, une du Québec et deux de l'Ontario. En Nouvelle-Écosse, la mortalité annuelle moyenne, depuis 1985, est de 1,1 %. Elle a été nulle en 1991, tant au Québec qu'en Ontario. Depuis 1989, l'état des arbres s'est graduellement amélioré sur la parcelle néo-écossaise, de sorte que près de 90 % des arbres se trouvent dans les trois classes supérieures. Au Québec, tous les arbres ont été cotés 04, conséquence, peut-être, de la perte normale des aiguilles des entre-noeuds de trois ans. En tout état de cause, les arbres semblent en bonne santé. En Ontario, 59 % des arbres en moyenne se répartissent entre les trois classes supérieures, et la plus grande partie du reste dans la classe 04. Comme presque tous les arbres de la classe 04 se trouvent sur la même parcelle, il est vraisemblable qu'un phénomène inconnu unique, qui s'est manifesté avant l'établissement de la parcelle, soit à l'origine de cet état. Sur la deuxième parcelle, plus de 80 % des arbres sont en bon état (figures 2a et 2b). La situation est la même depuis 1990. Sur la parcelle néo-écossaise, on a observé des traces à un peu de

mouchetures des aiguilles. Les causes en sont inconnues. Aucun symptôme n'est signalé en Ontario. En Nouvelle-Écosse, pour la troisième année consécutive, les pousses de deux ans conservent davantage leurs aiguilles.

Pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.)

Le pin gris est bien représenté dans une parcelle du Nouveau-Brunswick, dans sept de l'Ontario, dans trois du Manitoba et dans une de la Saskatchewan. Au Nouveau-Brunswick, l'état des arbres continue de subir les séquelles des gros dégâts causés il y a plusieurs années par les tempêtes hivernales. Quatre autres arbres codominants ou intermédiaires sont morts. Trois d'entre eux avaient subi également des dégâts chroniques attribuables au nodulier du pin gris (*Petrova albicapitana* Bsk. et à la rouille vésiculeuse (*Endocronartium harknessii* [J.P. Moore] Y. Hiratsuka), respectivement un insecte et une maladie répandus dans toute la parcelle. Un longicorné (*Monochamus* sp.) a été incriminé pour la mort de deux des arbres. La mortalité annuelle moyenne depuis 1985 est de 2,6 %, la plus forte dans toutes les parcelles des Maritimes. En Ontario, six arbres sont morts, deux dans chacune des trois parcelles. Toutefois, cinq de ces arbres étaient des arbres intermédiaires ou dominés. Au Manitoba et en Saskatchewan, le taux moyen de mortalité a été de 4,1 % en 1991, c'est-à-dire un peu plus qu'en 1990, du fait du pourridié-agaric (*Armillaria*). Environ 60 % des arbres du Nouveau-Brunswick restent dans la classe 03 (en assez bonne santé); toutefois, les arbres restants de la classe 04 et suivantes périclitent. En Ontario, l'état des cimes demeure en santé, 80 % des arbres ne présentant aucun signe de défoliation ou de dépérissement (figure 3a). L'état des cimes au Manitoba et en Saskatchewan s'est amélioré en 1991 (figure 3b). On a observé, sur quelques arbres du Nouveau-Brunswick, des traces de mouchetures des aiguilles. Dans cette province, le degré de conservation des aiguilles de toutes les classes d'âge, mais notamment de deux et de trois ans, a diminué. Pour la première fois depuis 1989, il ne subsiste plus d'aiguilles de quatre ans. Le pourcentage d'aiguilles conservé en 1991 est le plus bas depuis 1987.

Pin tordu (*Pinus contorta* Dougl.)

Le pin tordu est bien représenté dans trois parcelles de l'Alberta et une de la Colombie-Britannique. Il se trouve en nombre plus modeste sur une deuxième parcelle de cette dernière province. En Alberta, la mortalité est restée à 4,9 % en 1990 et en

1991. On n'a observé aucun problème de parasitisme, ce qui fait que la mortalité semble imputable à la concurrence, durant la croissance du peuplement. Le gain de la classe 03 aux dépens de la classe 01 (figure 4) peut être dû au chancre atropellienn. Tous les arbres de la Colombie-Britannique ont été classés en bon état, et aucune altération de la couleur des feuilles n'a été observée. En Alberta, le rouge à *Lophodermella* a fait tomber des aiguilles.

Pin rouge (*Pinus resinosa* Ait.)

Le pin rouge est bien représenté dans une parcelle du Québec. On n'y a pas observé de mortalité depuis la création de la parcelle, en 1985. Toutefois, depuis 1987, alors que 73 % des arbres étaient dans la classe 03, on observe un déclin, puisque, en 1991, 93 % des arbres étaient dans la classe 04. La sécheresse, la faible profondeur des sols, l'âge des arbres (moyenne de 110 ans), les insectes, les acariens et les maladies sont des causes probables du phénomène. Une enquête spéciale sera entreprise pour identifier les causes.

Mélèze laricin (*Larix laricina* [Du Roi] K.Koch)

Le mélèze laricin est bien représenté dans une parcelle du Nouveau-Brunswick. Au cours des sept dernières années, le taux moyen de mortalité a été de 0,6 %; il a été nul en 1991. Tous les arbres sont infectés par le chancre du mélèze d'Europe (*Lachnellula willkommii* [Hartigl] Dennis), qui mine graduellement l'état des arbres, de sorte que seulement 45 % sont touchés à moins de 25 %. La mortalité des branches s'observe sur 60 % des arbres et celle des ramilles sur les 40 % restants.

Épinette noire (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.)

L'épinette noire est bien représentée dans trois parcelles de Terre-Neuve, deux du Nouveau-Brunswick, trois du Québec, quatre de l'Ontario et une du Manitoba. À Terre-Neuve, un seul arbre est mort. Au Nouveau-Brunswick, un arbre dominé est mort, et le taux annuel moyen de mortalité depuis 1985 se situe autour de 2,0 %. Au Québec, en raison de la mort de deux arbres, sur la même parcelle, le taux de mortalité pour 1991 s'établit à 1,0 %. En Ontario, trois arbres dominés ou renversés par le vent sont morts. Au Manitoba, le taux de mortalité de 1990 à 1991 a été de 3,8 % en moyenne.

En 1991, 80 % des épinettes noires de Terre-Neuve se trouvaient dans la classe 01, pourcentage qui est resté presque le même depuis 1989 (figure 5a). Dans la parcelle du sud-ouest du Nouveau-Brunswick, l'état des arbres s'est notablement

amélioré, la proportion d'arbres de la classe 03 étant passée de 53 à 16 % (figure 5b). Dans la parcelle du centre-sud de la même province, où presque 30 % des arbres sont morts au cours des dernières années, les survivants se trouvent dans les classes 03 et 04 et ils continuent de décliner graduellement (figure 5c). L'état des arbres s'est relativement stabilisé sur deux des parcelles du Québec, la majorité des arbres d'une des parcelles étant de classe 03 et l'autre de classe 04. Dans la troisième parcelle, beaucoup d'arbres sont passés de la classe 03 (62 % en 1987) à la 04 (52 % en 1991). Une amélioration générale de la cime a été observée en Ontario, 85 % des arbres étant dans les classes 01 ou 02, soit 29 % de plus qu'en 1990 (figure 5d). Au Manitoba, toutes les épinettes noires vivantes se trouvaient dans la classe 01 (figure 5e).

Aucun dégât foliaire n'a été observé à Terre-Neuve. Au Nouveau-Brunswick, on a observé des traces de mouchetures sur les vieilles aiguilles de deux parcelles ainsi que des traces de déprédatations d'insectes. Le taux de conservation des aiguilles était normal et complet chez tous les arbres de Terre-Neuve. Dans les Maritimes, le taux de conservation des aiguilles atteignait presque 90 % dans les quatre plus jeunes classes d'âge, même si la rétention sur les entre-noeuds plus âgés était moindre.

Épinette d'Engelmann (*Picea engelmannii* Parry)

L'épinette d'Engelmann n'est bien représentée que dans une parcelle de la Colombie-Britannique. Sauf une seule exception, tous les arbres restent sains. Tout comme en 1990, on a décelé des dégâts minimes à légers de mouchetures hivernales, altération de la couleur causée par la réflexion des rayons du soleil par la neige.

Épinette de Norvège (*Picea abies* [L.] Karst.)

L'épinette de Norvège est bien représentée uniquement sur une parcelle de l'Ontario. Tous les arbres sont sains, plus de 90 % étant rangés dans la classe 01.

Épinette rouge (*Picea rubens* Sarg.)

L'épinette rouge est bien représentée sur trois parcelles du Nouveau-Brunswick, deux de la Nouvelle-Écosse et quatre du Québec. En Nouvelle-Écosse, un sujet codominant, qui avait été infesté de façon chronique par le puceron à galle allongée de l'épinette (*Pineus similis* [Gill.]), est mort en 1991.

La mortalité annuelle moyenne dans toutes les parcelles des Maritimes s'élève, depuis 1985, à 0,7 %. Dans les parcelles du Québec, cinq arbres sont morts, ce qui se traduit par une mortalité moyenne de 3,0 %. Le déclin graduel des arbres, constaté dans les parcelles des Maritimes depuis 1987, s'est poursuivi, environ 4 % des arbres passant de la classe 03 à la classe 04 (figure 6). Dans deux parcelles du sud du Québec, 50 et 59 % des arbres se trouvaient dans la classe 03, tandis que 47 et 60 % des arbres de deux parcelles de l'ouest de la province se trouvaient dans la classe 04. La tordeuse des bourgeons de l'épinette a provoqué une légère défoliation dans le nord du Nouveau-Brunswick; sur le littoral de la baie de Fundy, le puceron des pousses se trouvait à l'état de traces, tandis que les acariens ont provoqué des traces de mouchetures sur les aiguilles des arbres du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse. Dans la plupart des parcelles, on a constaté des traces de vieux feuillage chlorotique. Les taux de conservation des aiguilles reflétaient les déprédatations de la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

Hybride de l'épinette rouge et de l'épinette noire

Ces hybrides se trouvent sur une parcelle de l'Île-du-Prince-Édouard et une autre du Nouveau-Brunswick. Dans aucun des cas, on n'a observé de mortalité; en conséquence, la mortalité annuelle moyenne depuis 1985 est descendue à 1,2 %. L'état des cimes est resté relativement stable, près de 70 % des arbres se trouvant au moins dans la classe 03, même si, dans l'Île-du-Prince-Édouard, la situation n'était pas aussi bonne qu'au Nouveau-Brunswick. Chez environ 25 % des arbres, on a observé du vieux feuillage chlorotique, et près de 30 % avaient souffert des violences du vent. On a observé des mouchetures sur les aiguilles de certains arbres de l'Île-du-Prince-Édouard.

Épinette de Sitka (*Picea sitchensis* [Bong.] Carr.)

L'épinette de Sitka est une essence mineure de plusieurs parcelles de la Colombie-Britannique. Tous les arbres sont sains, et on n'a observé aucune altération de la couleur du feuillage.

Épinette blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss)

L'épinette blanche est bien représentée dans une parcelle de Terre-Neuve, deux de la Nouvelle-Écosse,

une du Nouveau-Brunswick, trois de l'Ontario, deux de la Saskatchewan, deux de l'Alberta et deux de la Colombie-Britannique. L'essence est représentée en moins grand nombre dans beaucoup de parcelles de toutes les provinces. Sa vaste aire de distribution autorise parfaitement les comparaisons à l'échelle nationale.

