



Environment  
Canada

Environnement  
Canada

# CLIMATE CHANGE DIGEST

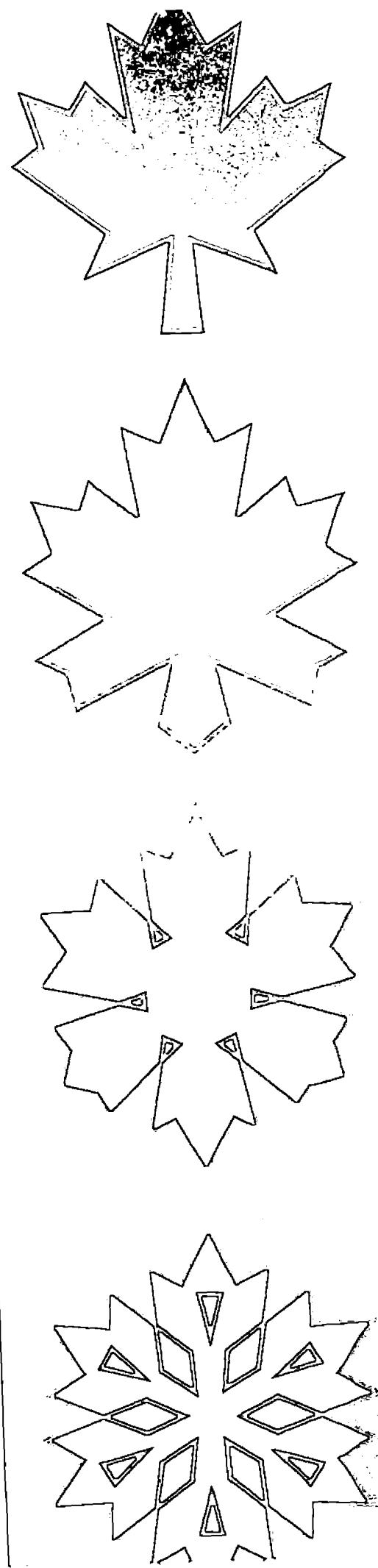
Impacts of Global Climate  
Warming for Canadian East  
Coast Sea-Ice and Iceberg  
Regimes Over the Next  
50–100 Years

CCD 93-03

QC  
981.8  
C5  
C65  
no.93-03



anada



## CLIMATE CHANGE DIGEST

- |           |   |                                     |  |
|-----------|---|-------------------------------------|--|
| CCD 88-06 | Estimating Effects of Climatic Change on Agriculture in Saskatchewan, Canada  |                                     |  |
| CCD 88-07 | Socio-Economic Assessment of the Physical and Ecological Impacts of Climate Change on the Marine Environment of the Atlantic Region of Canada - Phase I |                                     |  |
| CCD 88-08 | The Implications of Climate Change for Natural Resources in Quebec  |                                     |  |
| CCD 88-09 | CO <sub>2</sub> Emissions and Global Warming: Implications for the Western Canadian Economy   |                                     |  |
| CCD 89-01 | Climatic Change and Agriculture   | QC 981.8 C5 C65                     | Interdependencies in the Position in the Canadian Economy  |
| CCD 89-02 | Exploring the Boreal Forest   | no.93-03                            | Implications of global climate warming for Canadian east coast sea-ice and iceberg regimes over the next 50-100 years. |
| CCD 89-03 | Implementation of National Energy Policy  | —                                   | Change for the Western Canadian Economy  |
| CCD 89-04 | Implementation of the National Energy Policy  | —                                   | Water Use and Conservation in Alberta  |
| CCD 89-05 | The Impact of Acid Rain on the Economy  | —                                   | Impact of Acid Rain on the Economy   |
| CCD 90-01 | Implementation of the Canadian Environmental Protection Act   | —                                   | Coastal Changes in the Canadian Environment  |
| CCD 90-02 | The Impact of Acid Rain on the Economy  | ENVIRONMENT CANADA<br>PARK DIVISION | Changes on the Canadian Environment  |
| CCD 91-01 | Climatic Change and its Implications for the Petroleum Industry   | —                                   | Scientific   |
| CCD 92-01 | Global Warming: Implications for Canadian Policy  | —                                   | —  |
| CCD 92-02 | Review of Models for Climate Change and Impacts on Hydrology, Coastal Currents and Fisheries in B.C.  | —                                   | —  |
| CCD 93-01 | Impacts of Climatic Change on the Beaufort Sea-Ice Regime: Implications for the Arctic Petroleum Industry   | —                                   | —  |
| CCD 93-02 | Adaptation to Climate Change and Variability in Canadian Water Resources  | —                                   | —  |
| CCD 93-03 | Impacts of Global Climate Warming for Canadian East Coast Sea-Ice and Iceberg Regimes Over the Next 50-100 Years  | —                                   | —  |



Environment Canada      Environnement  
Canada

BVAE North Van. Env. Can. Lib./Bib.



36 005 427

QC  
981.8  
C5  
C65  
no.93-03

**IMPLICATIONS OF GLOBAL CLIMATE WARMING FOR  
CANADIAN EAST COAST SEA-ICE AND ICEBERG REGIMES  
OVER THE NEXT 50-100 YEARS**

A summary of a report prepared by Arctic Sciences Limited,  
Sidney, British Columbia

Prepared for

Climate Change Digest  
Atmospheric Environment Service

by

Ross D. Brown  
Study Advisor  
Canadian Climate Centre

This work was supported by the federal Panel on Energy Research and Development and the Canadian Climate Centre

This Report Contributes to State of Environment Reporting



This paper contains a minimum of 50% recycled fibres,  
including 10% post-consumer fibres.

**LIBRARY**  
ENVIRONMENT CANADA  
PACIFIC REGION

## **INTRODUCTION**

The Canadian Climate Centre (CCC) has funded a number of studies to investigate the potential impacts of climate warming. A list of earlier titles in the series appears on the inside front cover.

## **DISCLAIMER**

This publication contains the summary results of a study conducted by Arctic Sciences Limited, Sidney, British Columbia. The views and opinions expressed herein are those of the authors and do not necessarily state or reflect those of the Government of Canada or any agency thereof.

Single copies of this publication may be obtained, free of charge; and copies of the complete report, **Canadian Climate Centre Report No. 91-09**, may be purchased by writing to the:

Climate Products and Publications Division  
Canadian Climate Centre  
4905 Dufferin Street  
Downsview, Ontario  
M3H 5T4

(416) 739-4331/4328

Published by Authority of the  
Minister of the Environment

© Minister of Supply and Services  
Canada 1993

Catalogue No. EN57-27/1993-03  
ISBN 0-662-59733-8  
ISSN 0835-3980

**IMPLICATIONS OF GLOBAL CLIMATE WARMING FOR  
CANADIAN EAST COAST SEA-ICE AND ICEBERG REGIMES  
OVER THE NEXT 50-100 YEARS.**

**1. STUDY HIGHLIGHTS**

- The transport of ice from Baffin Bay/Davis Strait to the Labrador Shelf in the spring, and corresponding local spring wind conditions were found to be key factors explaining year-to-year changes in the number of icebergs reaching the Grand Banks.
- Observed sea-ice extent and historical data on sea-ice severity suggested there were few major changes in sea-ice (and iceberg severity) over the period 1900-1990, except for a short period of rapid decline in ice severity during the 1960's. However, east coast sea-ice and iceberg severity were noted to have worsened during the 1980's, contrary to hemispheric trends in temperature and sea-ice extent.
- Currently available GCM results were not considered reliable for constructing scenarios of future iceberg severity in the study area because of inadequate representation of ocean currents, large grid spacing, and simplified sea-ice physics.
- Investigation of temperature and pressure patterns in globally warm and cold periods revealed that the east coast region did not have a consistent atmospheric response to global warming.
- A simple freezing-degree-day model predicted an approximate 1 degree latitude retreat in the southern ice boundary off eastern Canada for each °C increase in air temperature. The predicted future retreat of sea-ice off the east coast of Canada for a 4 to 6°C annual warming was found to be comparable to the minimum sea-ice extent observed off the east coast during the last 30 years.
- Investigation of changes in glacier calving rates using a simplified mass balance approach revealed that a 3°C annual warming produced little change in calving rates, while a 6°C warming resulted in a 50% reduction in present iceberg calving rates.
- Ice and iceberg severities were considered unlikely to undergo major changes in the immediate future. However, over the next 50-100 years, if increasing concentrations of greenhouse gases result in consistent regional warming of 2 to 4°C, sea-ice retreat and lower Grand Banks iceberg severity are considered not unlikely long-term outcomes.
- The response of the east coast region to a gradual increase in greenhouse gas concentrations could well include short periods which favour higher sea-ice and iceberg severities.

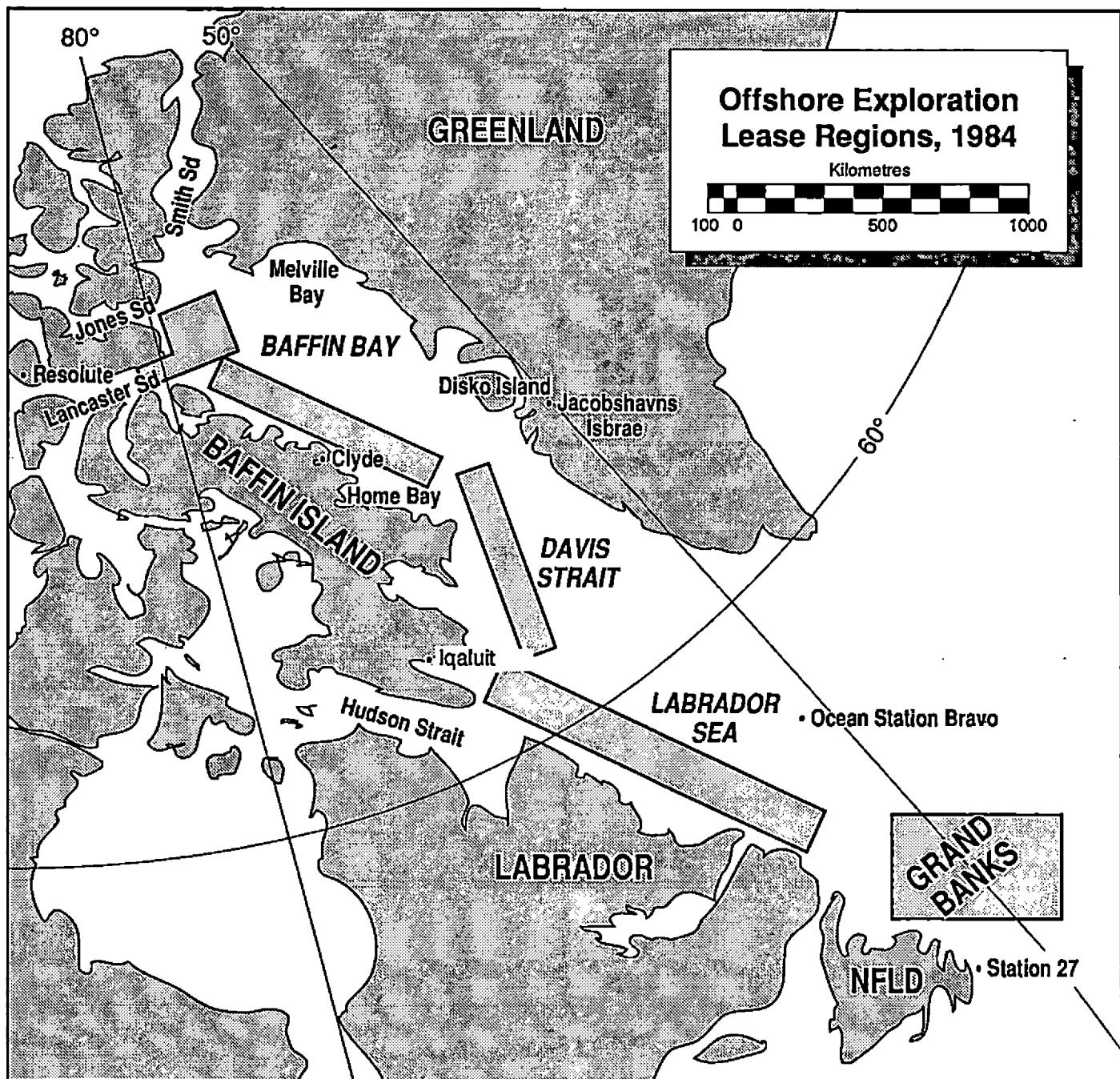


Figure 1: The greater east coast Canada region including offshore hydrocarbon exploration lease areas and geographical references.

## 2. INTRODUCTION

This issue of the Climate Change Digest presents the results of a scoping study (Marko et al., 1991) which was initiated in response to concerns that changes in the atmosphere and ocean related to increased greenhouse gas emissions may have significant effects on the iceberg and sea-ice regimes off the east coast of Canada. In particular, there have been suggestions that the calving rate of Greenland glaciers could increase substantially (Roots, 1989). Changes in ice regimes could have important implications for offshore activities in general, and the offshore oil and gas industry in particular, where many operations cannot be carried out in the presence of ice. The sensitivity of the oil and gas industry to ice conditions was clearly demonstrated by Stokoe (1988) who showed that down-time experienced in the severe 1984-85 ice season represented losses of about \$20-30 million in excess of those experienced during average ice seasons.

