

PERSPECTIVE SUR LES VARIATIONS CLIMATIQUES

MOSST & SERVICE DE L'ENVIRONNEMENT
ATMOSPHERIQUE

DOWNSVIEW 1978

QC
981.8
.C5
C372

QC
981.8
C5C372

PERSPECTIVE SUR LES VARIATIONS CLIMATIQUES

MOSST & SERVICE DE L'ENVIRONNEMENT
ATMOSPHERIQUE

DOWNSVIEW 1978

REFERENCE

PERSPECTIVE
SUR LES
VARIATIONS CLIMATIQUES

31520

EXTRAITS
DE RAPPORTS
SUR LA
VARIATION CLIMATIQUE

PREPARE PAR LE
SERVICE DE L'ENVIRONNEMENT ATMOSPHERIQUE
ET LE
MINISTERE D'ETAT AUX SCIENCES
ET A LA TECHNOLOGIE

DOWNSVIEW, 1978



Table des matières

<u>Titre</u>	<u>Page</u>
Introduction	1
Impacts climatiques	3
L'homme face à l'incertitude climatique	11
Annexe I - Théories des variations climatiques	31

PERSPECTIVE SUR LES VARIATIONS CLIMATIQUES

INTRODUCTION

Le temps, sujet qui revient dans presque toutes les conversations, influence aussi bien l'humeur des gens, leur facilité à voyager, que leur possibilité de travailler. On appelle climat le temps "moyen" ou le "temps le plus probable". Quand le temps s'écarte du climat normal, on est pris par surprise et on en parle.

Le climat peut subir des variations. Les preuves ne manquent pas pour démontrer que certains déserts ont déjà été des régions agricoles à hauts rendements et qu'à certaines époques le Canada a été couvert de glaciers. L'histoire géologique et humaine fourmille d'indices montrant que le climat a oscillé entre des alternances chaudes et froides. On est de plus en plus conscient que les causes naturelles ne sont pas les seules forces qui peuvent perturber les mécanismes du temps. Ainsi, il est possible que le climat soit changé par certaines activités de l'homme: le dégagement de polluants, les pertes de chaleur ou l'augmentation de la teneur en dioxyde de carbone.

Il est très important de ne pas perdre de vue que la structure des activités sociales et économiques de l'homme est très dépendante des variations climatiques. Par exemple, on conçoit les routes pour les transports, on aménage les usines de production d'électricité et on exploite les terres agricoles en fonction de certaines suppositions relatives à la température, à la hauteur des précipitations et au nombre de jours d'ensoleillement. Même à court terme, des écarts sensibles peuvent être à l'origine de perturbations de grande ampleur. On en veut pour preuve l'hiver froid et neigeux qu'a connu l'Est des Etats-Unis en 1976-77, qui a causé une baisse du PNB de 20 milliards de dollars.

Il est assez facile de parler des variations climatiques, c'est tout autre chose que de "s'en occuper". Deux raisons rendent difficile toute prise de décision concernant les variations climatiques: d'une part on ne connaît pas suffisamment bien les mécanismes du climat pour prévoir la manifestation d'une variation climatique; d'autre part, il est fort probable que dans certains cas, les organismes sociaux responsables ne pourront pas mettre en oeuvre les solutions qui s'imposent. Que pourrait-on faire, par exemple, si nous savions que les Prairies subiraient cinq années de sécheresse? Ainsi la sécheresse des années 1930 a été à l'origine d'une chute de la production céréalière, on en convient, mais elle a aussi entraîné dans son sillage le chômage, la migration des travailleurs, la désertion des villages, la prauvreté et l'exploitation des pauvres par les riches.

Nous ne sommes nullement menacer par l'avancée des glaciers, car le temps d'évolution de cette progression dévastatrice est de l'ordre de quelques milliers d'années. Le danger immédiat provient de variations de température, de pluviosité et de précipitations neigeuses dans des zones ayant une agriculture marginale, fortement peuplées et qui sont des voies de liaison indispensables, ou dans des zones intimement liées à la production

d'aliments, à l'approvisionnement ou au commerce. L'homme peut être une cause à ces problèmes en perturbant par négligence le climat sur une échelle locale, voire global.