À Terre-Neuve, la mortalité des arbres est restée inférieure à 1 %, et un seul arbre était moribond en 1991. On ne déplore aucune mortalité dans les parcelles des Maritimes, la moyenne annuelle depuis 1985 se situant à 0,6 %. Un arbre est mort dans chacune de deux parcelles de l'Ontario, dont un brisé par le vent. Aucun arbre n'est mort en Saskatchewan ni en Alberta, tandis qu'en Colombie-Britannique, une épinette est morte, infectée par une carie brune cubique à *Polyporus*. Depuis 1985, la mortalité annuelle moyenne en Colombie-Britannique est de 1,5 %. Dans les Maritimes, l'état général des arbres est resté constant depuis 1990. En Ontario, le taux d'arbres sains (qui ne souffrent pas de déperissement) a augmenté de 12 % pour atteindre 33 % en 1991 (figure 7a). Les autres avaient leur vieux feuillage ravagé par la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Sur une parcelle, la tordeuse n'a pas causé de dégâts depuis 1987, et tous les arbres sont dans la classe 01. Presque tous les arbres des parcelles de la Saskatchewan et de l'Alberta ont été classés sains (figure 7b). Il en était de même de tous les arbres de la Colombie-Britannique (classe 01), chez qui aucune altération de la couleur des feuilles n'a été observée. Dans les Maritimes, on a trouvé certains dégâts minimes à légers, imputables aux insectes, aux maladies et aux facteurs abiotiques. Des moucheutes et la chlorose ont été observées sur le vieux feuillage de certaines parcelles, et on a trouvé quelques bourgeons tués par l'hiver.

Pruche occidentale (*Tsuga heterophylla* [Raf.] Sarg.)

La pruche occidentale est bien représentée dans huit parcelles de la Colombie-Britannique. Depuis l'orage dévastateur qui a renversé des arbres en 1990, on ne déplore pas de mortalité, et la moyenne annuelle de cette dernière, depuis 1985, est descendue à 1,4 %. La plupart des arbres sont en bonne santé, sauf 8 % d'entre eux, qui sont concentrés dans cinq parcelles et chez qui le taux de défoliation est inférieur à 25 %. La plupart de ces arbres sont des dominés ou des arbres intermédiaires, qui se trouvent dans l'ombre d'un étage dominant dense. Deux d'entre eux ont pâti du mauvais temps. Deux autres, défoliés à plus de 25 %, étaient des arbres dominés. La chlorose du vieux feuillage du bas de la cime est

observée depuis cinq ans. On l'attribue au manque de lumière et à la concurrence dans les peuplements au couvert fermé. En 1991, on a observé une altération minime à légère de la couleur du feuillage chez 29 % de tous les arbres de toutes les parcelles, bien que la plupart des arbres ainsi touchés aient été trouvés dans trois parcelles.

Douglas taxifolié (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco)

Le douglas taxifolié est bien représenté dans six parcelles de la Colombie-Britannique. Dans cinq d'entre elles, les arbres sont généralement sains et quelques-uns seulement sont morts, faute de lumière (cinq arbres dominés) et à cause du pourridié agaric (*Armillaria ostoyae* [Romagn.] Herink) (quatre arbres). Dans l'autre parcelle, près de Penticton, 45 % des arbres sont défeuillés à plus de 25 %, dont 3 % à plus de 90 %. La défoliation, qui, dans la province, s'étend sur 400 000 ha, a été causée par la tordeuse occidentale de l'épinette (*Choristoneura occidentalis* Free.). Certains des arbres les plus gravement touchés risquent de ne pas s'en remettre. Dans quatre autres parcelles, la défoliation a atteint 50 %, du fait du déperissement naturel d'arbres serrés du sous-étage de peuplements à couvert fermé. Un arbre a été endommagé par la tempête. La mortalité annuelle moyenne dans toutes les parcelles est de 2,0 %. Une altération minime à légère de la couleur du feuillage du bas de la cime, sous la forme d'une chlorose, a été observée sur trois arbres seulement d'une parcelle de la région côtière. Cette chlorose était probablement due au rouge à *Phaeocryptopus gaeumannii* (Rohde) Petr. et à un agent cryptogamique de la brûlure printanière, *Ceuthospora* sp.

Sapin subalpin (*Abies lasiocarpa* [Hook.] Nutt.)

Le sapin subalpin constitue une essence mineure de trois parcelles de la Colombie-Britannique. Tous les arbres sont sains, ne souffrant, pour la plupart, d'aucune altération de la couleur des feuilles, sauf deux arbres d'une parcelle légèrement atteints par une maladie des aiguilles causée par *Lirula abietis-concolor* (Mayr ex Dearn.) Darker et un champignon secondaire, *Stegopezizella balsameae* (Davis) Syd.

Sapin gracieux (*Abies amabilis* [Dougl.] Forbes)

Le sapin gracieux est bien représenté dans deux parcelles de la Colombie-Britannique. Quatre arbres intermédiaires sont morts du fait de la concurrence,

du manque de lumière et de l'attaque des scolytes (*Pseudohylesinus* sp. ou *Scolytus ventralis* LeConte); la mortalité annuelle moyenne depuis 1985 est de 0,8 %. La plupart des arbres sont en bonne santé; sept sont défoliés jusqu'à 50 % du fait de la perte naturelle des aiguilles du feuillage ou du dépérissement. La tempête a écimé un arbre. Une altération minime à légère de la couleur des feuilles, principalement du bas de la cime, dont le vieux feuillage vire au brun rougeâtre, a été observée chez 16 arbres de quatre parcelles. Le phénomène a été attribué au manque de lumière et à la concurrence sous un couvert fermé.

Sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.)

Le sapin baumier est bien représenté dans sept parcelles de Terre-Neuve, cinq de la Nouvelle-Écosse, trois du Nouveau-Brunswick, cinq du Québec et une de l'Ontario.

À Terre-Neuve, trois arbres seulement sont morts, ce qui maintient le taux de mortalité à moins de 1 %. En Nouvelle-Écosse, six arbres sont morts, et cinq au Nouveau-Brunswick, ce qui porte la mortalité annuelle moyenne dans les Maritimes depuis 1985 à 2,5 %. Pour plus de la moitié de la mortalité de l'année, il s'agissait d'arbres intermédiaires qui périssaient et qui, pour au moins quatre d'entre eux, étaient infestés par des scolytes. Dans une parcelle, trois arbres étaient cassés au ras du sol; l'un d'eux avait été un dominant en bonne santé. Sur quatre arbres codominants, deux ont succombé aux attaques des scolytes; les quatre avaient été défoliés de 26 à 50 % en 1990. Ces cas de mortalité sont survenus dans cinq parcelles, dont quatre avaient déjà été infestés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Au Québec, où deux arbres sont morts renversés par le vent, le taux de mortalité de 1991 était de 2,0 %. Aucune mortalité n'est à déplorer chez les arbres de l'Ontario.

L'état des arbres à Terre-Neuve est resté généralement bon, comme en 1990, 85 % de tous les baumiers étant de la classe 01, et 94 % se trouvant dans les trois premières classes (figure 8a). Dans les Maritimes, l'état des arbres a peu changé depuis 1990; Certains, déjà mal en point, sont morts, et quelques sujets de la classe 04 ont périclité davantage. Les arbres de la classe 03 et des classes supérieures sont restés stables (figure 8b). La plupart des arbres du Québec sont de la classe 03. En Ontario, la situation s'est dégradée, aucun arbre ne restant dans la classe 01 (figure 8c). Les arbres défoliés à plus de 25 % sont passés de 43 à 80 % en 1991. Ce recul a été attribué à la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

À Terre-Neuve, des dégâts minimes ont été causés aux feuilles par l'arpenteuse de la pruche. On a observé une défoliation légère à modérée, causée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette, dans trois parcelles du Nouveau-Brunswick; l'une de ces parcelles a également subi de légers dégâts du fait de l'arpenteuse de la pruche. Dans les cinq parcelles de la Nouvelle-Écosse, sur les aiguilles de 1989 ou plus vieilles, on a observé un degré variable de moucheteries. Chez les sapins de Terre-Neuve, la conservation des aiguilles est normale et complète. La présence de la tordeuse des bourgeons de l'épinette et de l'arpenteuse de la pruche a réduit le taux de conservation des aiguilles au Nouveau-Brunswick, mais, dans toutes les parcelles de la Nouvelle-Écosse, ce taux est normal et complet.

Thuya géant (*Thuja plicata* Donn)

Le thuya géant est bien représenté sur deux parcelles de la Colombie-Britannique. Un arbre qui vivait à l'ombre des autres est mort en 1991. Le taux annuel moyen de mortalité a été de 2,0 %. La plupart des arbres sont en bonne santé, sauf deux dont le feuillage s'éclaircit et un qui a été abîmé par la tempête. Aucune altération de la couleur des feuilles n'a été observée.

Peuplier à grandes dents (*Populus grandidentata* Michx.)

Le peuplier à grandes dents ne constitue qu'un élément mineur d'une parcelle de la Nouvelle-Écosse et de trois de l'Ontario. En Ontario, sur 12 arbres en tout, deux sujets dominés, qui ont également été traumatisés par la sécheresse et, peut-être, par le pourridié agaric, sont morts. La plupart des arbres en bonne santé ont vu leur état s'améliorer en 1991, 47 % ne présentant aucun signe de dépérissement (figure 9).

Peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.)

Le peuplier faux-tremble est bien représenté dans une parcelle de l'Île-du-Prince-Édouard, dans deux de l'Ontario, dans une du Manitoba et dans une de la Saskatchewan. En 1991, un seul arbre, endommagé par le vent, est mort. Dans l'Île-du-Prince-Édouard, l'état des arbres s'est dégradé depuis 1987, le dépérissement des rameaux étant évident, et 30 % des arbres étant classés comme ayant des branches mortes dans 0 à 25 % de la cime. On n'a observé que des traces de dégâts dus aux insectes ou

aux maladies. En Ontario, l'état des arbres s'est amélioré, 40 % des arbres appartenant aux classes supérieures, alors qu'ils n'étaient que 12 % en 1990 (figure 10a). L'amélioration a été maximale dans les localités où la défoliation par la livrée des forêts a été limitée à l'état de traces. Les arbres des deux parcelles ont été traumatisés par la sécheresse de 1987 à 1990. Chez les arbres du Manitoba et de la Saskatchewan, la mortalité a été considérable, atteignant en 1991 le taux cumulatif de 24,7 %. La plupart des survivants sont considérés comme en bonne santé et, en 1991, on a observé une amélioration de leur cime (figure 10b). Deux causes probables sont la défoliation causée par la tordeuse du tremble (*Choristoneura conflictana* [Wlk.]), et les gelées printanières tardives.

Bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.)

Le bouleau à papier est bien représenté dans une parcelle de la Nouvelle-Écosse, une du Nouveau-Brunswick, deux du Québec et quatre de l'Ontario. Au Nouveau-Brunswick, la mort de trois sujets a porté la mortalité annuelle moyenne depuis 1985 à 1,8 %. Tous ces arbres, sauf un, étaient codominants et tous avaient été traumatisés par le brunissement grave du feuillage avant 1986 (Magasi, 1989). Le pourridié-agaric a tué un arbre. Aucun bouleau à papier n'est mort au Québec. En Ontario, quatre arbres de deux parcelles ont été tués par le pourridié-agaric.