The main objective of this study was to take a critical look at the feasibility of constructing iceberg change scenarios off the east coast of Canada for a  $2\times\text{CO}_2$  atmosphere, which could be used to assess possible impacts on the offshore oil and gas industry. The study spatial domain extended from Baffin Bay to the Grand Banks (Figure 1), while the temporal domain spanned the next 50-100 years which covers the projected lifetime of the principal hydrocarbon reserves off eastern Canada, as well as the period when atmospheric  $\text{CO}_2$  is expected to exceed twice pre-industrial levels.

## 3. ENVIRONMENTAL PROCESSES

The calving, drift and deterioration of icebergs as they move from western Greenland down the east coast of Canada takes place through a complex interaction of atmospheric, cryospheric and oceanographic processes. This complexity is shown schematically in Figure 2. From a detailed review of the literature, this study determined that the key elements relevant to a consideration of possible climate change effects were glacier dynamics (which determine calving rates), regional winds and currents, bathymetry, water properties, and, most importantly, the region's extensive fields of fast and mobile sea-ice. The importance of sea-ice was deduced initially from the results of previous work undertaken by Smith (1931) and Marko et al. (1986) which showed that sea-ice extent had the highest correlation with observed numbers of icebergs reaching  $48^\circ\text{N}$ . This connection was found to be consistent with physical processes affecting iceberg transport and deterioration namely:

- (1) fast ice modulates the flux of bergs from calving fronts (Dowdeswell, 1989), and acts to reduce diversions and grounding probabilities for bergs moving off eastern Baffin Island;

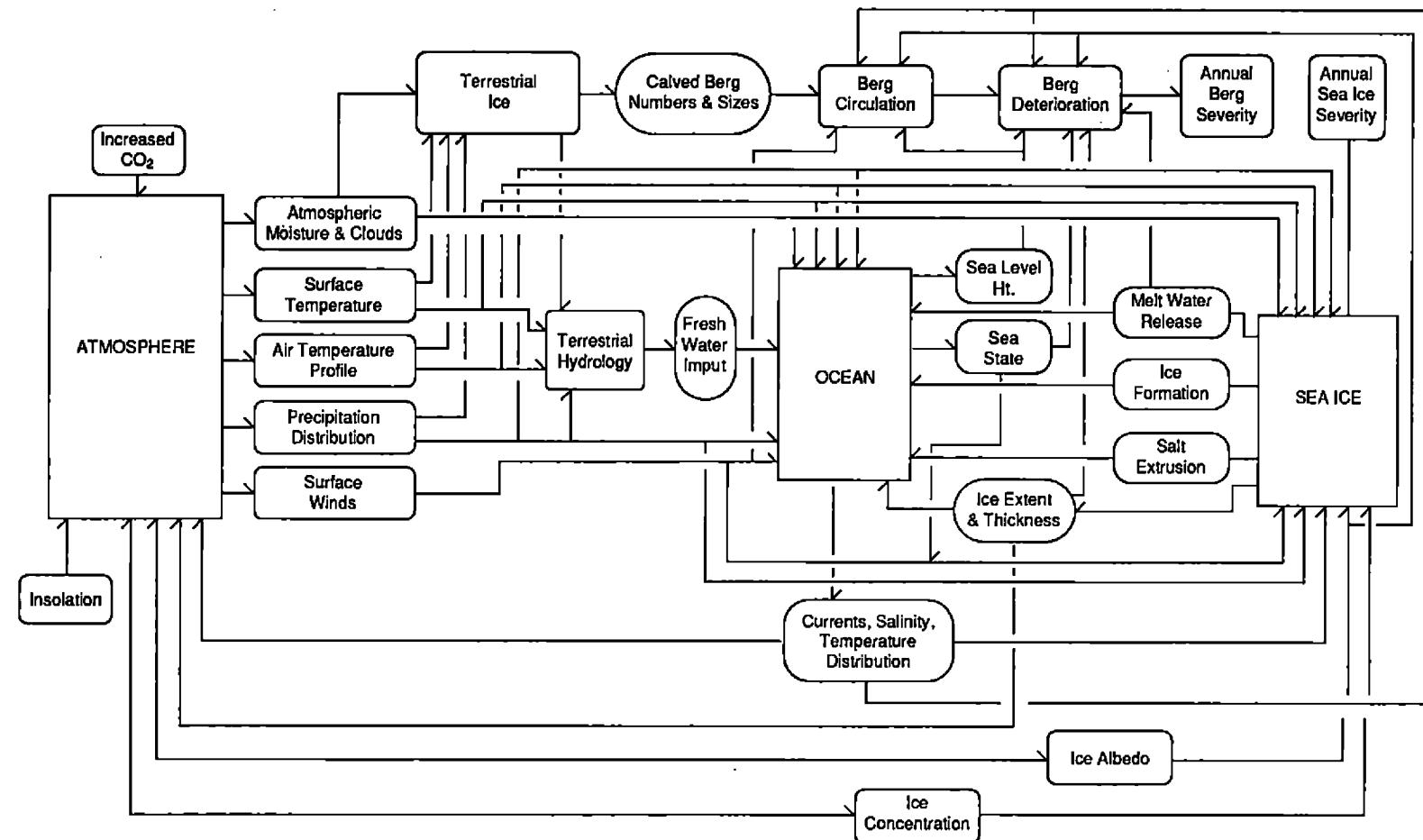


Figure 2: Flowchart representation of major environmental components, and their associated parameters and linkages.

- (2) sea-ice significantly reduces iceberg deterioration by damping wave erosion, and holding water temperatures below 0°C.

The correlation observed by Marko et al. (1986) between January ice extent in Davis Strait and iceberg severity at 48°N was explored further in this study to derive an understanding of present iceberg severity variability from considerations of regional sea-ice variability. The source term question (iceberg calving) was investigated separately as part of this study by Wadhams and Dowdeswell (1990) (Section 7).

#### 4. ICEBERG SEVERITY AND SEA-ICE EXTENT

The proposed link between January Davis Strait ice extent and iceberg severity south of 48°N (Figure 3) was explained through advection of upstream ice onto the Labrador shelf and Grand Banks in the spring, which protects icebergs from rapid deterioration. This mechanism was investigated by comparing January Davis Strait ice index values for the years 1972-89 with corresponding April 15 ice extent over 47° to 55°N. The results (Figure 4) exhibited a high correlation of 0.9, and the major exceptions were all cases where anomalous easterly spring winds had caused rapid reductions in sea-ice extent. It was hypothesized that late January sea-ice extent in Davis Strait set a maximum limit for ice area south of 55°N in mid-April, which was subsequently reduced by varying degrees depending on the direction of local spring winds. Comparisons of sea-ice extent over 47° to 55°N with iceberg counts south of 48°N (Figure 5) revealed two different relationships for ice extent above and below a threshold value of  $1.2 \times 10^5 \text{ km}^2$ . The deviations of most points from the regression lines were not considered to be in excess of the uncertainties inherent in the iceberg count data. When iceberg counts were fitted to a three-level severity classification consistent with International Ice Patrol hazard assessment, spring ice extent south of 55°N was found to be an excellent indicator of annual iceberg severity.

It was thus concluded there was a physical basis for the observed correlation between iceberg severity and upstream (Davis Strait) January ice extent. Comparison of 1972-89 iceberg severity classes with January Davis Strait ice extent alone correctly predicted 76% of the severity classes. All of the four significant errors were associated with years where easterly winds produced springtime reductions in ice extent south of 55°N.

#### 5. ICE VARIABILITY

Because of the hypothesized linkage between iceberg severity and sea-ice extent, a major section of the report was devoted to understanding current sources of variability in regional sea-ice cover. Available data indicate that the interannual variability in sea-ice extent off eastern Canada is dominated by large amplitude

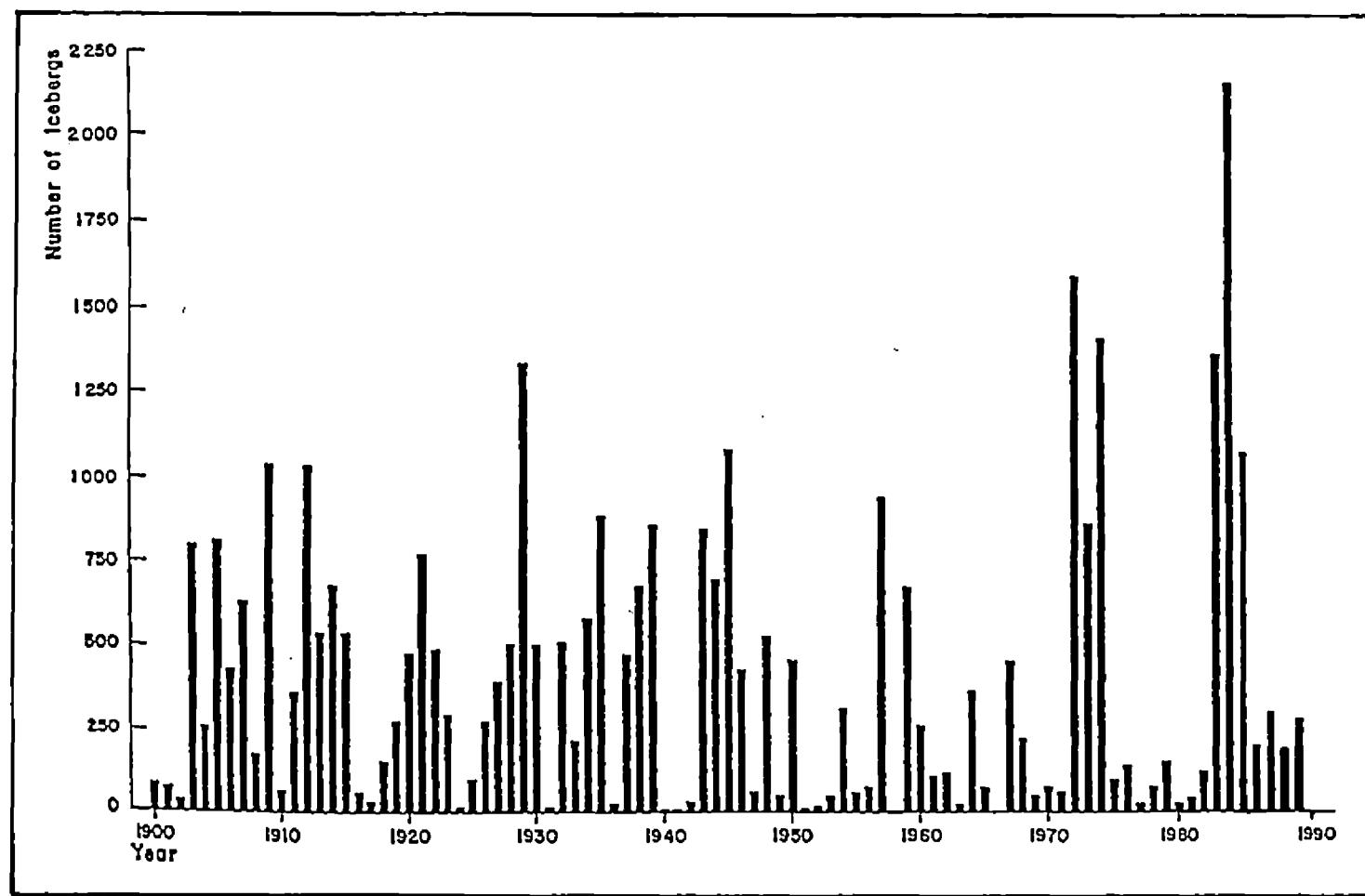


Figure 3: Annual iceberg counts as recorded south of  $48^{\circ}\text{N}$  by the International Iceberg Patrol.