Il importe grandement de combler les insuffisances de nos connaissances sur le climat si l'on veut réagir face aux variations de climat. Notre connaissance des mécanismes climatiques et des relations entre le climat et les activités humaines est insuffisante, de même que de la façon de prévoir le climat à venir. Cependant pour atténuer les conséquences néfastes et pour profiter au maximum des bons côtés du climat, on peut mettre en oeuvre certaines actions. A la suite de l'hiver de 1976-77, l'Est des Etats-Unis a élaboré des plans de contingentement afin de pouvoir faire face aux vagues de froid, plans qui auraient dû être prévus et mis en oeuvre avant cette période. La technologie possède en réserve de nombreuses solutions pour mitiger l'impact des sécheresses, mais la plupart du temps on n'en tient pas compte; ce n'est pas quand les structures sociales et économiques sont modifiées que l'on est en mesure de mettre en oeuvre un plan pour affronter la prochaine sécheresse.

Un grand nombre de renseignements précieux sont ignorés ou inaccessibles, lorsque vient le temps de prendre des décisions économiques. Un des objectifs importants d'un programme national de connaissance du climat est de s'assurer que les renseignements existants sur le temps et le climat sont mis à la disposition des utilisateurs (Sénateur A.E. Stevenson, objet U.S. National Climate Program Act). L'objet du présent séminaire est d'exposer ces renseignements et de discuter comment on devrait les utiliser.

Ce rapport vise à donner les grandes lignes de quelques problèmes concernant le climat, de même qu'à avancer des suggestions sur ce qu'on peut faire à partir des renseignements dont nous disposons. On fait appel à des coupures de presse et à des citations relevées dans les médias pour démontrer l'importance sociale et économique du climat. Puis, on passe en revue les relations homme-climat. On montre la grande place qu'occupent les variations induites par la vie sociale de l'homme, les activités économiques et l'environnement, et on indique les façons possibles de réduire les pertes liés à ces activités et de miser sur les "bons" climats. Enfin, on expose en annexe certains aspects du climat à l'intention de ceux qui désirent en savoir plus sur la théorie climatique.

IMPACTS CLIMATIQUES

Le climat possède à la fois ses bons et ses mauvais côtés. On a fait beaucoup plus de publicité aux mauvais côtés du climat car leurs conséquences sociales et économiques peuvent être sérieuses et la fréquence et l'importance des pertes encourues ne font qu'augmenter. L'impact total des aspects négatifs du climat peut être énorme, par exemple le froid hiver de 1976-77 aux Etats-Unis a causé des pertes au PNB évaluées à \$20 milliards. En Ontario, située tout juste sur la bordure de la même anomalie climatologique, les coûts additionnels ont totalisés \$200 millions au 31 janvier 1977; \$135 M de plus pour le chauffage résidentiel, \$15 M de plus pour l'entretien des routes et \$50 M en perte de productivité. En 1972, l'ouragan Agnès a causé pour \$3.5 milliards de dommages matériels à la même région des Etats-Unis. De telles pertes résultent fréquemment d'une planification ou d'une réalisation climatologiquement inadéquate. Les coûts ainsi que notre vulnérabilité ne cessent de s'accroître à mesure que notre société et ses investissements grandissent et se concentrent dans des régions sensibles.

Cependant les bons côtés du climat sont aussi fréquents que ses effets néfastes. L'industrie canadienne de fabrication de neige artificielle a considérablement bénéficié du manque de neige qui a entraîné la fermeture de centres de ski dans les Rocheuses durant l'hiver de 1976-77. La vente d'équipement destiné à l'enlèvement de la neige s'accroît durant les hivers neigeux; il en est de même pour les ventes de bière et l'industrie du loisir durant la canicule. Les anomalies climatiques ressenties dans d'autres pays ont aussi des influences bénéfiques sur les marchés hors de leurs frontières. Le transport de marchandises en Arctique et l'agriculture en Eurasie septentrionale ont substantiellement profités du climat plus chaud des années 1930-1940. Napoléon et Hitler ont décidé tous deux de marcher sur Moscou durant deux des pires hivers de l'histoire de la capitale, ce qui fit l'affaire des russes. Le bonheur des uns fait le malheur des autres.

Les plus grands bénéfices apportés à la société résident probablement dans l'utilisation raisonnable, mais moins spectaculaire, de l'information climatologique appliquée au commerce, aux échanges, à la planification, à l'administration des ressources - en fait dans presque toutes les activités. La prudence et l'efficacité la rendent nécessaire et la technologie en facilite l'utilisation peu coûteuse. Plus de cent années d'expérience climatologique sont disponibles pour guider les canadiens de mille et une manières.