Dans le sud du Nouveau-Brunswick, les arbres avaient été gravement traumatisés avant 1986, à cause du brunissement répété du jeune feuillage. Ce phénomène était répandu le long du littoral de la baie de Fundy. Depuis, la situation s'est graduellement améliorée, le nombre de survivants frappés uniquement par le dépérissement des rameaux augmentant depuis 1989. Les arbres souffrant du dépérissement des branches ont soit repris du mieux, en passant dans la classe 03 ou les classes supérieures, soit décliné jusqu'à la mort. Sur la parcelle néo-écossaise, plus de 60 % des arbres ne souffraient que du dépérissement des rameaux, et aucun n'était plus gravement touché que par le dépérissement minime des branches. Un suivi annuel distinct de 11 placettes permanentes, instituées pour contrôler l'évolution de l'état des arbres, a permis de brosser un tableau plus détaillé de la situation autour de la baie de Fundy : après la dernière manifestation grave de brunissement, en 1986, l'état des arbres a continué de se dégrader pendant encore deux ans, de sorte qu'il ne subsistait aucun arbre en bonne santé. Les premiers signes d'amélioration ont été observés en 1989 et, avant 1991, 20 % des arbres étaient de nouveau en bonne santé. En 1991, le

nombre de ces derniers a dépassé, pour la première fois depuis 1985, le nombre d'arbres affligés du dépérissement des branches (figure 11). Au Québec, 70 % des arbres souffrent du dépérissement de certaines branches (classe 04), soit le même taux que les années passées. En Ontario, on a observé une légère augmentation du dépérissement des cimes, conformément à une tendance qui s'est manifestée depuis 1987 (figure 12). La sécheresse, les insectes xylophages, le pourridié-agaric, les pourridés à *Phellinus* ainsi que les tempêtes ont tous contribué à dégrader l'état de santé du bouleau à papier. Dans les Maritimes, les feuilles étaient moins endommagées en 1991 qu'en 1990. L'arpenteuse de la pruche (*Lambdina fiscellaria* [Gn.]), le géomètre noir du bouleau (*Rheumaptera hastata* [L.]), divers autres insectes ainsi que la tache septoriennne des feuilles ont causé des dégâts minimes à légers. On a aussi observé des traces de brunissement de la bordure des feuilles et de chlorose localisée entre les nervures.

Bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britton)

Le bouleau jaune est bien représenté dans une parcelle de Terre-Neuve et trois du Québec; c'est une essence mineure de trois parcelles du Nouveau-Brunswick. À Terre-Neuve, on n'a constaté aucun dépérissement. Au Nouveau-Brunswick, aucun arbre n'est mort depuis la création de la parcelle. Un arbre est mort au Québec en 1991. La moitié des 12 arbres du Nouveau-Brunswick sont en bonne santé ou ne souffrent que d'un dépérissement des rameaux, l'autre moitié étant touchée par la mortalité des branches. Leur état s'est amélioré, le pourcentage d'arbres de la classe 04 ayant baissé au profit de la classe 03 pour la troisième année consécutive, en 1991. Les arbres de l'une des parcelles du Québec sont restés en bonne santé, tandis que l'état des arbres de l'autre parcelle a empiré, beaucoup d'arbres étant cotés 04. La situation pourrait être reliée à une sécheresse survenue au début de l'été. Au Nouveau-Brunswick, on a observé des dommages d'insectes minimes à légers, ainsi que des traces de dégâts dus aux maladies et à des causes abiotiques. Dans cette province, on a observé l'altération de la couleur de la bordure des feuilles et la chlorose chez certains arbres, symptômes semblables à ceux qui frappaient les érables à sucre de la même parcelle. Cette situation a été attribuée à la sécheresse.

Hêtre à grandes feuilles (*Fagus grandifolia* Ehrh.)

Le hêtre à grandes feuilles est bien représenté dans une parcelle du Québec. Aucune mortalité n'est

survenue en 1991. Tous les arbres sont de la classe 04, et beaucoup portent des chancres ou des blessures à la tige.

Chêne rouge (*Quercus rubra* L.)

Le chêne rouge est bien représenté sur deux parcelles du Québec et une de l'Ontario. Aucun arbre n'est mort dans ces deux provinces en 1991. Dans l'une des parcelles du Québec, on a observé, depuis 1988, une détérioration de l'état des arbres, qui étaient alors à 84 % dans les classes 03 ou 04. Maintenant, on trouve le même pourcentage, mais dans les classes 04 ou 05. La défoliation observée dans cette parcelle, qui est causée principalement par le thrips du poirier (*Taeniothrips inconsequens* [Uzel]), était de 45 % en 1988 et 1989, de 20 % en 1990 et de 30 % en 1991. Dans l'autre parcelle québécoise, l'état des arbres s'est détérioré depuis 1988, mais il s'est stabilisé en 1991, 47 % des arbres se trouvant dans la classe 05. L'état des arbres de l'Ontario, qui est resté ce qu'il était depuis 1990, constitue une amélioration depuis la période de 1986 à 1989 (figure 13). Sur tous les arbres, on a observé un dépérissement, de 5 à 25 % chez 88 % des sujets. La sécheresse a été incriminée de 1987 à 1989; toutefois, les causes du piètre état des arbres avant la création de la parcelle et depuis ne sont pas connues.

Cerisier tardif (*Prunus serotina* Ehrh.)

Le cerisier tardif est bien représenté dans une parcelle du Québec. Aucune mortalité n'est survenue en 1991, et l'état des arbres est resté inchangé, la plupart étant en assez bon état.

Érable rouge (*Acer rubrum* L.)

L'éryable rouge est bien représenté dans une parcelle de la Nouvelle-Écosse, une de l'Ontario et il se trouve en moins grand nombre dans quatre parcelles de la Nouvelle-Écosse, autant du Nouveau-Brunswick, deux du Québec et trois de l'Ontario. En 1991, aucun arbre n'est mort en Nouvelle-Écosse, la moyenne annuelle depuis 1985 du taux de mortalité étant de 0,2 %. Un arbre est mort en Ontario. En Nouvelle-Écosse, le nombre d'arbres dans la classe 01 a graduellement diminué de 1987 à 1990, tandis que le nombre d'arbres de la classe 04 a à peine augmenté. Près de 80 % de tous les arbres restent dans la classe 03 ou les classes supérieures (figure 14). La parcelle ontarienne se trouve dans une zone de sécheresse; toutefois, l'état des arbres n'y a que

légèrement diminué. En Nouvelle-Écosse, seules des traces de dégâts aux feuilles étaient évidentes en 1991, moins qu'en 1990. Sur deux parcelles de cette province, on a observé un peu de chlorose et de marrubrure des feuilles ainsi que des feuilles déchirées par le vent. Dans l'une des parcelles, la chlorose du limbe entre les nervures était modérée sur 23 % des feuilles. En Ontario, les dégâts foliaires se sont limités à des traces de défoliation due aux insectes ainsi qu'à la tache des feuilles.

Érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.)

L'éryable à sucre est bien représenté dans une parcelle du Nouveau-Brunswick, dans huit du Québec et autant de l'Ontario. Au Nouveau-Brunswick, aucun arbre n'est mort depuis le début du programme. Aucun arbre n'est mort au Québec en 1991. En Ontario, cinq arbres dominés ou intermédiaires sont morts en 1991, un dans chacune de cinq parcelles. Le pourridié agaric a été trouvé dans deux de ces parcelles, et son action est soupçonnée dans une troisième.

Au Nouveau-Brunswick, la tendance générale a été l'amélioration de l'état des arbres de 1987 à 1991, même si un arbre a été relégué dans la classe 05 (figure 15a). C'était la première fois depuis 1986 que l'on comptait plus d'arbres dans les classes 01 à 03 (65 %) que dans la classe 04 ou les suivantes. La plupart des arbres du Québec sont restés dans la classe 04 en 1991. En Ontario, on a constaté une légère amélioration des cimes en 1991, plus de 40 % des arbres étant dans la classe où le dépérissement est nul (figure 15b). Cette amélioration serait reliée à la diminution de la sécheresse et à la réduction de la défoliation causée par la livrée des forêts. Sur une parcelle près de Sault Ste. Marie, l'état des arbres s'est dégradé, probablement à cause des températures élevées et des vents violents observés en 1989 et 1990, de même que de la sécheresse antérieure. Toutefois, l'état général des arbres est resté bon, 87 % d'entre eux souffrant de moins de 25 % de dépérissement. Au Nouveau-Brunswick, on a observé des dégâts minimes aux feuilles. Les dégâts dus à la maladie étaient considérablement moins graves qu'en 1990, probablement à cause de la sécheresse en 1991. Des traces de dégâts dus à des causes abiotiques ont été observées pour la première fois depuis la création de la parcelle; on a observé l'altération de la couleur des feuilles, sur leur bordure, et la chlorose, symptômes qui correspondent à la sécheresse. En Ontario, on a observé un rouissement des feuilles et on a incriminé les vents violents et la sécheresse.

Discussion et conclusions

D'après l'examen des parcelles du DNARPA, en 1991, aucun déclin à grande échelle de l'état de santé des forêts du Canada ne saurait être imputé directement à la pollution atmosphérique. Cette conclusion se rapproche de celle de l'évaluation de 1990. Après avoir recherché les symptômes classiques de la pollution atmosphérique, nous en avons trouvé peu de manifestations. Les dégâts qui peuvent être attribués à la pollution atmosphérique ont été décrits et identifiés en vue d'un examen plus approfondi, plus particulièrement sur le bouleau de la baie de Fundy au Nouveau-Brunswick. Il est possible, bien entendu, que des arbres aient été affaiblis ou traumatisés par des facteurs extérieurs tels que la pollution atmosphérique, mais ce traumatisme n'est pas évident. On a souvent observé les effets des insectes, des maladies, de la sécheresse et du mauvais temps.

Cette évaluation de l'état de santé des forêts sur les parcelles du DNARPA au Canada montre que la mortalité se situe généralement dans l'intervalle normal de 1 à 2 % et qu'elle était en grande partie causée par la concurrence à l'intérieur du peuplement. Les taux plus élevés que l'on observe chez le pin gris, le sapin baumier, le bouleau à papier, le bouleau jaune et le peuplier faux-tremble de certaines parcelles est attribuable aux traumatismes causés par la sécheresse, le gel, les tempêtes de vent, les tempêtes hivernales, les pourridiés, la tordeuse des bourgeons de l'épinette et d'autres défoliateurs.

Selon les observations faites en 1991, la sécheresse continue d'influer sur la santé des arbres. Dans les Maritimes, les symptômes attribuables à la sécheresse se sont manifestés sous la forme d'une altération de la couleur de la bordure des feuilles ou d'une chlorose, chez le bouleau jaune, l'érytre rouge et l'érytre à sucre. Chez ce dernier, toutefois, la réduction des effets des maladies a également été attribuée à la sécheresse. Au Québec, on incrimine la sécheresse pour la dégradation du pin rouge et de l'épinette noire de la Gaspésie, après les années de faible pluviosité de 1987, de 1988 et de 1990. Les troubles se sont d'abord manifestés chez le pin rouge en 1990, puis chez l'épinette noire, en 1991. On s'est également inquiété de la situation de l'érytre à sucre au nord de Québec et de celle du bouleau jaune au nord de Montréal, après une période de sécheresse au début de la saison de croissance de 1991. En Ontario, l'amélioration constatée chez l'érytre à sucre et le peuplier faux-tremble serait due à la fin de la sécheresse, même si aucun rétablissement n'a pas encore été perçu chez l'érytre rouge. Ces arbres pourraient être affligés par une maladie des racines. La situation du bouleau à papier de l'Ontario continue de se détériorer du fait de la sécheresse, des

insectes xylophages, du pourridié agaric et des pourridiés à *Phellinus*. En Colombie-Britannique, au cours des saisons de végétation de 1987 à 1990, les températures moyennes à la grandeur de la province ont été supérieures à la moyenne sur 30 ans (1951 à 1980), tandis que, en 1985, en 1989 et en 1990, les précipitations ont été inférieures à la moyenne, notamment dans les régions de Vancouver, de Prince Rupert et de Prince George. Aucun dégât attribuable spécifiquement à la sécheresse n'a été signalé, mais il est des plus probables que l'état des arbres et leur mortalité dans cette partie du pays en aient subi l'influence.