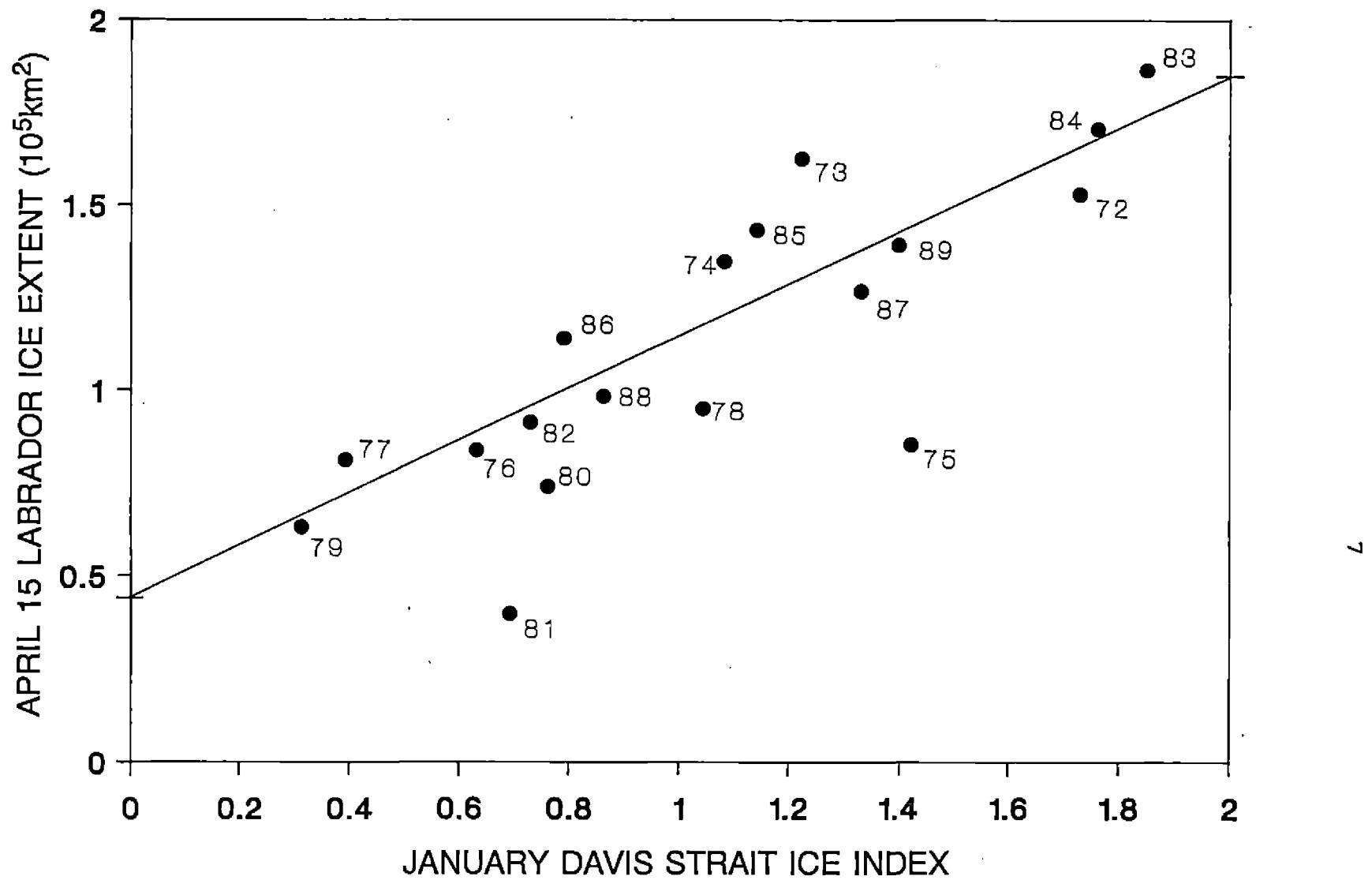


Figure 4: Observed relationships between corresponding annual April 15 Labrador ice extents in three  $2^\circ$  latitude strips between  $47^\circ$  and  $55^\circ\text{N}$  (Peterson and Prinsenberg, 1990) and the January Davis Strait Ice Extent Index (Marko et al., 1986). The labels identify the corresponding solid circle data points for the years 1972-1989. The included line represents a linear regression ( $r=.9$ ) derived from the 1972-1989 data set, excluding the 1975 and 1981 data points.

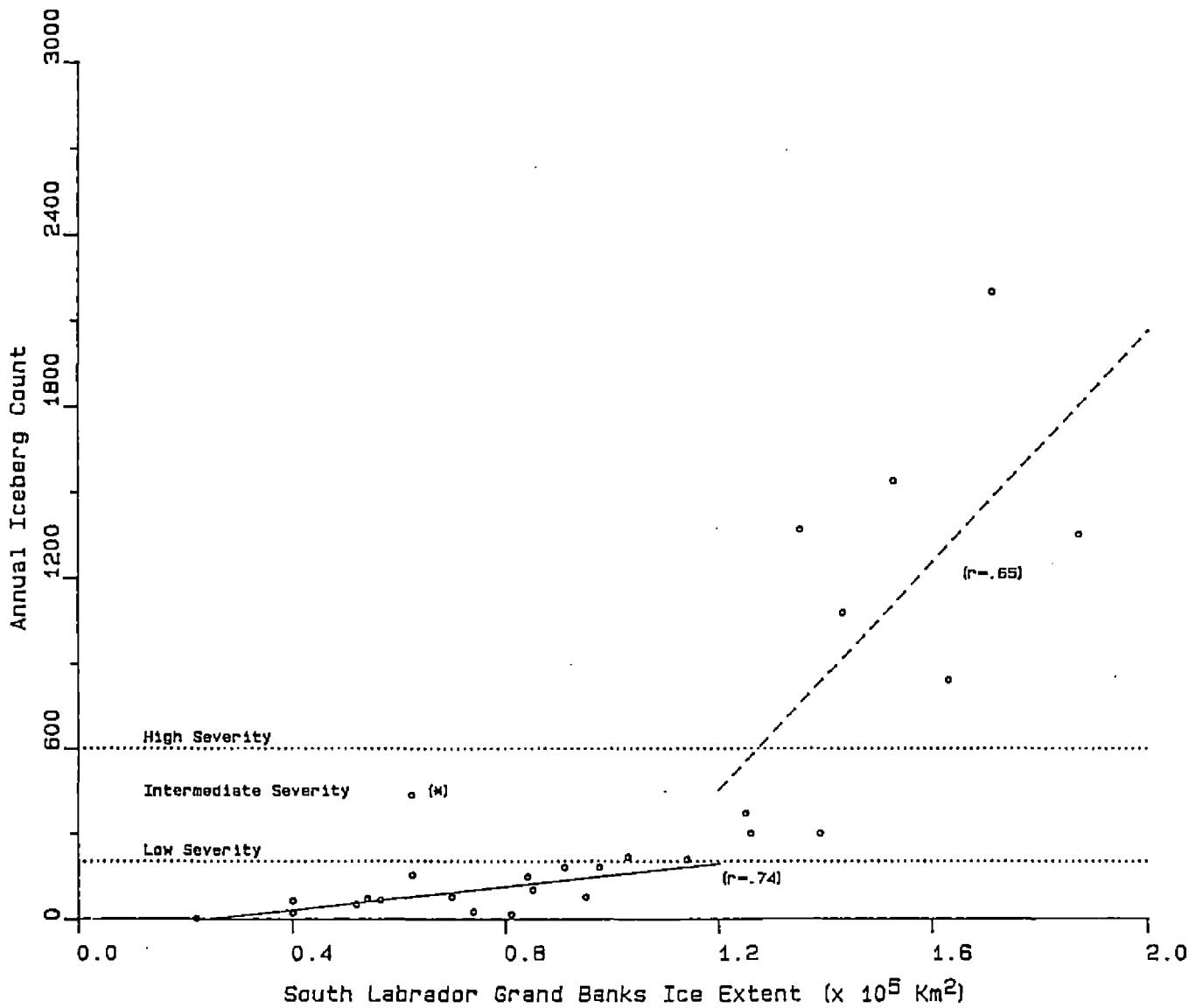


Figure 5: Iceberg counts (1963-1989) as a function of the April 15 ice extent off S. Labrador and Newfoundland, as estimated from three 2 degree latitude strips between  $47^\circ\text{N}$  and  $55^\circ\text{N}$ . The figure also includes linear regression lines in both the low and high extent regions and the boundaries of the high, low and intermediate iceberg count categories described in the text. An outlier point corresponding to 1967 values is indicated by an asterisk (\*).

fluctuations occurring at both intra- and inter-decadal time scales (Figure 6). While many authors have reported statistically significant correlations of sea-ice extent with meteorological and oceanographic parameters, the causes of decadal or longer scale variability are not immediately evident. Explanations linked to solar variation (Hill and Jones, 1990) and a complex negative feedback linkage (Mysak et al., 1990) have been proposed, but these have not been conclusively evaluated because of the short period of reliable ice cover data.

The data shown in Figure 6 were compared to a number of other proxy indicators of spring sea-ice extent on the Grand Banks. A conservative interpretation of these data suggested little change in sea-ice conditions over the period 1900-1990, except for a short period of rapid decline in ice extent during the 1960's. This decline occurred during a period of anomalous circulation in northern high latitudes (Walsh and Chapman, 1990). The reasons for the changed circulation are unclear: however, they happen to coincide with a period of global cooling and reduced climate forcing (Hansen and Lacis, 1990).

Since the 1960's, the Northern Hemisphere has experienced a pronounced warming which has been associated with a reduction in total Arctic sea-ice extent (Parkinson and Cavalieri, 1989). However, the Davis Strait region has experienced a cooling of about 0.5°C and ice extent has typically been higher than that experienced during the 1960's<sup>1,2</sup>. There is currently insufficient data to determine whether this recent regional cooling represents a response to greenhouse gas forcing or whether it is part of the inherent variability of the region<sup>3</sup>.

Interannual variation in January Davis Strait ice extent was found to be closely related to the strength of northerly or northwesterly wind forcing in Baffin Bay during the early winter. Stronger wind forcing was typically associated with a deeper than normal Icelandic Low. It was also shown that variation in sea-ice and water exports from regional side channels such as Lancaster Sound, may contribute to interannual variability in sea-ice extent.

---

<sup>1</sup> Analysis of satellite data by Parkinson (1992) showed a significant lengthening of the sea-ice season in Davis Strait and the Labrador Sea over the period 1979-86.

<sup>2</sup> Recent oceanographic measurements (Read and Gould, 1992) suggest that this cooling and above-average sea-ice extent are related to a freshening and cooling of North Atlantic deep and intermediate waters, and they predict that this cooler, fresher water will continue to circulate around the North Atlantic over the next decade.

<sup>3</sup> Walsh (1993) indicates that CO<sub>2</sub>-doubling experiments with some of the more advanced coupled atmosphere-ocean climate models project little warming, or even cooling over the north Atlantic Ocean near southern Greenland. However, there still is insufficient understanding of the coupled ocean-ice-atmosphere climate system to attribute the observed regional cooling and above-average sea-ice severity to an enhanced greenhouse effect.

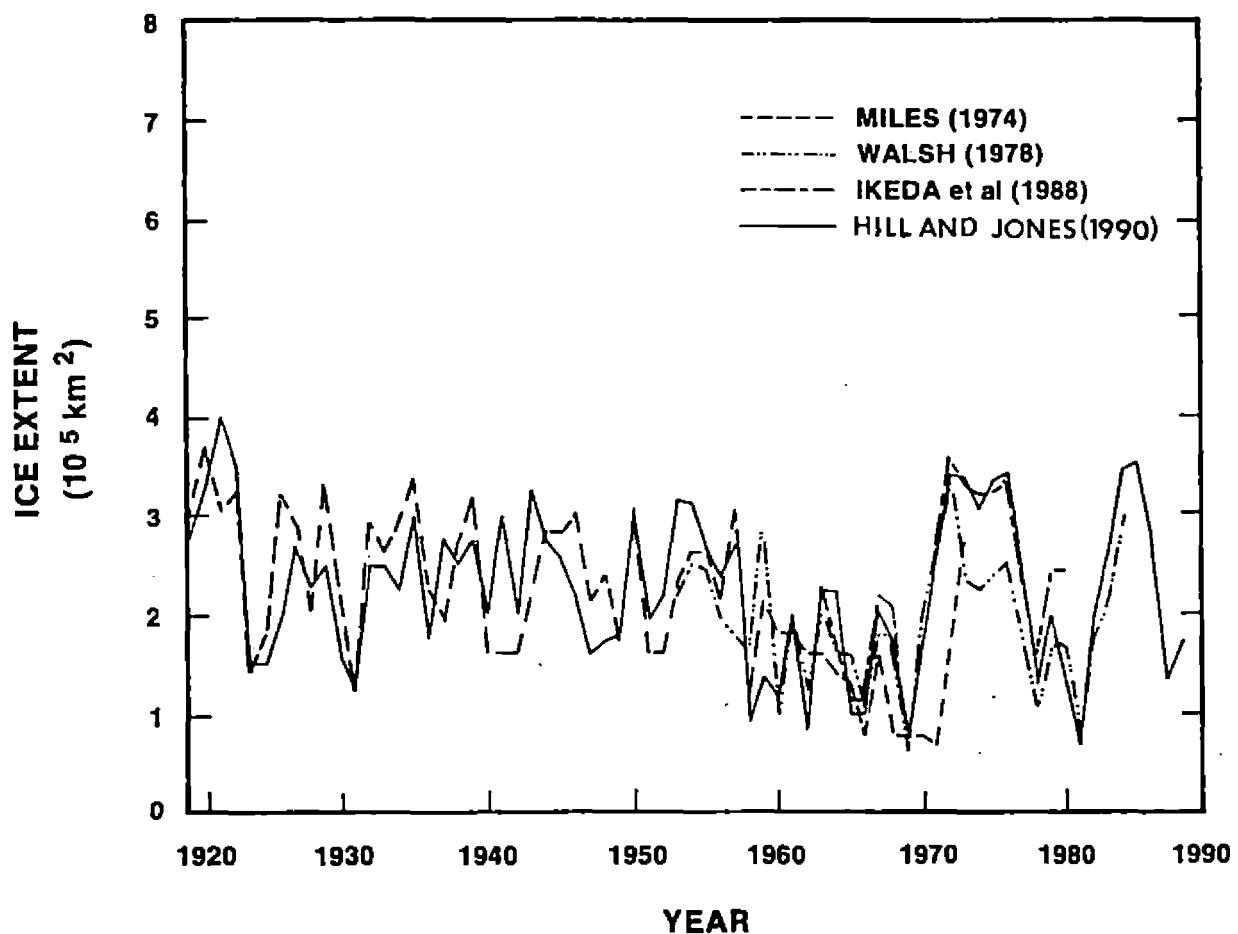


Figure 6: Interannual variability in sea ice extent for (c) South Labrador/Newfoundland (south of 55°N; 1920-1988; Hill and Jones, 1990).