Pour ce qui concerne l'ozone, on ne peut pas démontrer de rapport de cause à effet; toutefois, lorsque des symptômes possibles ont été observés, on a mis les arbres sous observation. En 1991, les mouchetures des aiguilles étaient répandues sur l'épinette blanche, l'épinette noire, le sapin baumier, le bouleau jaune, l'érytre à sucre, l'érytre rouge et le bouleau à papier des Maritimes. D'autres symptômes semblables à ceux que cause l'ozone ont été, dans les Maritimes, la chlorose ainsi que l'altération de la couleur de la bordure des feuilles. Dans le cas du bouleau jaune et de l'érytre à sucre, les symptômes ont été attribués aux effets de la sécheresse. On a réussi à reproduire les dommages subis par le bouleau à papier en exposant des semis de cette essence aux concentrations ambiantes d'ozone (Dr Roger Cox, Forêts Canada, région des Maritimes, communication personnelle). Les concentrations d'ozone et de brouillard acide ayant baissé dernièrement dans les Maritimes, près des localités touchées, on a observé une réduction parallèle des dégâts. Des travaux sont en cours afin de déterminer les causes et l'étendue du problème.

Références

- Auclair, A.N.D. 1987. The distribution of forest declines in eastern Canada. In Kairukstis, L., S. Nilsson, and A. Straszak (eds.), Proc. Workshop on Forest Decline and Reproduction: Regional and Global Consequences. IIASA, A-2361, Laxenburg, Austria.
- Berrang, P.; Karnosky, D.F.; Bennett, J.P. 1991. Natural selection for ozone tolerance in *Populus tremuloides*: an evaluation of nationwide trends. Can. J. For. Res. 21: 1091-1097.
- Berry, C.R. 1973. The differential sensitivity of Eastern White Pine to three types of air pollution. Can. J. For. Res. 3: 184-187.

- Bormann, F.H. 1985. Air pollution stresses on forests. *Bioscience* 35(7): 434–441.
- D'Eon, S.P.; Power, J.M. 1989. Réseau de parcelles du Dispositif national d'alerte rapide pour les pluies acides. For. Can., Institut forestier national de Petawawa. Rapp. d'inf. PI-X-91F. 119 p.
- Fraser, G.A. 1989. Lutte contre les pluies acides : Avantages potentiels en foresterie commerciale pour le Canada. For. Can., Ottawa (Ontario). Rapp. d'inf. E-X-42F. 28 p.
- Garner, J.H.B.; Pagano, T.; Cowling, E. 1989. An Evaluation of the role of ozone, acid deposition and other airborne pollutants in the forests of eastern North America. USDA For. Serv. Southeast For. Expt. Sta., Asheville, N.C., Gen. Tech. Rep. SE-59. 172 p.
- Gregorius, H.R. 1989. The importance of genetic multiplicity for tolerance of atmospheric pollution. Pages 163–172 in Scholtz, F., H.R. Gregorius, and D. Rudin (eds.), *Genetic effects of air pollutants in forest tree populations*. Springer-Verlag, Berlin.
- Hall, J.P. 1991. Rapport annual 1990 sur le Dispositif national d'alerte rapide pour les pluies acides (DNARPA). Forêts Canada, Ottawa (Ontario). Rapp. d'inf. ST-X-1
- Hall, J. P.; Addison, P.A. 1991. En riposte à la pollution atmosphérique : Le DNARPA permet de prendre le pouls des forêts du Canada. For. Can., Ottawa (Ontario). Rapp. d'inf. DPC-X-34.
- Magasi, L.P. 1988. Dispositif national d'alerte rapide pour les pluies acides : Guide pour l'établissement et la surveillance des parcelles. Serv. can. forêts, Ottawa (Ontario). Rapp. d'inf. DPC-X-25F.
- Magasi, L.P. 1989. White birch deterioration in the Bay of Fundy region, New Brunswick 1979–1988, Forestry Canada, Maritimes Region, Fredericton, N.B. Inf. Rep. M-X-177.
- Magasi, L.P. 1992. Forest pest conditions in the Maritimes in 1991. Forestry Canada, Maritimes Region, Fredericton, N.B., Inf. Rep. M-X-181.
- Malhotra, S.S.; Blauel, R.A. 1980. Diagnosis of air pollutant and natural stress symptoms on forest vegetation in western Canada. Can. For. Serv., North For. Res. Centre, Edmonton, Alta., Inf. Rep. NOR-X-228. 84 p.
- Manion, P.D. 1981. Tree disease concepts. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J.
- National Acid Precipitation Assessment Program (NAPAP). (non daté). Diagnosing injury to eastern forest trees. NAPAP Forest Responses Program, Vegetation Survey Research Cooperative, USDA, U.S.F.S. 122 p.



Figure 1.

Plot locations of the Acid Rain National Early Warning System (ARNEWS).

Emplacement des parcelles du Dispositif national d'alerte rapide
pour les pluies acides au Canada (DNARPA).

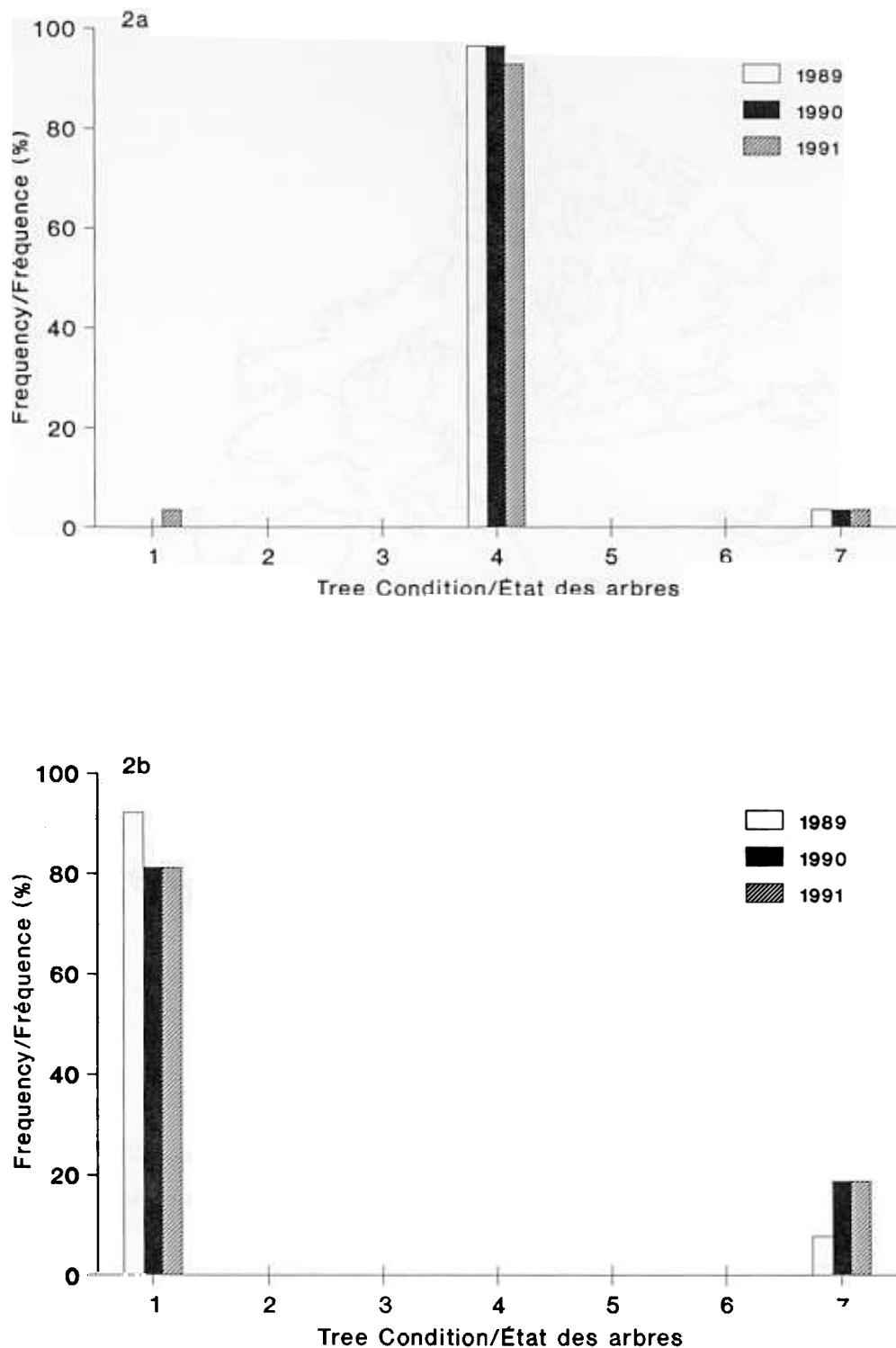


Figure 2.
Eastern white pine (*Pinus strobus* L.) condition, Ontario.
a) Plot 517; b) Plot 518.

État de santé du pin blanc (*Pinus strobus* L.) en Ontario.
a) Parcelle 517; b) Parcelle 518.

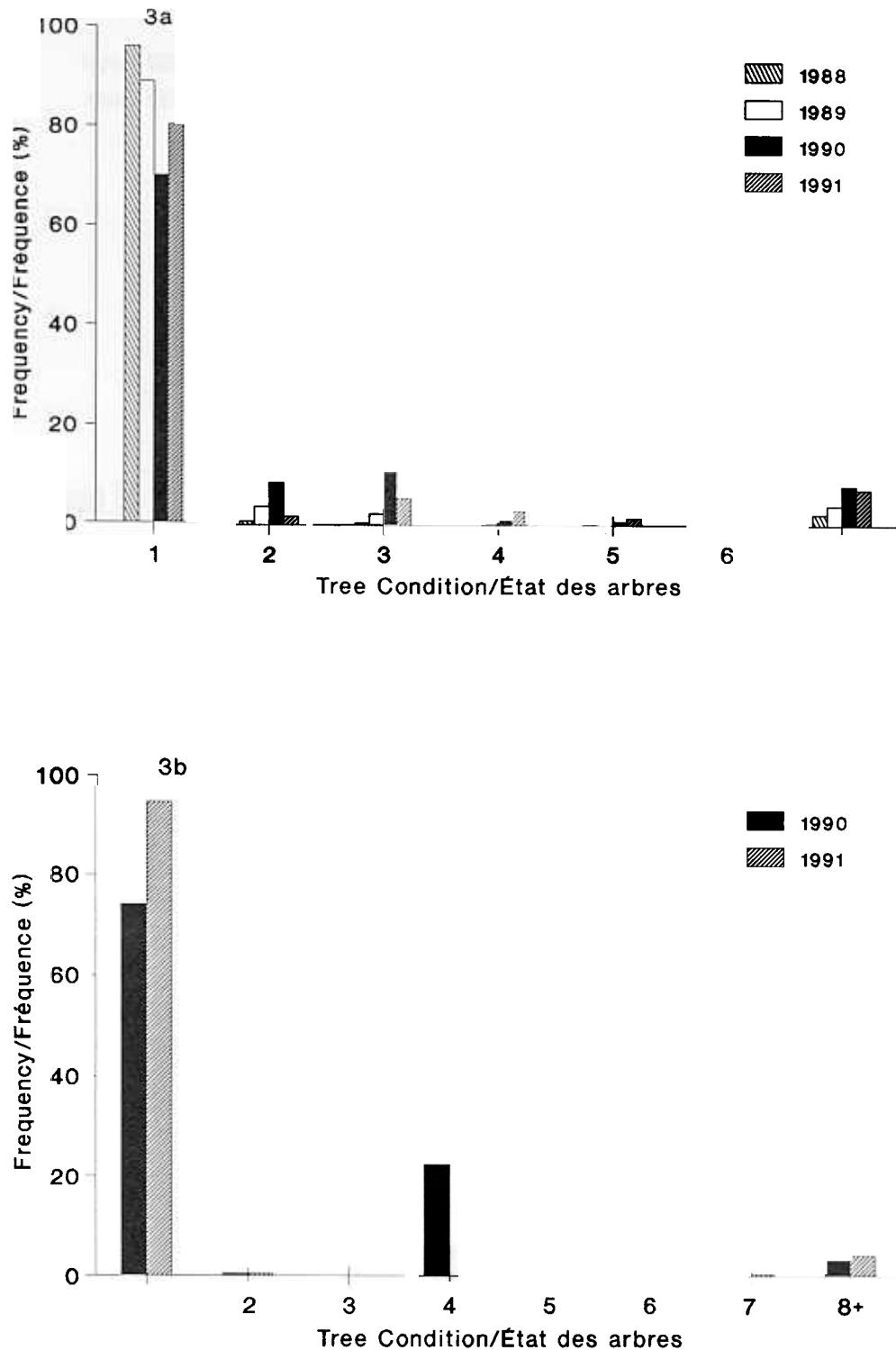


Figure 3.
Jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.) condition.
a) Ontario; b) Manitoba and Saskatchewan.