## 6. CLIMATE CHANGE EFFECTS ON SEA-ICE

General Circulation Models (GCM's) and empirical analogue techniques were evaluated for their utility in scenario construction. GCM results were not found to be easily applied to the study area because of inadequate representations of ocean currents, poor spatial resolution, and simplified parameterizations of sea-ice thermodynamics. It was concluded that until further advances were made in coupled atmosphere-ocean GCM's, regional and seasonal scenario information would need to be derived from empirical or regional modelling techniques.

Investigation of warm-cold temperature and pressure analogues did not support the presence of a consistent regional response to larger-scale warming. However, comparisons of temperature and pressure fields for high and low Davis Strait ice extent over the period 1972-89 revealed above-average ice extent was consistently associated with a deeper than normal Icelandic Low.

A rough estimate of the sensitivity of sea-ice to consistent regional warming was investigated by applying the Bilello (1960) melting degree day relationships derived for fast ice. This ignores oceanic heat flux and snow cover effects, and thus represents a fairly crude first order approach. This analysis revealed an approximate 1 degree latitude retreat in the southern ice boundary off eastern Canada for every °C of warming. The estimated ice extent retreat for 4 to 6°C annual warming was observed to be comparable to the minimum sea-ice extent observed off the east coast during the last 30 years.

## 7. CLIMATE CHANGE AND ICEBERG PRODUCTION

An investigation of glacier calving response to climate warming was carried out as part of this study by Wadhams and Dowdeswell (1990). Mass balance computations were made following Bindschadler (1984) for a representative West Greenland glacier, Jakobshavn Isbrae, at 69°N. The approach used information on basin area, mass inputs, and an empirical relationship between the change in ablation rate with elevation. The ablation rate,  $b$ , was computed assuming a linear relation between increasing ablation and decreasing elevation:

$$b = db/dh (H_e - h) \quad \text{m water yr}^{-1}$$

where  $H_e$  is the equilibrium line altitude (elevation of zero net annual glacier accumulation/ablation) and  $h$  is the elevation of a given point on the glacier. A constant change in ablation rate with altitude of 0.00153  $\text{yr}^{-1}$  was assumed based on measurements made by Braithwaite (1980) at 72°N. The empirical ablation relationship was used with data on precipitation and glacier areal extent to estimate the ice volume for the lower 50 km segment of the glacier which was taken to represent the rate of iceberg production.

For an assumed present day equilibrium altitude of 1300 m, the model results agreed well with previously observed calving rates and more recent calving rate estimates made by Echelmeyer (pers. comm.).

The model was used to estimate changes in mass balance for two warming scenarios with a 500 m and 1000 m rise in equilibrium line altitude. These changes are approximately equivalent to 3°C and 6°C increases in regional annual temperatures. Local changes in precipitation in response to reduced sea-ice cover were assumed to increase annual precipitation 10% in both scenarios. The 500 m rise scenario gave calving rates which differed little from present day estimates. However, the 1000 m rise showed a 50% reduction in present iceberg calving rates.

This approach is only valid over longer time scales, and it was concluded that glacier dynamic responses need to be addressed for iceberg calving scenario construction over a 50-100 year time frame. In particular, there is a need to develop a reliable parameterization of iceberg calving relevant to the tidewater glaciers of western Greenland.

## 8. ICEBERG CHANGE SCENARIOS

The study concluded that there was no evidence to suggest that 20th Century global warming had contributed to any amelioration of ice or iceberg severity off eastern Canada. On the contrary, since about 1960, winter regional temperatures and ice severities have been directly out-of-phase with global temperature trends. Data were not sufficient to determine whether this regional cooling was in fact a response to greenhouse gas forcing, or whether it was part of the natural variability present in the atmosphere-ice-ocean system. In the absence of such knowledge, it could only be concluded that ice and iceberg severities were unlikely to undergo major changes in the immediate future. However, over the next 50-100 years, if greenhouse gas forcing does result in regional warming of 2 to 4°C, sea-ice retreat was considered a not unlikely regional response. Such a retreat would in turn, *inter alia*, reduce iceberg severity on the Grand Banks via increased potential for iceberg deterioration.

This hypothesis was tested by computing deterioration estimates following White et al. (1980) for hypothetical icebergs reaching the location 48°N, 48°W during the April-June iceberg season. Icebergs were assumed to follow the 1000 m depth contour with a mean drift speed of 15 km/day. Calculations were performed using maximum and minimum ice extent given by the Naval Oceanography Command Sea-ice Climatic Atlas (NOC, 1986). The estimates suggested that variations in sea-ice extent between present day extremes could produce about a factor of 4 difference in the number of icebergs reaching 48°N, 48°W. This result is of the same order of magnitude as the difference between the average numbers of icebergs presently observed in heavy and light iceberg severity years.

An increase in iceberg severity on the Grand Banks would require heavier sea-ice conditions (with little change in calving rates), or a rise in calving rates (with little change in sea-ice severity). These combinations were considered to have a lower long term probability of occurrence under any consistent regional warming than reduced regional ice cover. However, it was noted that the transient response of the region to greenhouse gas forcing could well include short periods of conditions conducive to higher iceberg severities.

#### **9. RECOMMENDATIONS FOR FURTHER RESEARCH**

The study identified a large number of knowledge gaps which require further work before more reliable scenarios of future iceberg changes can be developed. Further understanding of sea-ice interannual variability was considered a necessity for future scenario development in light of the proposed linkages between sea-ice extent and iceberg attrition processes. In particular, further insights into the features of the oceanographic and atmospheric circulations and of the teleconnections responsible for variations in winter upstream ice extent, and for the modification of spring ice extent further downstream, were identified as key requirements for anticipating future trends in iceberg severity.

Other major areas of uncertainty were the calving process and transient glacier response. Development of a reliable calving parameterization for west Greenland glaciers was considered to be of particular importance. This development is currently hampered by a lack of data. However, monitoring of glaciers and iceberg calving with the radar-equipped satellites being launched in the early 1990's will greatly assist this task.

#### **10. ACKNOWLEDGEMENTS**

The study authors and the study advisor gratefully acknowledge the many individuals who provided useful comments and advice. These included T. Agnew, B.T. Alt, R.G. Barry, R. Bindschadler, G. Boer, J.O. Bursey, K. Echelmeyer, M. Ikeda, R.M. Koerner, M.F. Meier, D. Mudry, L. Muir, Cmdr. J.J. Murray, O. Mycyk, L.A. Mysak, J. Newell, C.S.L. Ommaney, S. Porter, S. Prinsenberg, E.F. Roots, B. Santer, J.E. Walsh, and A. Weidick. This work was supported by the Federal Panel on Energy R&D.

#### **11. REFERENCES**

Bilello, M.A., 1960: Formation, growth and decay of sea-ice in the Canadian Arctic Archipelago. Research Report 65, US Army Snow, Ice and Permafrost Res. Est., Wilmette, Ill.

Bindschadler, R.A., 1984: Jakobshavn Glacier drainage basin: a balance assessment. *J. Geophy. Res.* **89(C2)**:2066-2072.

Braithwaite, R.J., 1980: Regional modelling of ablation in West Greenland. Grønlands Geologiske Undersøgelse, Report 98, 20 pp.

Dowdeswell, J.A., 1989: On the nature of Svalbard icebergs. *J. of Glaciology* 35:224-234.

Hansen, J.E. and A.A. Lacis, 1990: Sun and dust versus greenhouse gases: an assessment of the relative roles in global climate change. *Science* 346:713-719.

Hill, B.T. and S.J. Jones, 1990: The Newfoundland ice extent and the solar cycle from 1860 to 1988. *J. Geophy. Res.* 95(C4):5385-5394.

Marko, J.R., D.B. Fissel and J.R. Birch, 1986: Physical approached to iceberg severity prediction. Environmental Studies Revolving Funds Report 038, Ottawa, 104 pp.

Marko, J.R., D.B. Fissel, P. Wadhams, J.A. Dowdeswell, P.M. Kelly and W.C. Thompson, 1991: Implications of global warming for Canadian east coast sea-ice and iceberg regimes over the next 50-100 years. Canadian Climate Centre Report 91-9, Atmospheric Environment Service, Downsview, Ontario, 126 pp.

Mysak, L.A., D.K. Manak, and R.F. Marsden, 1990: Sea-ice anomalies in the Greenland and Labrador Seas during 1901-1984 and their relation to an interdecadal Arctic climate cycle. *Climate Dynamics* 5:111-133.

NOC (Naval Oceanographic Command), 1986: Sea-ice Climatic Atlas, Volume II, Arctic East. Document NAVAIR 50-iC-541, 147 pp.

Parkinson, C.L. and D.J. Cavalieri, 1989: Arctic sea-ice 1973-87, seasonal, regional and interannual variability. *J. Geophy. Res.* 94:14,499-14,523.

Parkinson, C.L., 1992: Spatial patterns of increases and decreases in the length of the sea ice season. *J. Geophys. Res.*, 97(C9):14,377-14,388.

Peterson, I.K. and S.J. Prinsenberg, 1990: Sea-ice fluctuations in the western Labrador Sea. Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences No. 123, Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, Nova Scotia, 130 pp.

Read, J.F. and W.J. Gould, 1992: Cooling and freshening of the subpolar North Atlantic Ocean since the 1960's. *Nature* 360:55-57.

Roots, E.F., 1989: Climate change: high latitude regions. *Climatic Change* 15:223-254.

Smith, E., 1931: The Marion expedition to Davis Strait and Baffin Bay, 1928. US Coast Guard Bulletin No. 19, Pt. 3, 221 pp.

Stokoe, P., 1988: Socioeconomic assessment of the physical and ecological impacts of climate change on the marine environment of the Atlantic region of Canada - Phase I. Climate Change Digest Report No. 88-07, Atmospheric Environment Service, Downsview, Ontario, 8 pp.

Wadhams, P. and J.A. Dowdeswell, 1990: Changes in iceberg production from the Greenland ice sheet in response to greenhouse warming. Subcontractors report prepared for Arctic Sciences Limited, 24 pp.

Walsh, J.E. and W.L. Chapman, 1990: Arctic contribution to upper-ocean variability in the North Atlantic. *J. of Climate* 3:1462-1472.

Walsh, J.E. 1993: The elusive Arctic warming. *Nature* 361:300-301.

White, F.M., M.L. Spaulding and L Gominho, 1980: Theoretical estimates of the various mechanisms involved in iceberg deterioration in the open ocean environment. Report CG-D-62-80, 48 Coast Guard R&D Center, 126 pp.

Hydrography and Ocean Sciences, n° 123, Institut océano-graphique de Bedford, Dartmouth, Nouvelle-Écosse, 130 p.

Read, J.F. et W.J. Gould, 1992 : *Cooling and freshening of the subpolar North Atlantic Ocean since the 1960's*. Nature 360:55-57

Roots, E.F., 1989 : *Climate change : high latitude regions*. Climatic Change 15:223-254.

Smith, E., 1931 : *The Marion expedition to Davis Strait and Baffin Bay, 1928*. US Coast Guard Bulletin n° 19, Pt. 3, 221 p.

Stokoe, P., 1988 : *Évaluation socio-économique des conséquences physiques et écologiques du changement climatique sur le milieu marin dans la région de l'Atlantique - Phase I. Sommaire du changement climatique SCC88-07*. Service de l'environnement atmosphérique, Downsview, Ontario, 8p.

Wadhams, P. et J.A. Dowdeswell, 1990 : *Changes in iceberg production from the Greenland ice sheet in response to greenhouse warming*. Rapports de sous-entrepreneurs préparé pour Arctic Sciences Limited, 24 p.

Walsh, J.E. et W.L. Chapman, 1990 : *Arctic contribution to upper-ocean variability in the North Atlantic*. J. of Climate 3:1462-1472.

Walsh, J.E., 1993 : *The elusive Arctic warming*. Nature 361:300-301

White, F.M., M.L. Spaulding et L. Gominho, 1980 : *Theoretical estimates of the various mechanisms involved in iceberg deterioration in the open ocean environment*. Report CG-D-62-80, 48 Coast Guard R&D Center, 126 p.

## 11. RÉFÉRENCES

- Bilello, M.A., 1960 : *Formation, growth and decay of sea ice in the Canadian Arctic Archipelago.* Research Report 65, US Army Snow, Ice and Permafrost Res. Est., Wilmette, Ill.
- Bindschadler, R.A., 1984 : *Jakodshavns Glacier drainage basin : a balance assessment.* J. Geophy. Res. 89(C2) : 2066-1072.
- Brathwaite, R.J., 1980 : *Regional modelling of ablation in West Greenland.* Groenlands Geologiske Unders gelse, Report 98, 20 p.
- Dowdeswell, J.A., 1989 : *On the nature of Svalbard icebergs.* J. of Glaciology 35:224-234.
- Hansen, J.E. et A.A. Lacis, 1990 : *Sun and dust versus greenhouse gases: an assessment of the relative roles in global climate change.* Science 346:713-719.
- Hill, B.T. et S.J. Jones, 1990 : *The Newfoundland ice extent and the solar cycle from 1860 to 1988.* J. Geophy. Res. 95(C4) : 5385-5394.
- Marko, J.R., D.B. Fissel et J.R. Birch, 1986 : *Physical approaches to iceberg severity prediction.* Rapport 038 du Fonds renouvelable pour l'étude de l'environnement, Ottawa, 104 p.
- Marko, J.R., D.B. Fissel, P. Wadhams, J.A. Dowdeswell, P.M. Kelly et W.C. Thompson, 1991 : *Implications of global warming for Canadian east coast sea-ice and iceberg regimes over the next 50-100 years.* Rapport 91-9 du Centre climatologique canadien, Service de l'environnement atmosphérique, Downsview, Ontario, 126 p.
- Mysak, L.A., D.K. Manak et R.F. Marsden, 1990 : *Sea ice anomalies in the Greenland and Labrador Seas during 1901-1984 and their relation to an interdecadal Arctic climate cycle.* Climate Dynamics 5:111-133.
- NOC (Naval Oceanographic Command), 1986 : *Sea Ice Climatic Atlas, Volume II, Arctic East.* Document NAVAIR 50-iC-541, 147 p.
- Parkinson, C.L. et D.J. Cavalieri, 1989 : *Arctic sea ice 1973-87, seasonal, regional and interannual variability.* J. Geophy. Res. 94:14, 499-14, 523.
- Parkinson, C.L., 1992 : *Spatial patterns of increases and decreases in the length of the sea ice season.* J. Geophys. Res., 97(C9):14,377-14,388.
- Peterson, I.K. et S.J. Prinsenberg, 1990 : *Sea ice fluctuations in the western Labrador Sea.* Canadian Technical Report of

l'heure actuelle, selon qu'il s'agit de bonnes ou de mauvaises années.

Une augmentation du nombre d'icebergs sur les Grands Bancs exigerait des conditions glacielles plus encombrées (avec peu de changement dans les taux de vêlage) ou une hausse de ces taux (sans grand changement de l'état des glaces). On a considéré que ces combinaisons avaient une probabilité d'occurrence à long terme dans un réchauffement régional cohérent plus basse qu'une réduction du couvert de glace régional. On a cependant noté que la réponse transitoire de la région au forçage des gaz à effet de serre pourrait se traduire, pendant de brèves périodes, par des situations entraînant une hausse du nombre des icebergs.

#### **9. RECOMMANDATIONS POUR LES RECHERCHES SUBSÉQUENTES**

L'étude a mis en évidence un certain nombre de lacunes dans les connaissances, qui devront être comblées pour qu'on puisse élaborer des scénarios plus fiables des changements dans les conditions d'icebergs. Il est jugé indispensable de mieux comprendre la variabilité interannuelle de la glace de mer pour établir des scénarios à la lumière des liens proposés entre son extension et les processus d'attrition des icebergs. En particulier, on devra se pencher sur les caractéristiques des circulations atmosphériques et océanographiques, ainsi que sur les téléconnections régissant les variations dans l'étendue de la glace d'amont en hiver, car ce sont des facteurs clés essentiels pour prévoir les tendances futures du nombre des icebergs.

Les autres zones d'incertitude étaient le processus du vêlage et la réponse du glacier aux états transitoires. On considérait comme particulièrement important d'élaborer une paramétrisation fiable du vêlage des glaciers de l'ouest du Groenland, étape qui souffre actuellement du manque de données. Cependant, la surveillance des glaciers et de la production d'icebergs par les satellites équipés de radars, lancés au début de 1990, aidera beaucoup à sa réalisation.

#### **10. REMERCIEMENTS**

Les auteurs de l'étude et le conseiller scientifique sont heureux de remercier les nombreuses personnes qui leur ont fourni commentaires et conseils, et, en particulier, T. Agnew, B.T. Alt, R.G. Barry, R. Bindschadler, G. Boer, J.O. Bursey, K. Echelmeyer, M. Ikeda, R.M. Koerner, M.F. Meier, D. Mudry, L. Muir, le Cdr. J.J. Murray, O. Mycyk, L.A. Mysak, J. Newell, C.S.L. Omaney, S. Porter, S. Prinsenberg, E.F. Roots, B. Santer, J.E. Walsh et A. Weidick. Ces travaux ont été appuyés par le Groupe fédéral de recherche et développement énergétiques.

Le modèle a été utilisé pour la détermination des changements du bilan de masse dans deux scénarios de réchauffement, mettant en jeu des élévations de 500 m et de 1000 m de l'altitude de la ligne d'équilibre. Ces changements correspondent grossièrement à des hausses de la température annuelle régionale de 3 et 6 °C respectivement. On a évalué à 10 % dans les deux cas les variations locales des précipitations en réaction à une réduction de la couverture glacielle. Pour une élévation de 500 m de la ligne d'équilibre, le modèle a donné des taux de vêlage peu différents des estimations pour notre époque. Par contre, l'autre scénario indiquait une réduction de 50 % par rapport aux taux de vêlage actuels.

Cette approche n'est valable que pour de grandes échelles de temps, et on en a conclu qu'il faut tenir compte de la réponse dynamique des glaciers pour élaborer des scénarios de production d'icebergs à un horizon de 50 à 100 ans. En particulier, il faudra établir une paramétrisation fiable de la production d'icebergs pertinente aux glaciers de marée de l'ouest du Groenland.

## **8. SCÉNARIOS DE CHANGEMENTS DANS LE RÉGIME DES ICEBERGS**

L'étude indiquait en conclusion que rien ne permet de penser que le réchauffement planétaire du XX<sup>e</sup> siècle a modifié dans un sens ou l'autre la densité des icebergs au large de l'est du Canada. Au contraire, depuis environ 1960, les températures hivernales régionales et le nombre d'icebergs ont été en opposition de phase avec les tendances mondiales de la température. On n'a pas assez de données pour déterminer si ce refroidissement régional était en fait une réaction au forçage des gaz à effet de serre, ou s'il tenait à la variabilité naturelle du système atmosphère-glaces-océan. Faute de le savoir, on peut seulement conclure que la gravité des conditions glaciaires et le nombre d'icebergs ne devraient pas changer beaucoup dans l'immédiat. Cependant, à une échelle de 50 à 100 ans, si le forçage des gaz à effet de serre causait effectivement un réchauffement de 2 à 4 °C, il n'est pas exclu que la réaction régionale soit un recul de la glace, qui, lui-même, entraînerait entre autres une réduction du nombre d'icebergs sur les Grands Bancs, puisque le potentiel de destruction de ceux-ci serait plus élevé.

On a testé cette hypothèse en faisant des estimations de la détérioration selon White et coll. (1980), pour des icebergs qui atteindraient 48N 48W au cours de la saison des icebergs (avril à juin). On suppose que les icebergs suivent l'isobathe 1 000 m à une vitesse moyenne de dérive de 15 km/jour. Les calculs utilisaient les extensions maximale et minimale données par l'atlas climatique des glaces de mer du Naval Oceanographic Command (NOC, 1986). Ces estimations laissaient penser que des variations de l'extension des glaces entre les extrêmes actuels pourraient entraîner une différence d'un facteur 4 dans le nombre d'icebergs atteignant 48N 48W. Ce résultat est du même ordre de grandeur que la différence entre les nombres moyens d'icebergs observés à

L'examen des analogues de pression et de températures chaudes--froides n'étayait pas la présence d'une réponse régionale cohérente avec un réchauffement à grande échelle. Cependant, une comparaison des champs de température et de pression dans les cas d'extension maximale et minimale dans le détroit de Davis entre 1972 et 1989 a montré que les extensions supérieures à la normale étaient régulièrement associées à une dépression d'Islande plus profonde que la normale.

On a effectué une évaluation sommaire de la sensibilité de la glace de mer à un réchauffement régional cohérent en appliquant les relations de Bilello (1960) de degrés-jours de fonte de la glace déduites pour la glace fixée. Comme elles ne prennent pas en compte les effets du flux thermique océanique et du couvert nival, elles ne constituent qu'une approche de premier ordre assez grossière. Cette analyse a mis en évidence un recul d'environ un degré de latitude de la lisière sud de la glace au large de l'est du Canada pour chaque degré Celsius de réchauffement. Le recul estimatif entraîné par un réchauffement de 4 à 6 °C s'est révélé comparable à l'extension minimale observée au large de la côte est dans les trente dernières années.

## 7. CHANGEMENT CLIMATIQUE ET PRODUCTION D'ICEBERGS

Dans le cadre de la présente étude, Wadhams et Dowdeswell (1990) ont examiné la variation du taux de vêlage des glaciers consécutive au réchauffement planétaire. Ils ont effectué des calculs du bilan de masse selon la méthode de Bindschadler (1984) pour un glacier typique de l'ouest du Groenland, le Jakobshavns Isbrae, situé à 69N. L'approche utilisait de l'information sur la superficie du bassin, les apports de masse et une relation empirique entre le taux d'ablation et l'altitude. On a calculé le taux d'ablation,  $b$ , en supposant une relation linéaire inverse entre l'ablation et l'altitude :

$$b = db/dh (H_e - h) \text{ mètres d'eau par année,}$$

où  $H_e$  est l'altitude de la ligne d'équilibre (altitude d'un rapport accumulation/ablation annuelle nette du glacier nulle) et  $h$  est l'altitude d'un point quelconque du glacier. On a postulé un changement constant de 0,00153 par an du taux d'ablation avec l'altitude, d'après des mesures effectuées par Brathwaite (1980) à 72N. On a utilisé la relation empirique d'ablation avec les données sur les précipitations et la superficie du glacier pour estimer le volume de glace du segment inférieur de 50 km du glacier, qu'on a pris pour représenter le taux de production d'icebergs.

Dans l'hypothèse d'une altitude d'équilibre actuelle de 1300 m, les résultats du modèle concordaient bien avec les taux de vêlage précédemment observés et avec les taux estimés plus récemment par Echelmeyer (comm. pers.).

période de refroidissement et de baisse du forçage climatique à l'échelle mondiale (Hansen et Lacis, 1990).

Depuis les années 1960, l'hémisphère Nord a connu un réchauffement prononcé, associé à une réduction de l'étendue totale de glace de mer dans l'Arctique (Parkinson et Cavalieri, 1989). Cependant, dans le détroit de Davis, on a constaté un refroidissement d'environ 0,5 °C et l'extension de la glace y a été généralement plus grande que dans les années 1960<sup>1,2</sup>. On ne dispose actuellement pas d'assez de données pour déterminer si ce récent refroidissement régional est une réponse au forçage des gaz à effet de serre ou s'il s'agit de la variabilité naturelle de la région<sup>3</sup>.

On a constaté que la variation interannuelle de l'extension de la glace dans le détroit de Davis était étroitement liée à l'intensité du forçage du vent de direction nord ou nord-ouest dans la baie de Baffin au début de l'hiver. Ce forçage éolien plus marqué est typiquement lié à une dépression d'Islande plus profonde que la normale. On a aussi montré que la variation des apports de glace de mer et d'eau en provenance des chenaux latéraux de la région, comme le détroit de Lancaster, pouvaient contribuer à la variabilité interannuelle de l'extension de la glace de mer.

## 6. EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA GLACE DE MER

On a évalué l'utilité, dans l'élaboration des scénarios, des MCG et des techniques recourant à des analogues empiriques. Les résultats des MCG ne se sont pas révélés faciles à appliquer au domaine d'étude en raison des lacunes des modèles : représentations inadéquates des courants océaniques, médiocre résolution spatiale et paramétrisations simplifiées de la thermodynamique de la glace de mer. On en a conclu que, tant que les modèles couplés atmosphère-océan n'auraient pas fait de progrès, il faudrait tirer des techniques empiriques ou régionales de modélisation l'information requise pour des scénarios régionaux et saisonniers.

---

<sup>1</sup>L'analyse des données satellitaires par Parkinson (1992) a montré une importante prolongation de la saison des glaces de mer dans le détroit de Davis et la mer du Labrador entre 1979 et 1986.

<sup>2</sup>Des observations océaniques récentes (Read et Gould, 1992) laissent penser que ce refroidissement et une étendue de glace au-dessus de la moyenne sont associés à la dessalure et au rafraîchissement des eaux profondes et intermédiaires de l'Atlantique Nord. Ils prévoient que ces eaux continueront de circuler dans l'Atlantique Nord au cours de la prochaine décennie.