État de santé du pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.)
a) en Ontario; b) au Manitoba et en Saskatchewan.

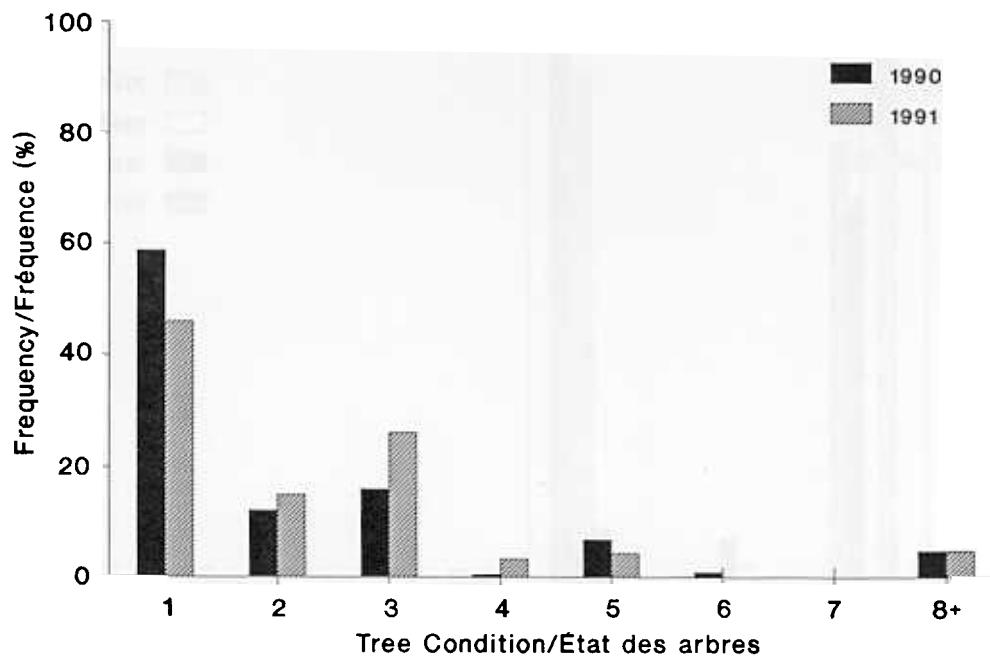


Figure 4.
Lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl.) condition, Alberta.
État de santé du pin tordu (*Pinus contorta* Dougl.) en Alberta.

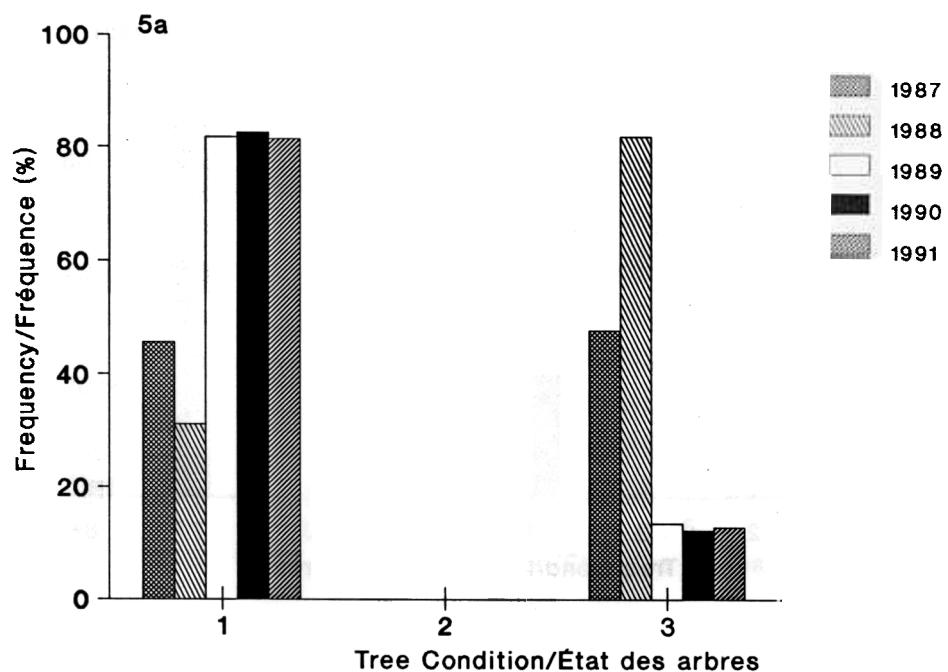


Figure 5.
Black spruce (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.) condition. a) Newfoundland.
État de santé de l'épinette noire (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.) a) à Terre-Neuve.

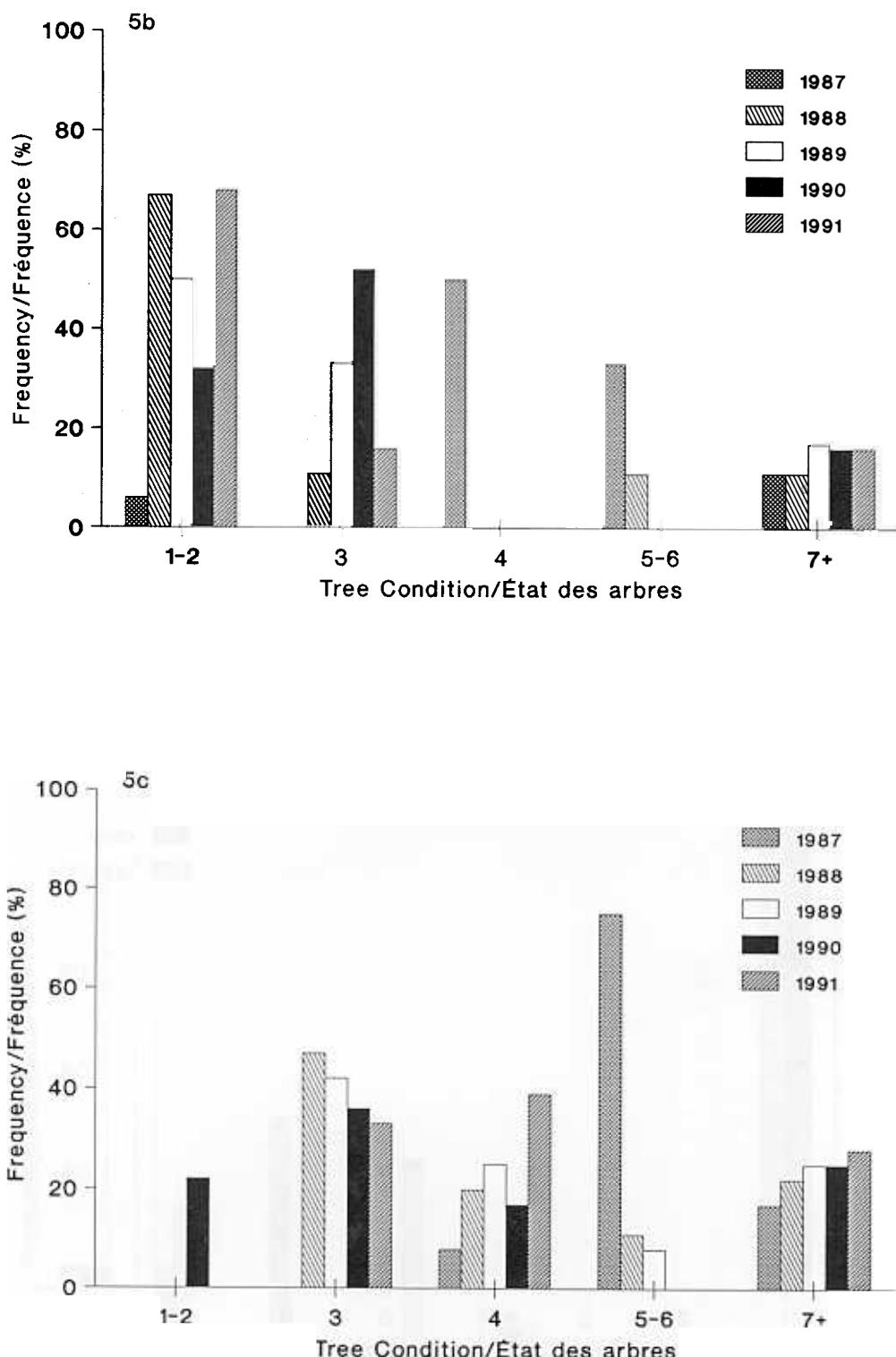


Figure 5.
Black spruce (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.) condition.
b) Southwest New Brunswick; c) south-central New Brunswick.

État de santé de l'épinette noire (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.) b) dans le sud-ouest du Nouveau-Brunswick; c) dans le centre-sud du Nouveau-Brunswick.

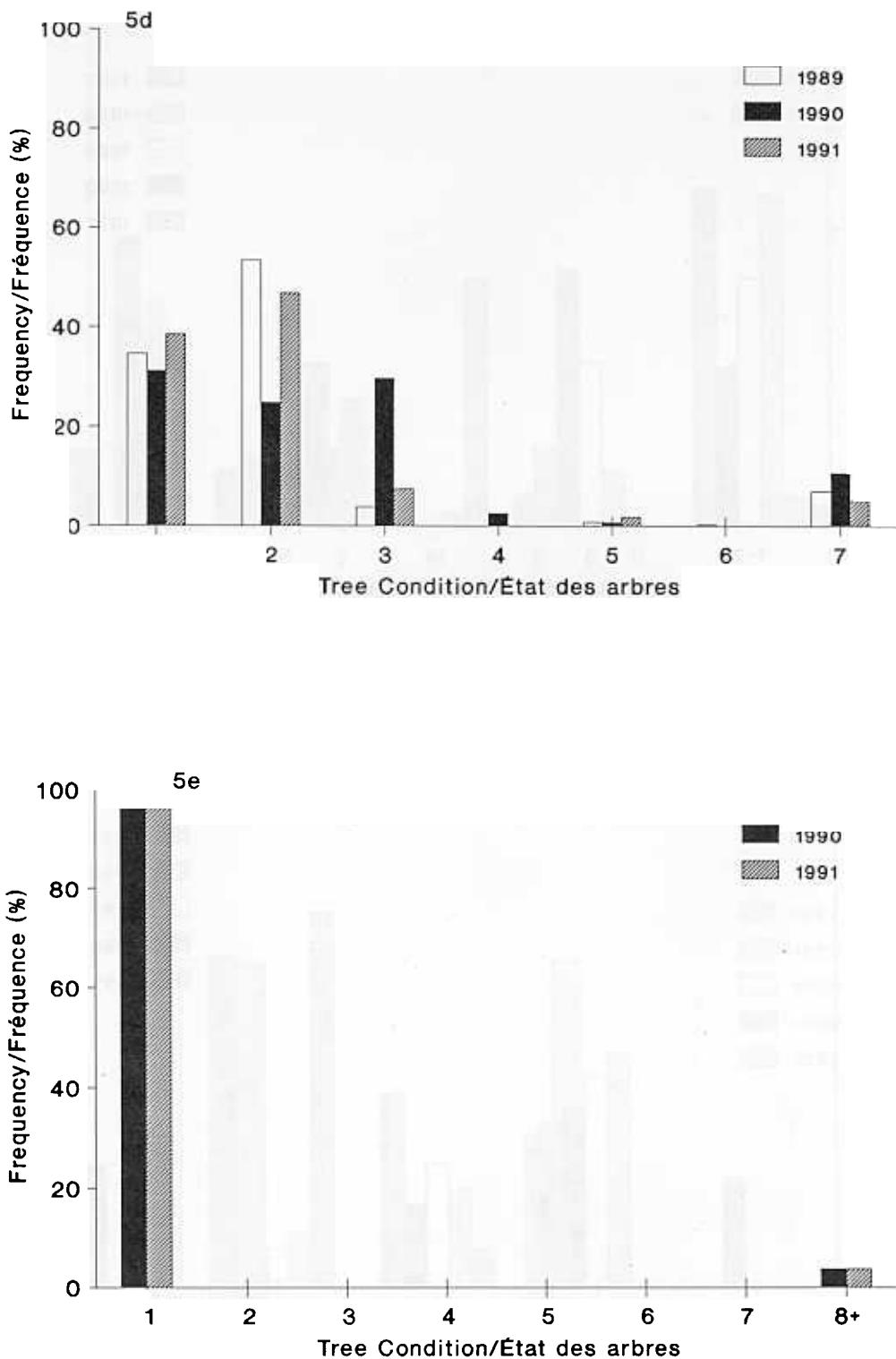


Figure 5.
Black spruce (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.) condition.
d) Ontario; e) Manitoba.