<sup>3</sup>Walsh (1993) indique que des expériences à l'aide de modèles climatiques couplés atmosphère-océan de pointe impliquant un doublement du CO<sub>2</sub> projettent peu de réchauffement, ou même de refroidissement, au-dessus de l'Atlantique Nord au sud du Groenland. Toutefois, la connaissance du système climatique couplé océan-atmosphère est encore insuffisante pour attribuer le refroidissement et la densité de glace au-dessus de la moyenne observés dans la gérion à un effet de serre accru.

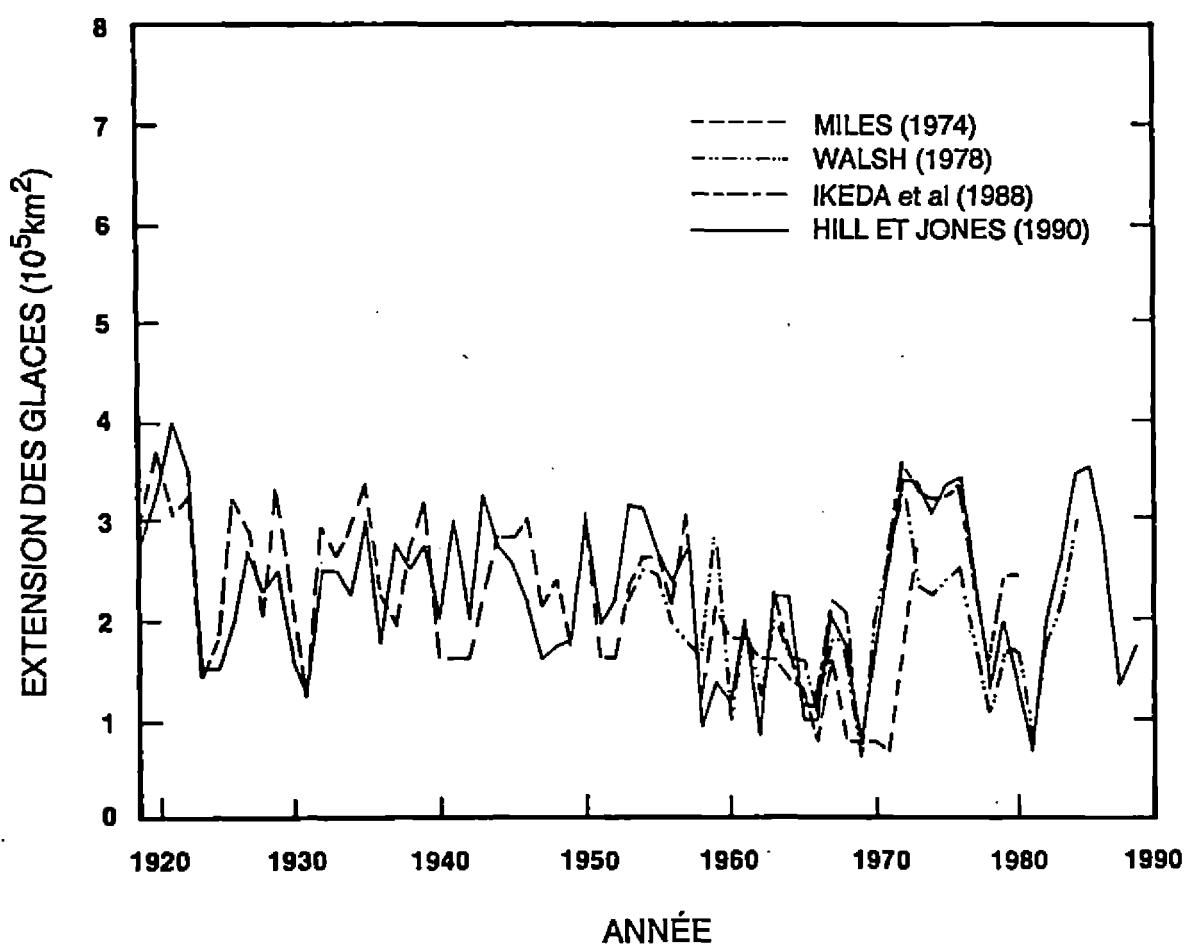


Figure 6 : Variabilité interannuelle de l'extension des glaces de mer pour (c) le sud du Labrador et Terre-Neuve (au sud de 55N; 1920-1988; Hill et Jones, 1990).

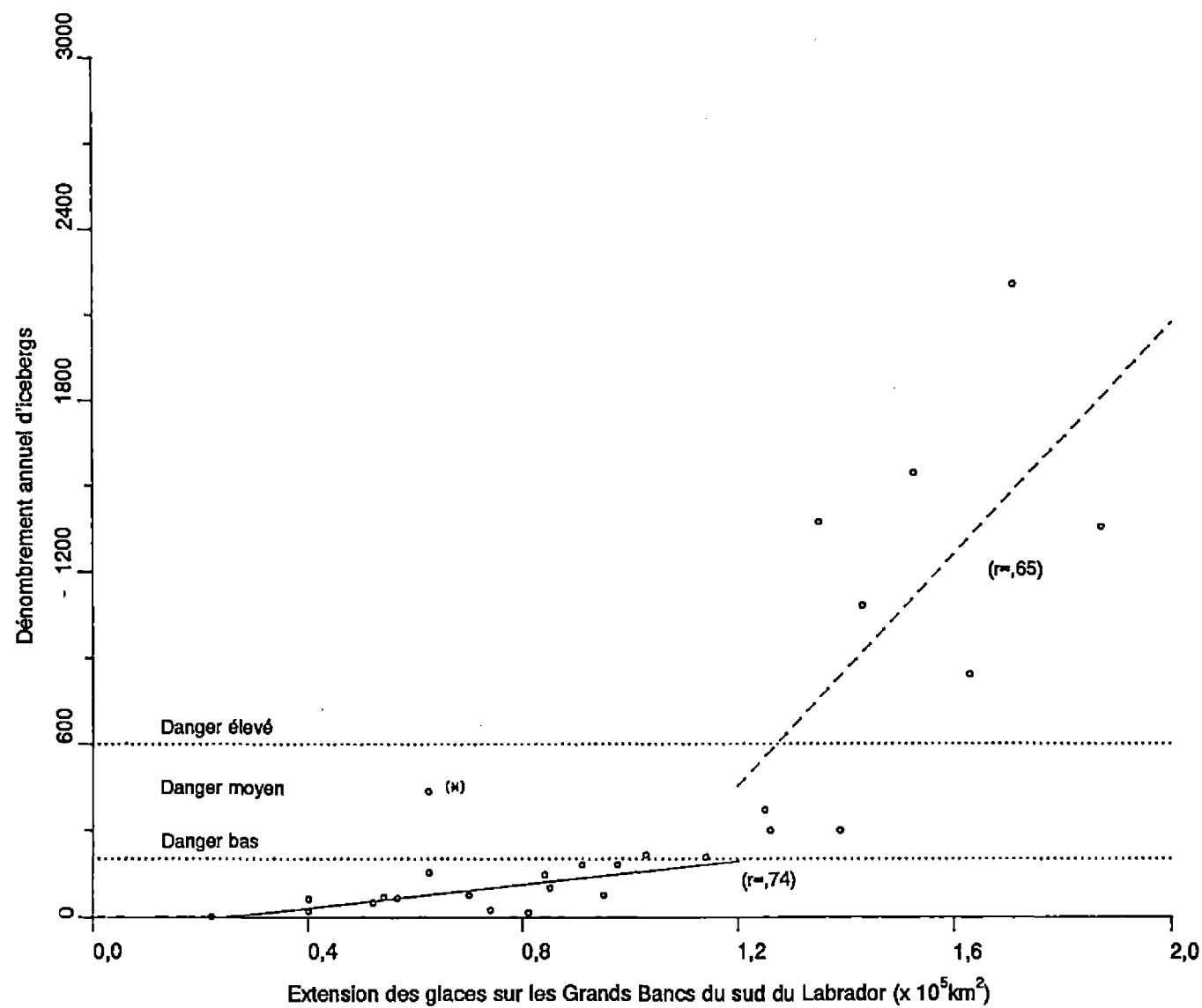


Figure 5 : Dénombrements d'icebergs (1963-1989) en fonction de l'extension des glaces au 15 avril au large du sud du Labrador et de Terre-Neuve, estimé à partir de trois bandes de degrés de latitude entre 47N et 55N. La figure montre aussi des lignes de régression linéaire dans les deux zones d'extension maximale et minimale, ainsi que les limites des catégories élevé, moyen et bas décrites dans le texte. Un point aberrant, correspondant aux valeurs de 1967, est marqué d'un astérisque (\*).

la direction des vents locaux au printemps. Les comparaisons de l'extension de la glace entre 47N et 55N avec le nombre d'icebergs au sud de 48N (Fig. 5) a mis en évidence deux relations différentes, selon que l'étendue de la glace était supérieure ou inférieure à un seuil de  $1,2 \times 10^5 \text{ km}^2$ . Les écarts de la plupart des points par rapport aux lignes de régression n'ont pas été jugés supérieurs aux incertitudes inhérentes aux données de dénombrement des icebergs. Lorsque les nombres d'icebergs ont été ajustés à une classification de danger à trois niveaux conforme à l'évaluation des risques faite par la Patrouille internationale des glaces, l'extension printanière de la glace au sud de 55N s'est révélée un excellent indicateur du danger posé par les icebergs cette année-là.

On en a donc conclu qu'il existait un fondement physique à la corrélation observée entre le nombre d'icebergs et l'extension de la glace en amont (détroit de Davis) en janvier. Sur la période de 1972 à 1989, la comparaison des classes de densité d'icebergs avec l'extension de la glace en janvier dans le détroit de Davis a permis à elle seule de prédire correctement 76 % des classes de densité. Les quatre erreurs significatives étaient toutes liées à des années où des vents d'est ont fait réduire l'extension de la glace au printemps au sud de 55N.

## 5. VARIABILITÉ DE LA GLACE

En raison du lien postulé entre le nombre d'icebergs et l'extension de la glace de mer, on a consacré une grande partie du rapport à essayer de comprendre les causes actuelles de la variabilité dans l'extension de la glace de la région. Les données disponibles montrent que la variabilité interannuelle de l'extension au large de l'est du Canada est régie par une fluctuation de grande amplitude aux échelles de temps intradécennales et interdécennales (Fig. 6). Quoique de nombreux auteurs aient mis de l'avant des corrélations statistiquement significatives de l'extension de la glace avec des paramètres météorologiques ou océanographiques, les causes de la variabilité à échelle décennale ou plus longue ne sont pas immédiates. On a proposé des explications liées aux variations solaires (Hill et Jones, 1990) et un lien complexe de rétroaction négative (Mysak et coll., 1990), mais elles n'ont pas pu être évaluées de façon probante faute d'une série assez longue de données fiables sur les glaces.

Les données de la figure 6 ont été comparées à un certain nombre d'autres indicateurs indirects de l'extension de la glace sur les Grands Bancs. Une interprétation prudente des données n'a mis en évidence que peu de changement des conditions de glace entre 1900 et 1990, exception faite d'une courte période de déclin rapide pendant les années 1960. Ce déclin est concomitant avec une circulation anormale dans les hautes latitudes nord (Walsh et Chapman, 1990). Les causes de ces variations de la circulation sont cependant mal définies; elles coïncident toutefois avec une