État de santé de l'épinette noire (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.)
d) en Ontario; e) au Manitoba.

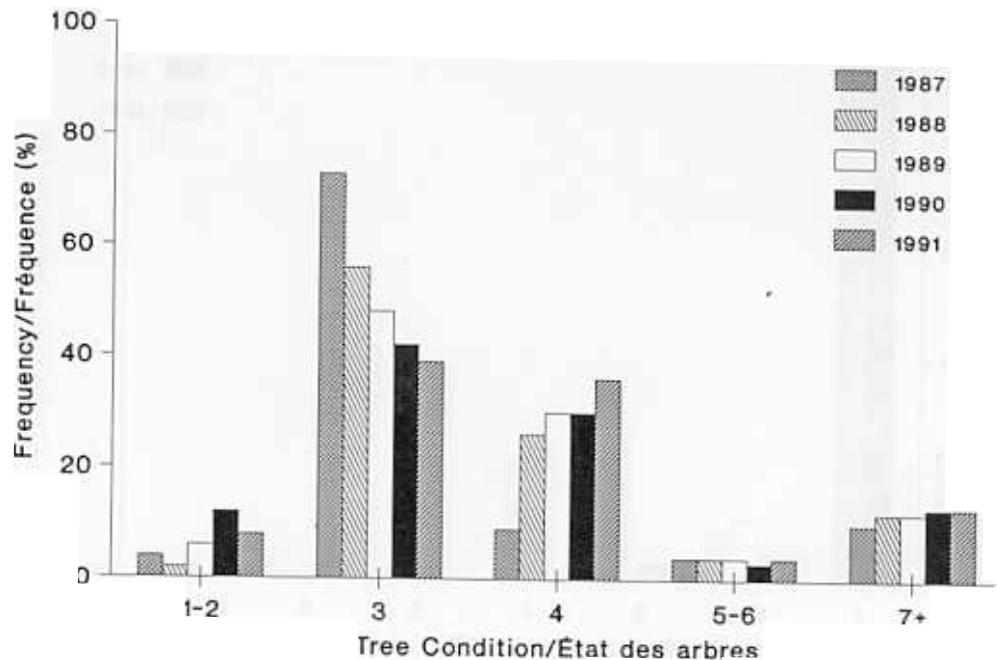


Figure 6.
Red spruce (*Picea rubens* Sarg.) condition, Maritimes.
État de santé de l'épinette rouge (*Picea rubens* Sarg.) dans les Maritimes.

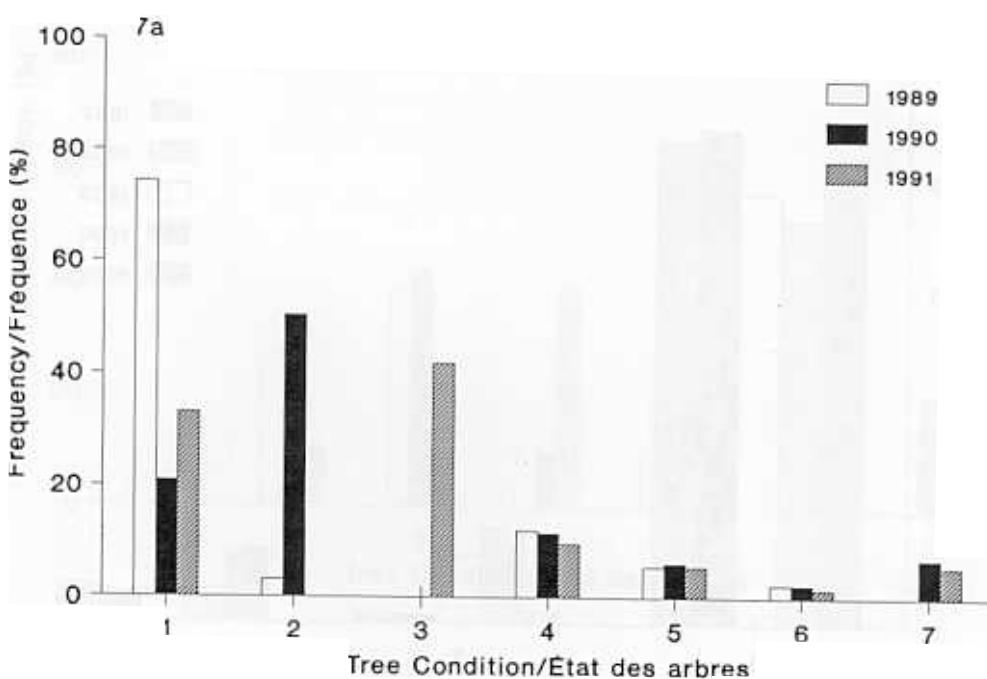


Figure 7.
White spruce (*Picea glauca* [Moench] Voss) condition. a) Ontario.
État de santé de l'épinette blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss) a) en Ontario.

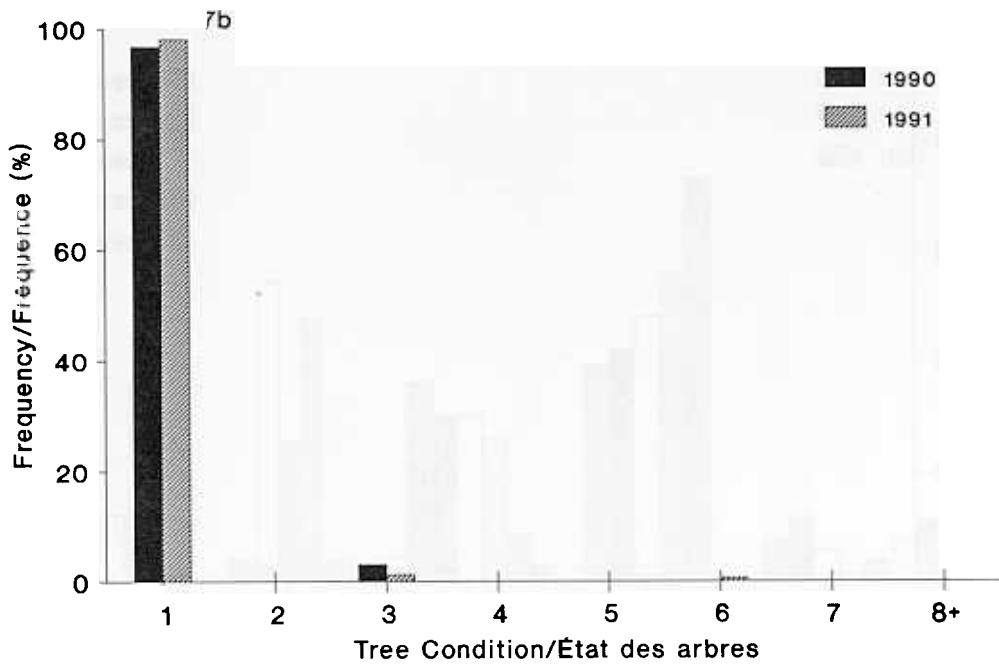


Figure 7.
White spruce (*Picea glauca* [Moench] Voss) condition. b) Saskatchewan and Alberta.

État de santé de l'épinette blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss)
b) en Saskatchewan et en Alberta.

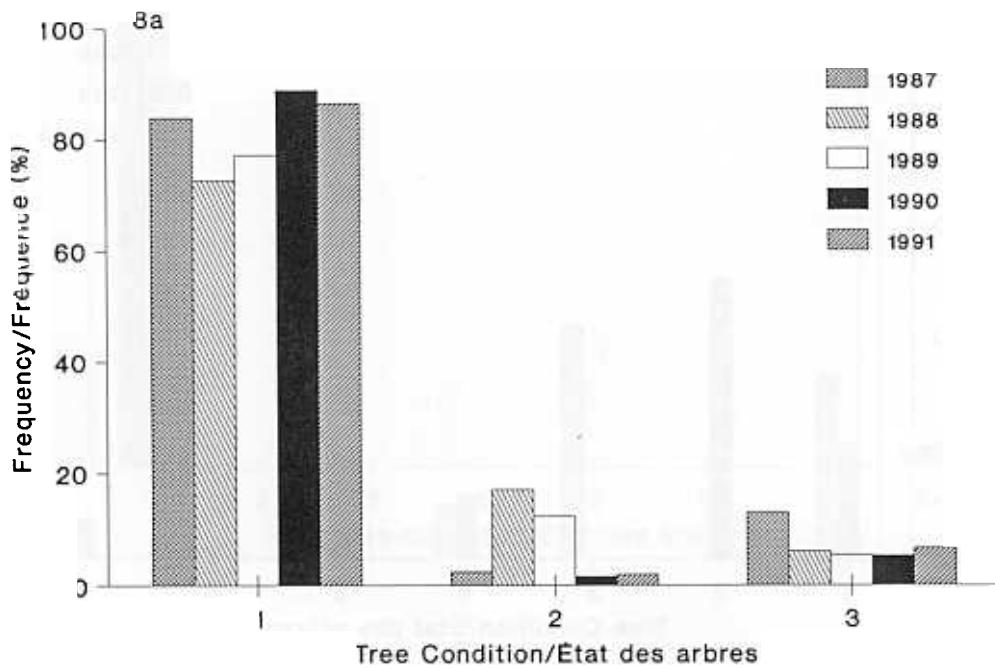


Figure 8.
Balsam fir (*Abies balsamea* [L.] Mill.) condition. a) Newfoundland.
État de santé du sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.) a) à Terre-Neuve.

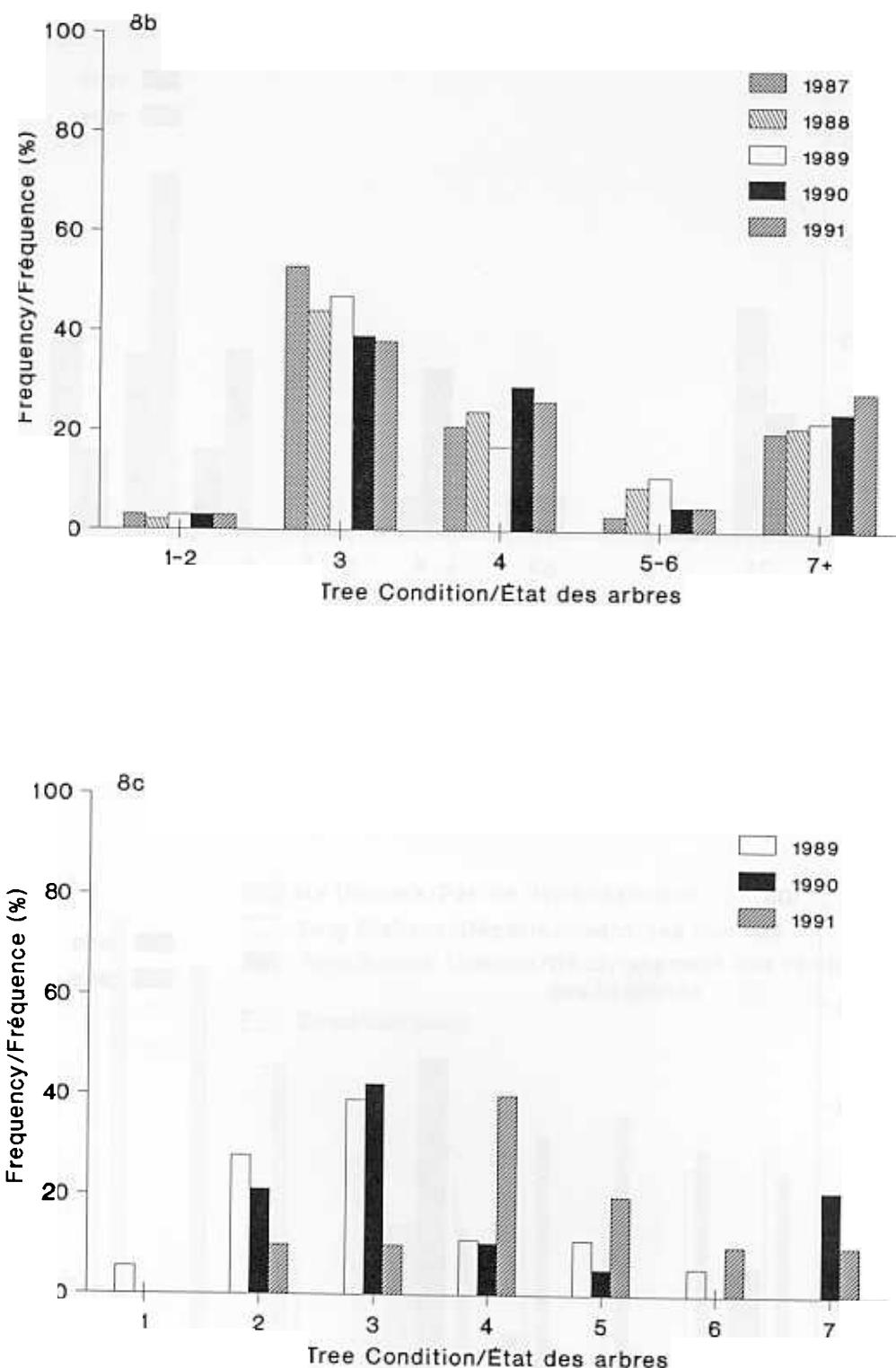


Figure 8.
Balsam fir (*Abies balsamea* [L.] Mill.) condition.
b) Maritimes; c) Ontario.

État de santé du sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.)
b) dans les Maritimes; c) en Ontario.

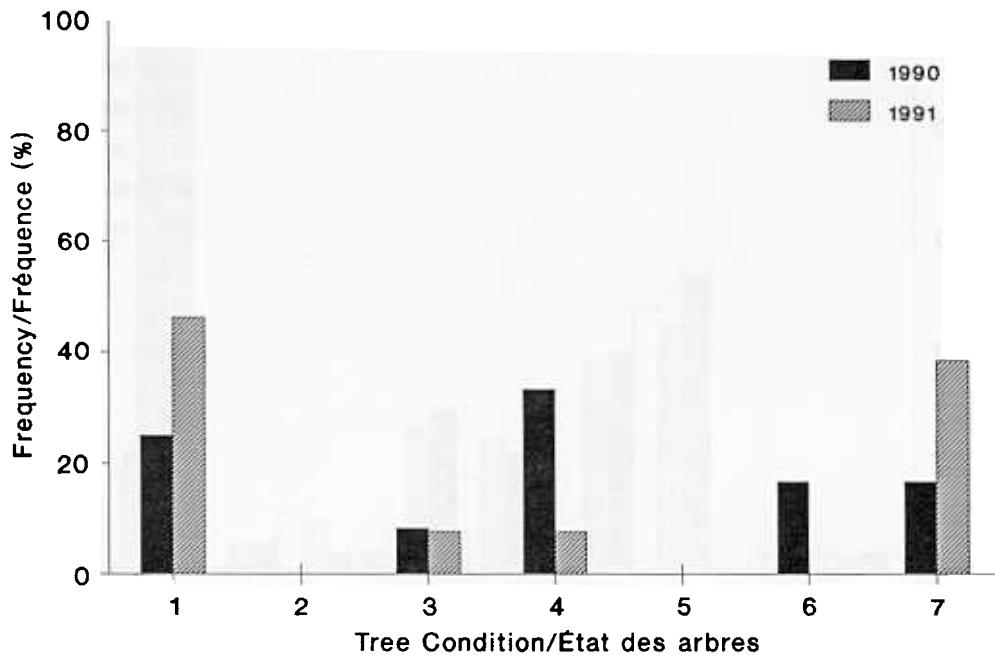


Figure 9.
Largetooth aspen (*Populus grandidentata* Michx.) condition, Ontario.
État de santé du peuplier à grandes dents (*Populus grandidentata* Michx.) en Ontario.

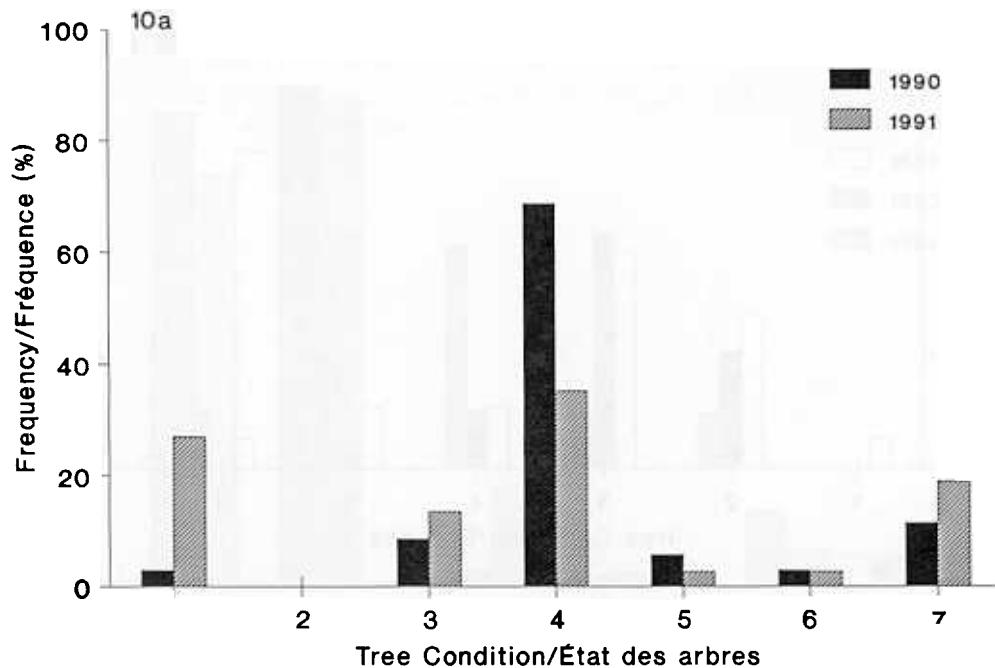


Figure 10.
Trembling aspen (*Populus tremuloides* Michx.) condition. a) Ontario.
État de santé du peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.) a) en Ontario.

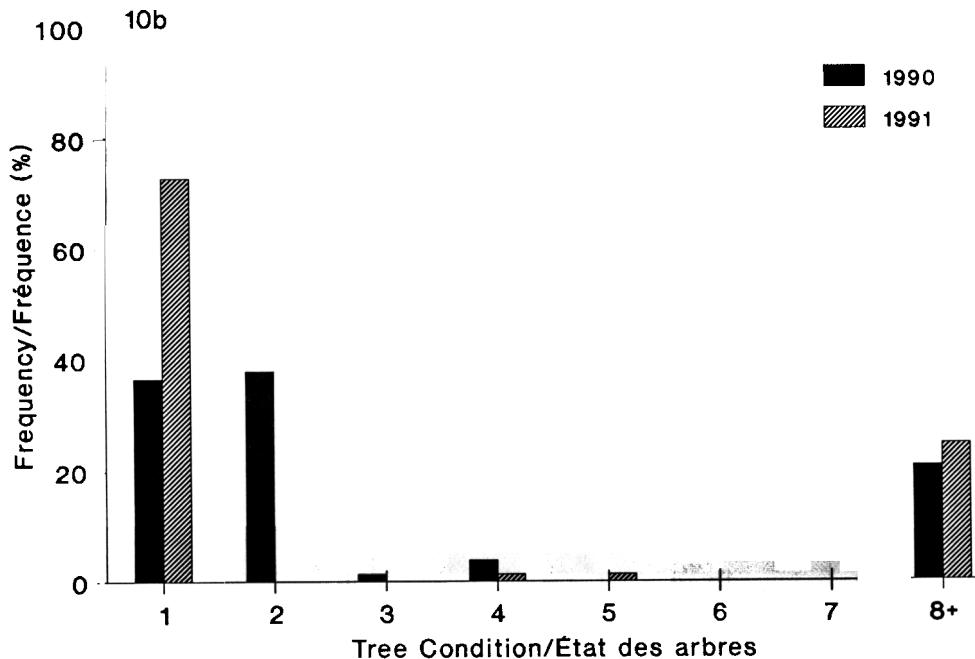


Figure 10.
Trembling aspen (*Populus tremuloides* Michx.) condition. b) Manitoba and Saskatchewan.
État de santé du peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.)
b) au Manitoba et en Saskatchewan.

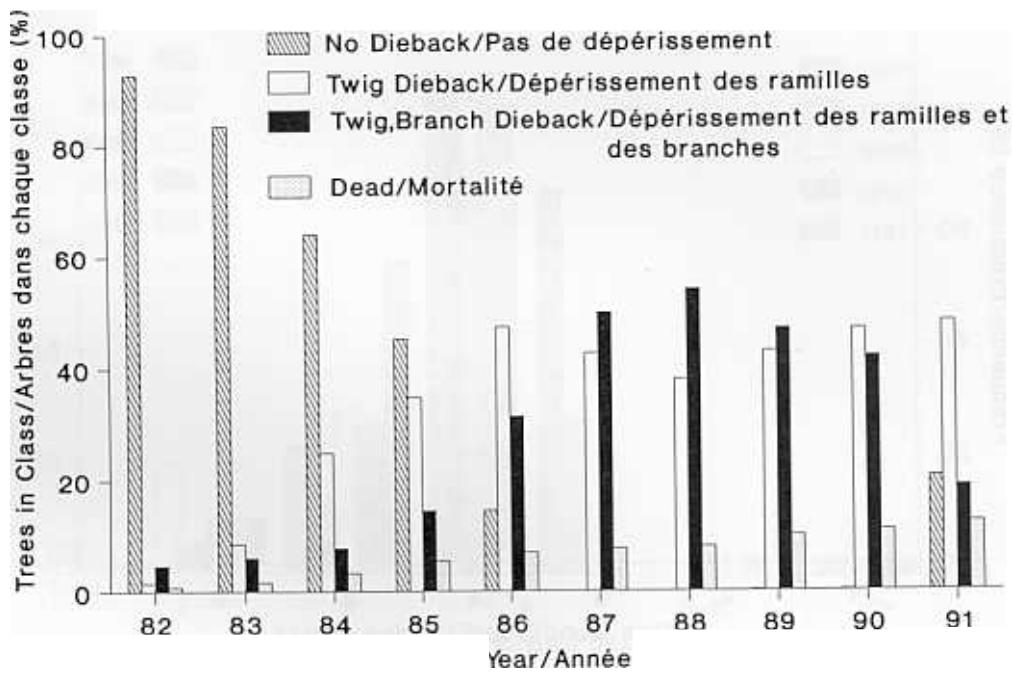


Figure 11.
White birch (*Betula papyrifera* Marsh.) condition along the Bay of Fundy coast.
État de santé du bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.)
le long de la baie de Fundy.