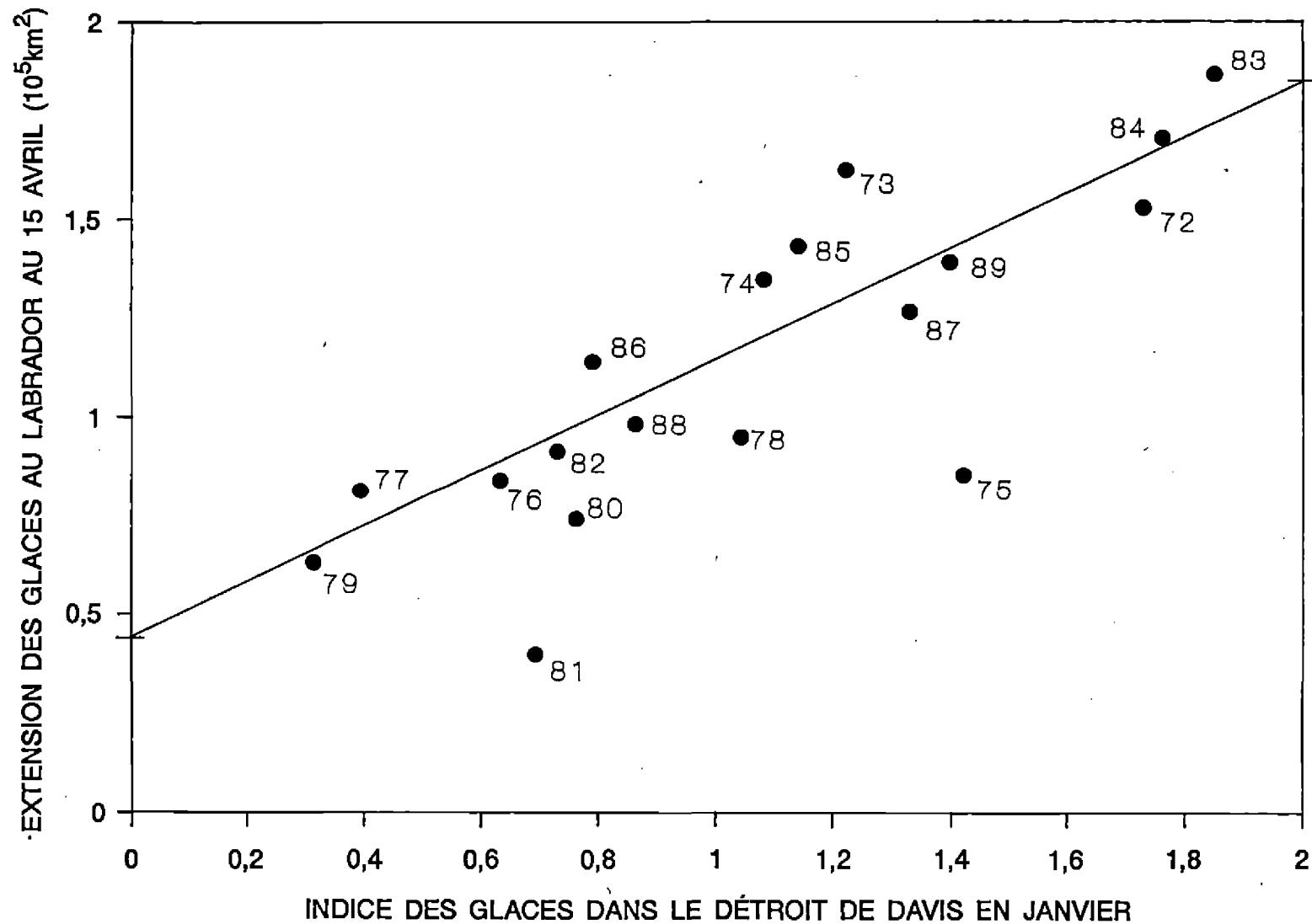


Figure 4 : Relations constatées entre les extensions annuelles de la glace au Labrador au 15 avril, pour trois bandes de 2 degrés de latitude entre 47N et 55N, (Peterson et Prinsenberg, 1990) et l'indice de l'étendue de la glace dans le détroit de Davis en janvier (Marko et coll., 1986). Les chiffres identifient les points de données en cercles pleins pour les années 1972 à 1989. La ligne tracée représente une régression linéaire ( $r=,9$ ) tirée de l'ensemble de données 1972-1989, exclusion faite des points de données pour 1975 et 1981.

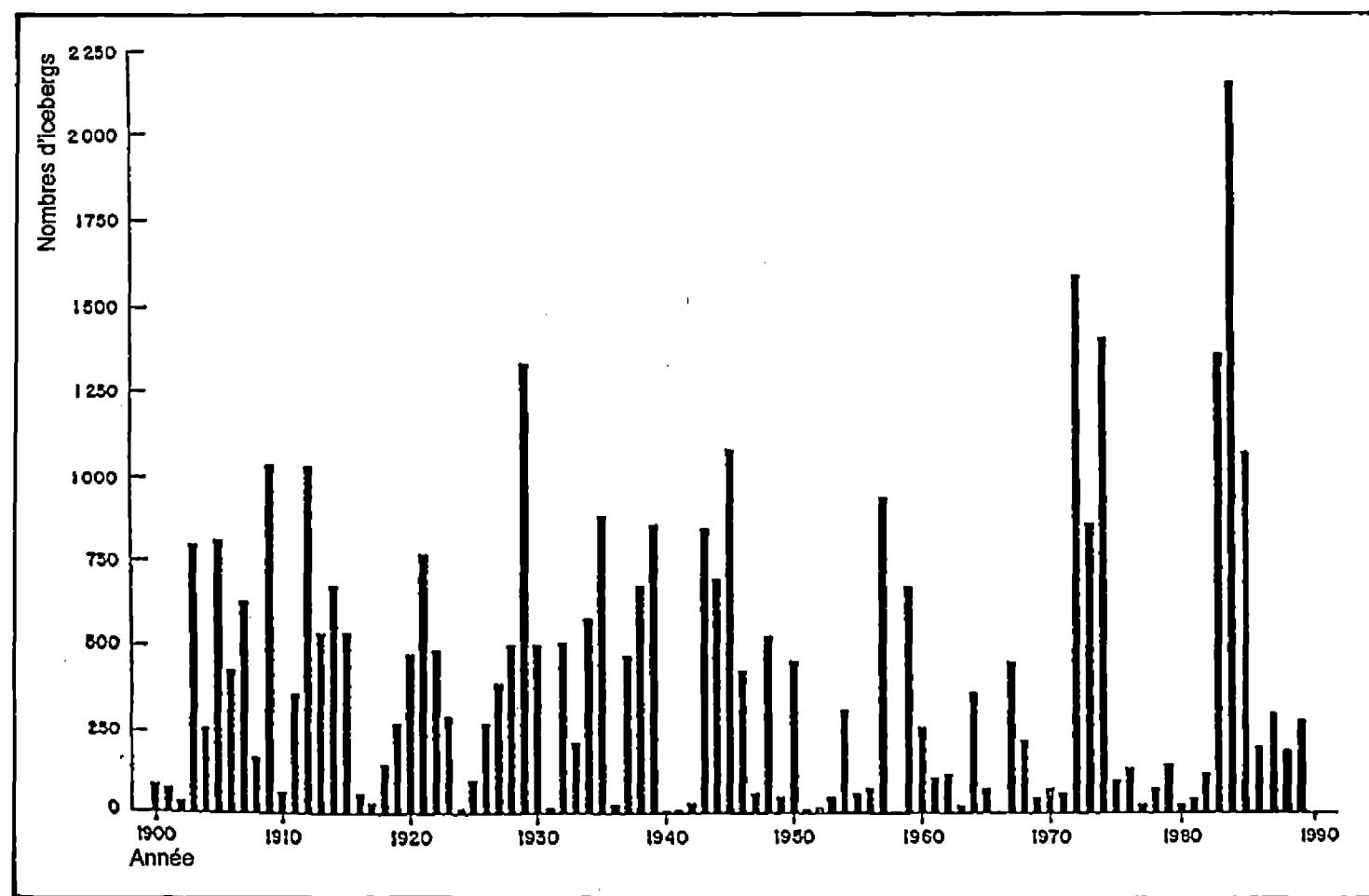


Figure 3 : Nombre annuel d'icebergs observés au sud de 48N par la Patrouille internationale de glaces.

### 3. PROCESSUS ENVIRONNEMENTAUX

La production des icebergs (vêlage), leur dérive et leur détérioration à mesure qu'ils descendent de l'ouest du Groenland le long de la côte est du Canada font intervenir une interaction complexe de processus atmosphériques, cryosphériques et océaniques, que montre schématiquement la figure 2. À partir d'une étude détaillée de la littérature, on a pu déterminer que les éléments clés à retenir pour définir les effets possibles du changement climatique étaient la dynamique des glaciers (qui régit le taux de vêlage), les vents et courants régionaux, la bathymétrie, les propriétés de l'eau et, plus que tout, les vastes champs de glace fixée et de glace mobile de la région. L'importance des glaces de mer était déjà ressortie de travaux antérieurs exécutés par Smith (1931) et Marko et coll. (1986), qui ont montré que l'étendue de la glacer avait sa corrélation la plus élevée avec le nombre d'icebergs repérés au niveau de 48N. Cette relation s'est révélée en accord avec les processus physiques régissant le transport et la détérioration des icebergs, soit :

- 1) la glace fixée module le mouvement des icebergs à partir des fronts de vêlage (Dowdeswell, 1989) et réduit la probabilité que les icebergs passant au large de l'île Baffin s'éloignent de leur trajectoire ou s'échouent;
- 2) la glace de mer réduit notablement la détérioration des icebergs en atténuant l'érosion par les vagues et en maintenant la température de l'eau à moins de 0 °C.

On examine ici plus avant la relation constatée par Marko et coll. (1986) entre l'extension de la glace en janvier dans le détroit de Davis et le nombre d'icebergs à 48N, pour tirer des considérations de variabilité régionale de la glace une connaissance de la variabilité actuelle du nombre des icebergs. La question de base (le vêlage des icebergs) a été étudiée séparément par Wadhams et Dowdeswell (1990) (Section 7).

### 4. NOMBRE D'ICEBERGS ET EXTENSION DE LA GLACE DE MER

Le lien proposé entre l'extension de la glace dans le détroit de Davis en janvier et le nombre d'icebergs au sud de 48N (Fig. 3) serait l'advection printanière de glace d'amont sur la plate-forme du Labrador et dans les Grands Bancs, ce qui empêche les icebergs de se détériorer rapidement. On a examiné ce mécanisme en comparant les indices de glace dans le détroit de Davis en janvier pendant les années 1972-1989 avec l'extension entre 47N et 55N au 15 avril. Les résultats (Fig. 4) montrent une corrélation élevée (0,9) et les principales exceptions correspondaient toutes à des cas où des vents anormaux de l'est au printemps avaient entraîné une réduction rapide de la couverture glacielle. On a postulé que l'extension de la glace en janvier dans le détroit de Davis établissait une limite maximale pour la présence de glace au sud de 55N à la mi-avril, qui était ensuite réduite à divers degrés selon

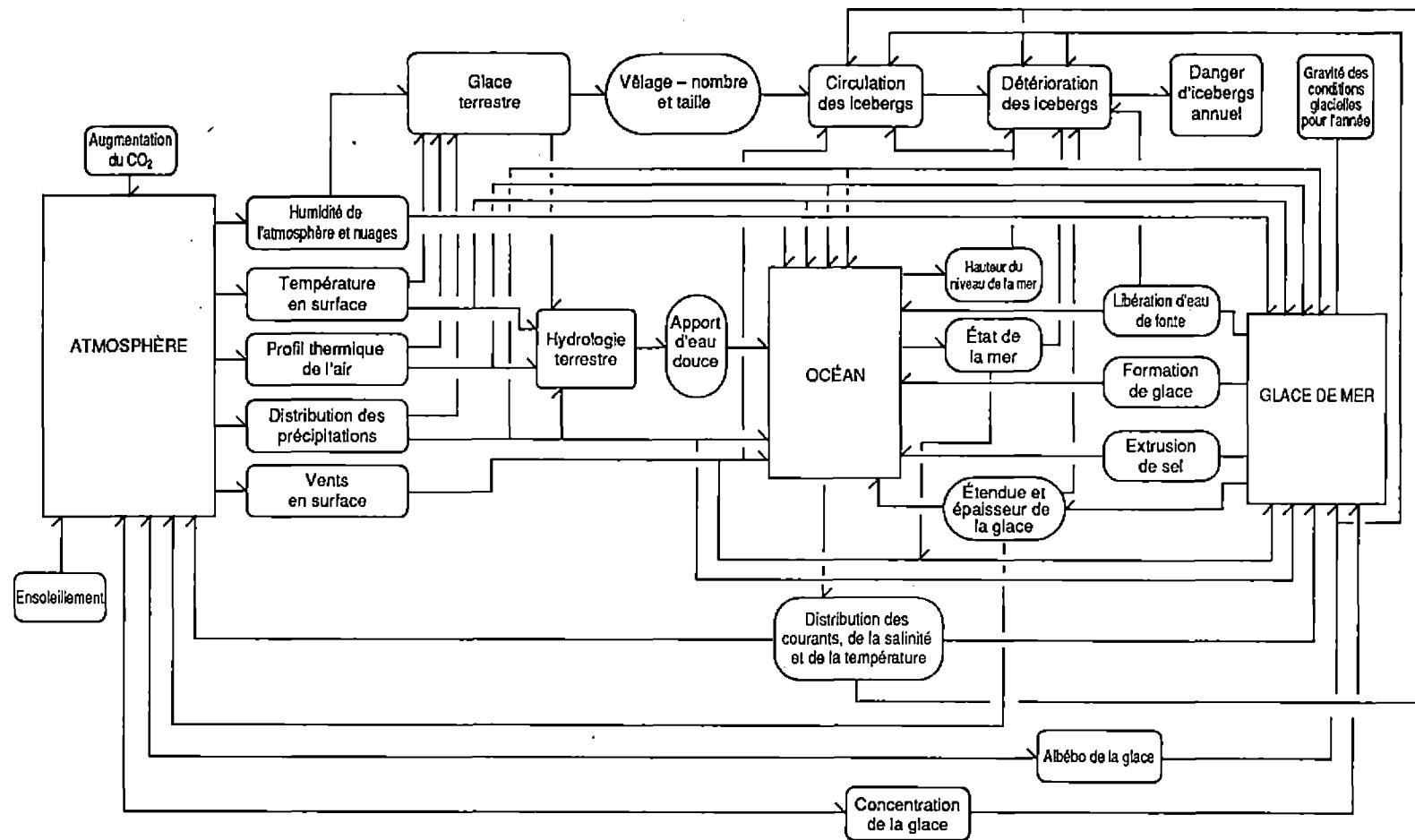


Figure 2: Diagramme représentant les principaux éléments de l'environnement, ainsi que les liens et les paramètres associés.

- On a jugé que la gravité des conditions de glaces et d'icebergs ne devrait pas changer beaucoup dans l'immédiat. Cependant, d'ici 50 à 100 ans, si le forçage des gaz à effet de serre entraîne un réchauffement régional cohérent de 2 à 4 °C, il n'est pas exclu que, à long terme, la glace recule et que les icebergs deviennent moins dangereux sur les Grands Bancs.
- La réponse transitoire de la région de la côte est au forçage des gaz à effet de serre pourrait se traduire, pendant de brèves périodes, par des situations entraînant une hausse de la gravité des conditions de glace et d'icebergs.

## 2. INTRODUCTION

On trouvera dans ce numéro du Sommaire du changement climatique les résultats d'une étude de délimitation de l'étendue (Marko et coll., 1991) qui a été entreprise parce qu'on craignait que les changements apportés à l'atmosphère et à l'océan par la hausse des émissions de gaz à effet de serre n'aient des répercussions importantes sur les régimes des glaces de mer et des icebergs au large de la côte est du Canada. En particulier, certains ont pensé que le taux de vêlage des glaciers du Groenland pourrait s'accroître considérablement (Roots, 1989). Les modifications des régimes glaciels pourraient avoir des conséquences sérieuses sur les activités au large en général, et sur l'industrie d'exploitation pétrolière et gazière en particulier, puisqu'une bonne partie de ses opérations ne peut se faire en présence de glaces. La sensibilité de cette industrie aux conditions glaciales a été nettement prouvée par Stokoe (1988), qui a montré que les arrêts d'exploitation connus lors de la saison de glaces 1984-1985, particulièrement sérieuse, avaient entraîné des pertes supérieures de 20 à 30 millions de dollars à celles encourues pendant les saisons de glaces normales.

Cette étude avait pour objectif premier d'examiner avec un oeil critique s'il était faisable d'élaborer des scénarios des changements apportés au régime des icebergs au large de la côte est du Canada par un doublement des concentrations atmosphériques de CO<sub>2</sub>, scénarios qu'on pourrait utiliser pour évaluer les incidences potentielles de ces changements sur les industries gazière et pétrolière au large. Le domaine spatial de l'étude s'étendait de la baie de Baffin aux Grands Bancs (Fig. 1), et son domaine temporel couvrait les 50 à 100 prochaines années, ce qui correspond à la durée de vie prévue des principales réserves d'hydrocarbures au large de l'est du Canada, et à la période au cours de laquelle les niveaux de CO<sub>2</sub> atmosphérique devraient dépasser le double des niveaux pré-industriels.

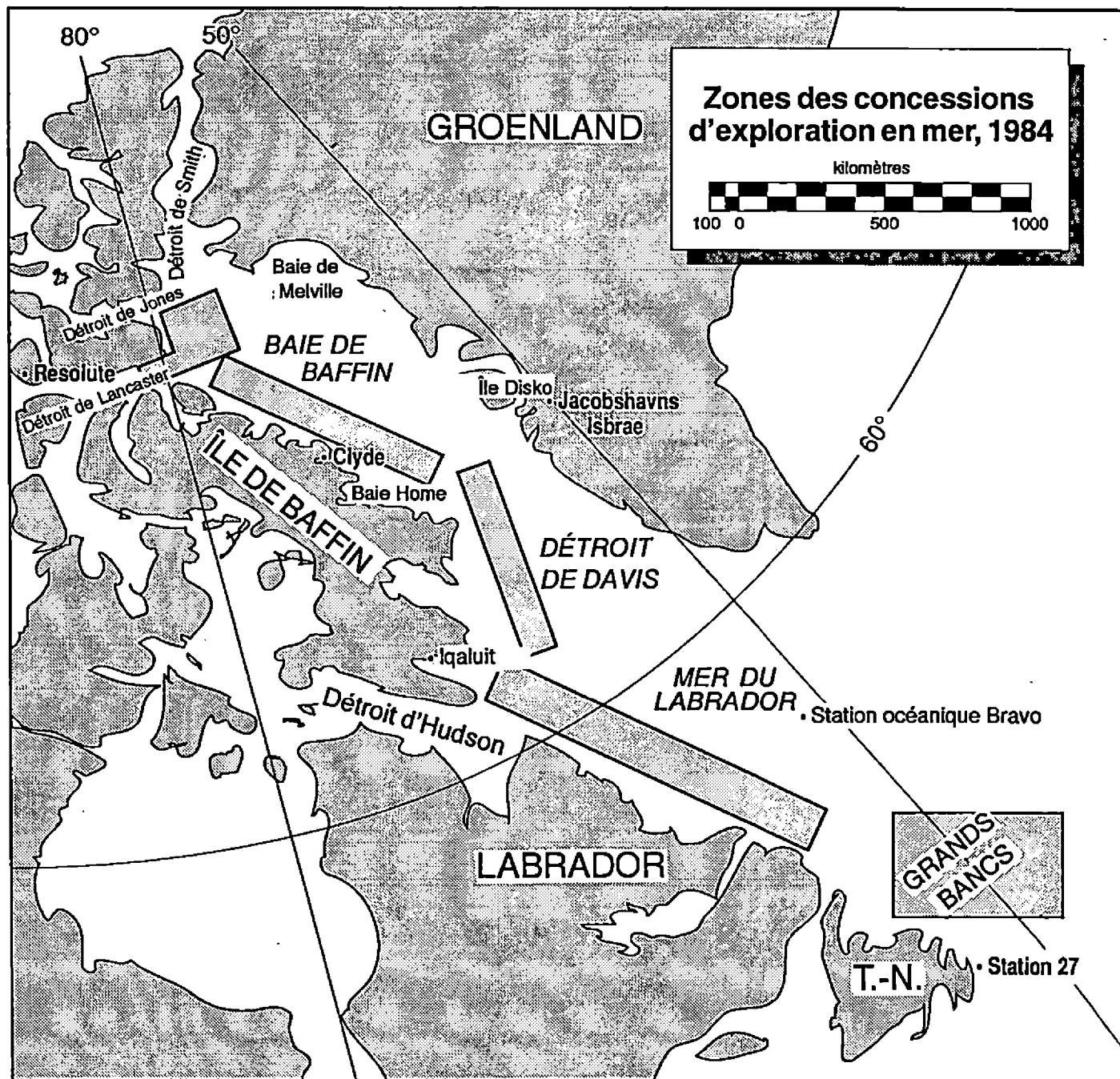


Figure 1 : Carte de la côte est du Canada, avec références géographiques et zones des concession d'exploration en mer des hydrocarbures.

**INCIDENCES DU RÉCHAUFFEMENT PLANÉTAIRE  
SUR LES RÉGIMES DES GLACES DE MER ET DES ICEBERGS  
DE LA CÔTE EST DU CANADA  
PENDANT LES 50 À 100 PROCHAINES ANNÉES**

**1. FAITS SAILLANTS DE L'ÉTUDE**

- L'advection printanière, sur la plate-forme du Labrador, de glace d'amont provenant de la baie de Baffin et du détroit de Davis, ainsi que les conditions locales de vents de printemps qui lui correspondent, se sont révélées les facteurs clés de la variabilité interannuelle du nombre d'icebergs sur les Grands Bancs.
- L'étendue de la glace et d'autres données indirectes laissaient penser qu'entre 1900 et 1990 il s'était produit très peu de changements importants dans la quantité de glace de mer et le nombre d'icebergs, exception faite d'une brève période de déclin rapide dans les années 1960. Cependant, on a constaté que les conditions de glace et d'icebergs sur la côte est avaient empiré dans les années 1980, ce qui va à l'encontre des tendances de la température et de l'étendue de la glace de mer pour l'hémisphère.
- Les résultats de modèles de circulation générale (MCG) dont on dispose actuellement n'ont pas été jugés assez fiables pour l'établissement de scénarios dans la zone étudiée, et ce pour les raisons suivantes : représentation inadéquate des courants océaniques, médiocre résolution spatiale, paramétrisations simplifiées de la thermodynamique de la glace de mer.
- L'étude des analogues de température chaude-froide et de pression n'établissait pas la présence d'une réponse régionale de l'atmosphère cohérente avec le réchauffement planétaire.
- Un modèle simple des degrés-jours de gel annonçait un recul d'environ un degré de latitude de la lisière sud de la glace au large de l'est du Canada par degré de réchauffement de la température de l'air. Le recul prévu au même endroit pour un réchauffement annuel de 4 à 6 °C s'est révélé comparable à l'étendue minimale des glaces observée au large de la côte est au cours des 30 dernières années.
- L'étude des changements dans les taux de vêlage des glaciers selon une approche par flux d'équilibre a montré qu'un réchauffement annuel de 3 °C y entraînait peu de changements, alors qu'un réchauffement de 6 °C se traduisait par une réduction de 50 % des taux actuels de vêlage des icebergs.

## **INTRODUCTION**

Le Centre climatologique canadien (CCC) a financé plusieurs études touchant les effets éventuels du réchauffement du climat. La liste des titres antérieurs de la série figure au verso de la première page de couverture.

## **DÉNÉGATION DE RESPONSABILITÉ**

La présente publication renferme le résumé des résultats d'un étude menée par Arctic Sciences Limited, Sidney, Colombie-Britannique. Les avis et opinions qui y sont exprimés sont ceux des auteurs. Ils n'expriment, ni ne reflètent nécessairement ceux du gouvernement du Canada ou de tout organisme de celui-ci.

Pour obtenir à titre gracieux des exemplaires de cet ouvrage, écrire à la :

Division des produits et des publications  
Centre climatologique canadien  
4905, rue Dufferin  
Downsview (Ontario)  
M3H 5T4  
Tél. : (416) 739-4331/4328

Pour acheter des exemplaires des rapports au complet, **Canadian Climate Centre Report No. 91-09**, écrire à la même adresse.

Publié avec l'autorisation du  
ministre de l'Environnement

© Ministre des Approvisionnements  
et Services Canada 1993

No de catalogue EN57-27/1993-03  
ISBN 0-662-59733-8  
ISSN 0835-3980



Environnement  
Canada Environment  
Canada

**INCIDENCES DU RÉCHAUFFEMENT PLANÉTAIRE  
SUR LES RÉGIMES DES GLACES DE MER ET DES ICEBERGS  
DE LA CÔTE EST DU CANADA  
PENDANT LES 50 À 100 PROCHAINES ANNÉES**

Résumé d'un rapport soumis par Arctic Sciences Limited,  
Sidney, Colombie-Britannique.

Rédigé pour le  
Sommaire du changement climatique  
Service de l'environnement atmosphérique

par

Ross D. Brown  
Conseiller scientifique

Ces travaux ont été appuyés par le Groupe fédéral de recherche et développement énergétiques. Centre climatologique canadien.

La présente publication s'inscrit dans le cadre des rapports sur l'état del l'environnement



Ce papier contient un minimum de 50% de fibres recyclées  
dont 10% de fibres recyclées après consommation.

## **SOMMAIRE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE**

- SCC 88-06** L'évaluation des effets du changement climatique sur l'agriculture en Saskatchewan, au Canada
- SCC 88-07** L'évaluation socio-économique des conséquences physiques et écologiques du changement climatique sur le milieu marin dans la région de l'Atlantique : phase I
- SCC 88-08** Les répercussions d'un changement climatique sur les ressources naturelles du Québec
- SCC 88-09** Le changement climatique causé par le CO<sub>2</sub>, en Ontario : interdépendances et stratégies en matière de ressources
- SCC 89-01** Le réchauffement climatique et la position relative du Canada en agriculture
- SCC 89-02** L'exploration de l'incidence du changement climatique sur la forêt boréale et l'économie forestière de l'ouest du Canada
- SCC 89-03** Les répercussions du changement climatique sur le parc national de Prince-Albert, en Saskatchewan
- SCC 89-04** Les répercussions d'un changement climatique sur les besoins en eau des municipalités et sur l'industrie du golf au Québec
- SCC 89-05** Les effets du climat et du changement climatique sur l'économie de l'Alberta
- SCC 90-01** Les répercussions du changement de climat sur les petites localités côtières de la région de l'Atlantique, au Canada
- SCC 90-02** Les répercussions du changement climatique à long terme sur le transport au Canada
- SCC 91-01** Le changement climatique et ses répercussions sur le Canada : le point de vue scientifique
- SCC 92-01** Répercussions du réchauffement planétaire sur la politique du gouvernement canadien
- SCC 92-02** Étude de modèles de prévision des variations climatiques et de leurs incidences sur l'hydrologie, les courants côtiers et les pêches en Colombie-Britannique
- SCC 93-01** Incidences du changement climatique sur le régime glacial de la mer de Beaufort : Répercussions sur l'industrie pétrolière dans l'Artique
- SCC 93-02** Adaptation au changement climatique et variabilité des ressources en eau du Canada
- SCC 93-03** Incidences du réchauffement planétaire sur les régimes des glaces de mer et des icebergs de la côte est du Canada pendant les 50 à 100 prochaines années



# SOMMAIRE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Incidences du réchauffement planétaire sur les régimes des glaces de mer et des icebergs de la côte est du Canada pendant les 50 à 100 prochaines années

SCC 93-03