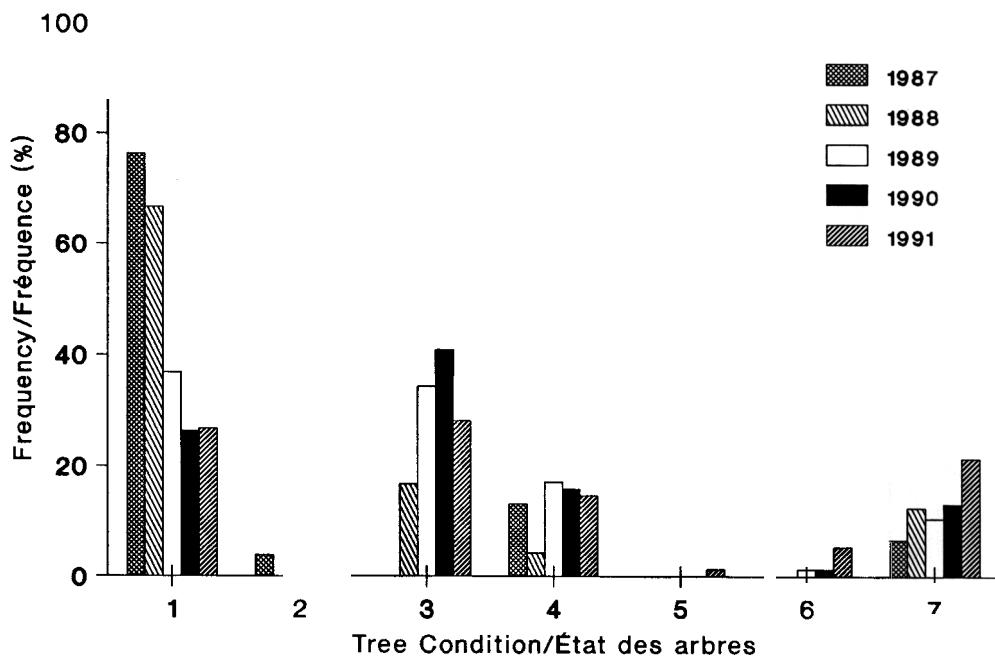


Figure 12.
White birch (*Betula papyrifera* Marsh.) condition, Ontario.
État de santé du bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.) en Ontario.

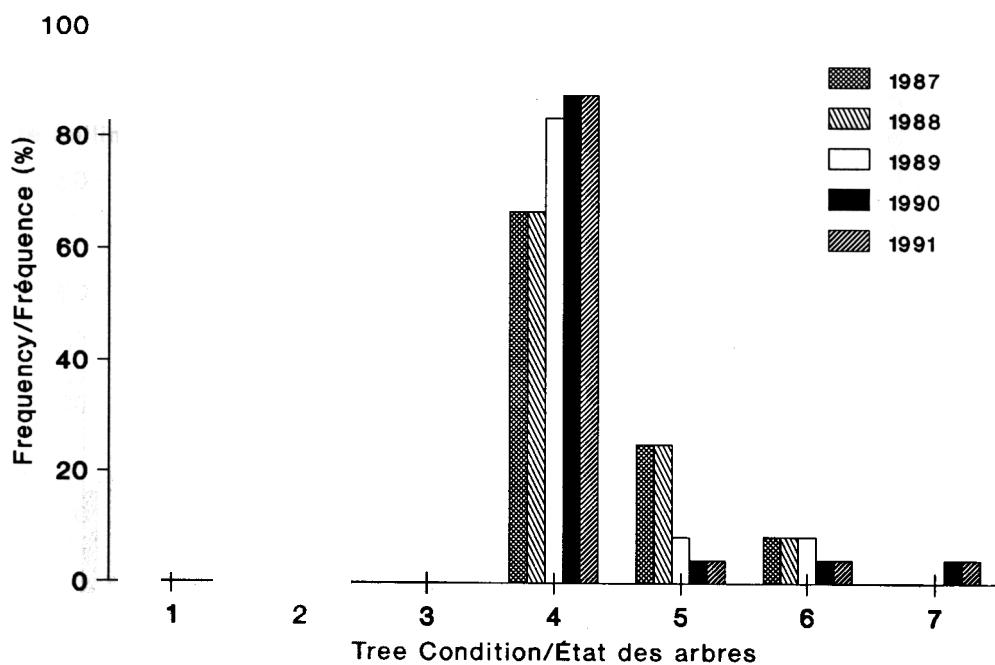


Figure 13.
Red oak (*Quercus rubra* L.) condition, Ontario.
État de santé du chêne rouge (*Quercus rubra* L.) en Ontario.

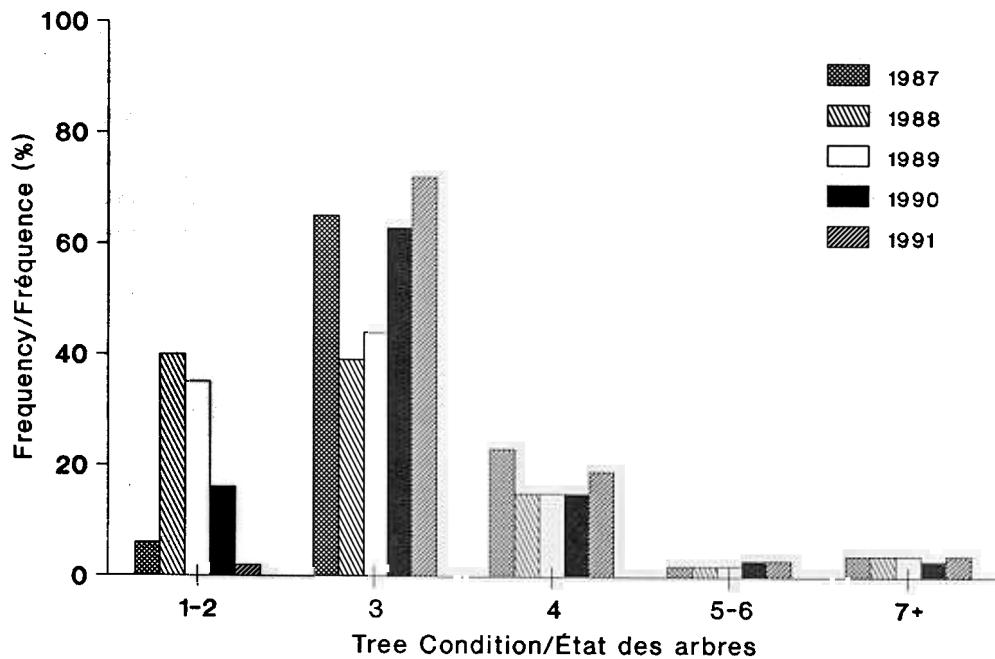


Figure 14.
Red maple (*Acer rubrum* L.) condition, Maritimes.
État de santé de l'érable rouge (*Acer rubrum* L.) dans les Maritimes.

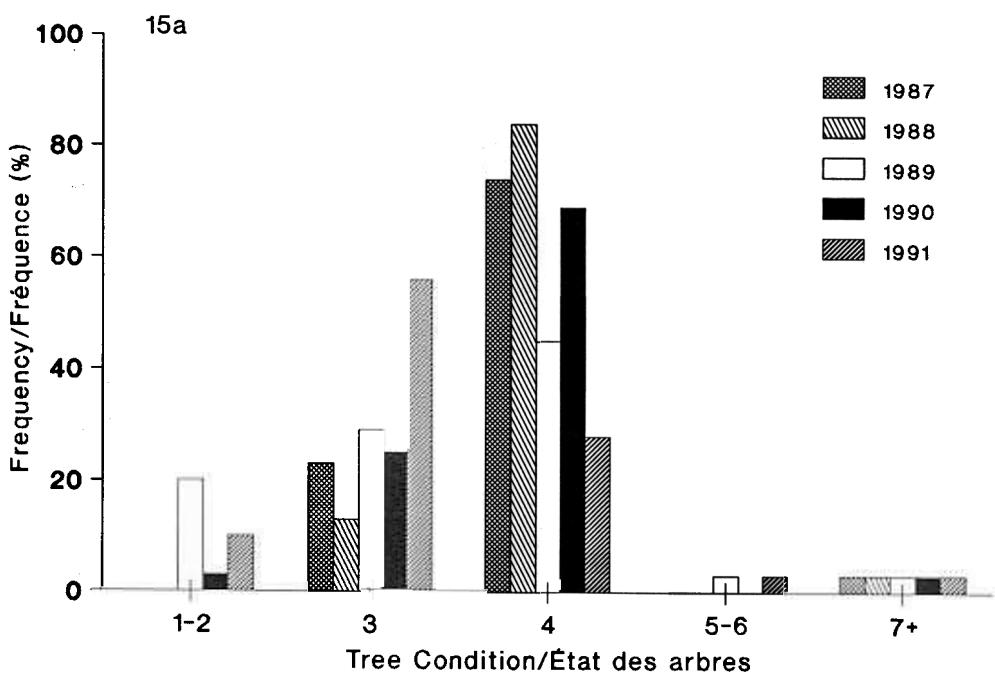


Figure 15.
Sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.) condition. a) Maritimes.
État de santé de l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.) a) dans les Maritimes.

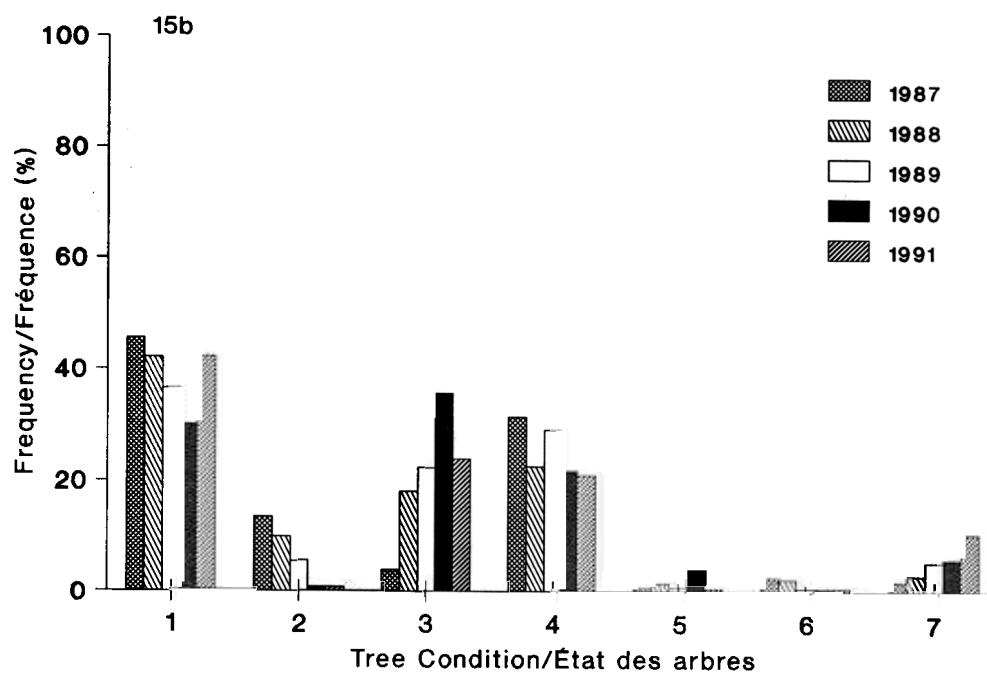


Figure 15.
Sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.) condition. b) Ontario.
État de santé de l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.) b) en Ontario.