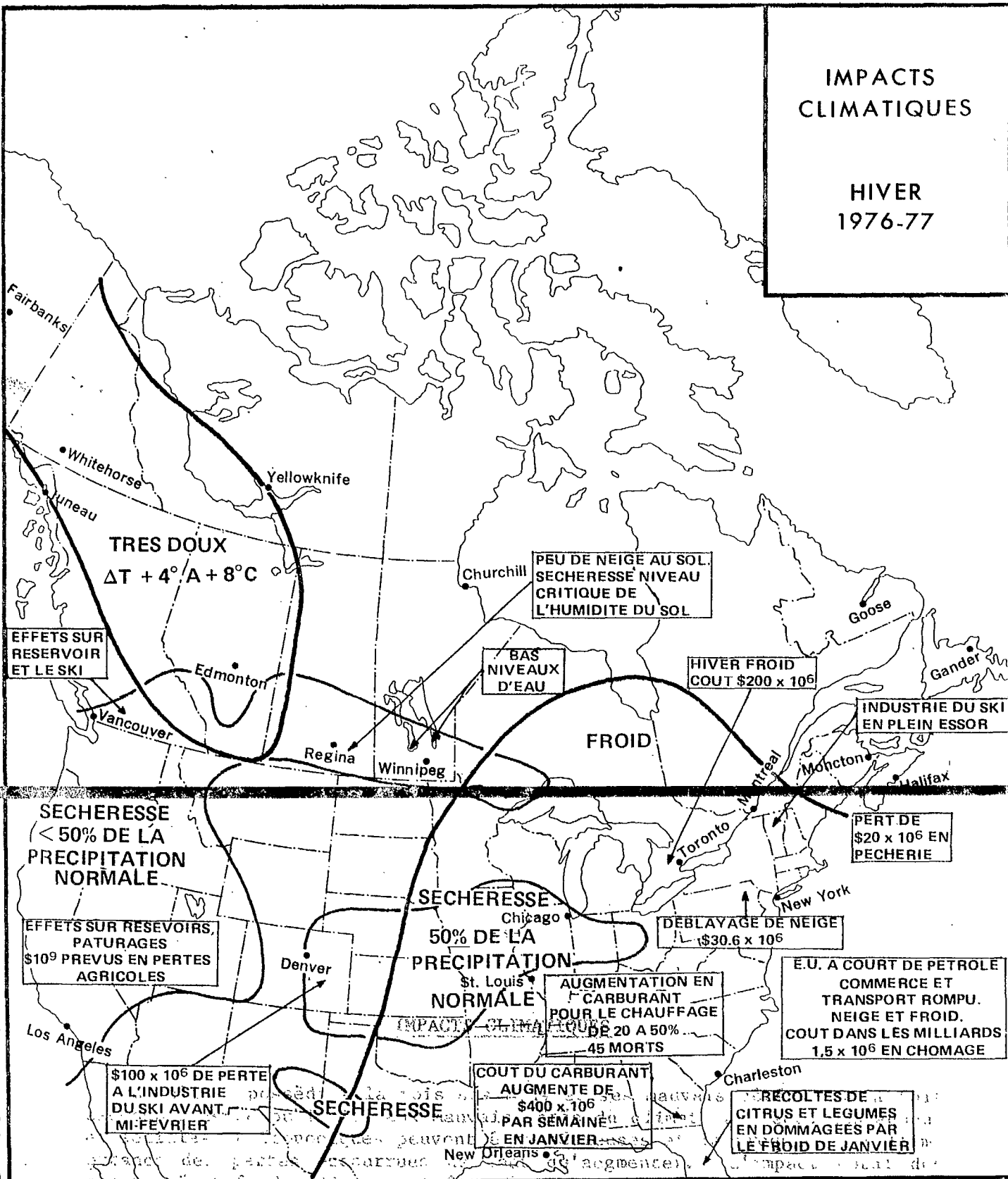
Il faut être bien préparé si on veut profiter des bons côtés du climat tout en se protégeant de ses méfaits. Les Etats-Unis étaient inadéquatement préparés pour affronter le froid hiver de 1976-77, même si l'histoire nous enseigne qu'on doit s'attendre à un tel événement. Sommes-nous prêts ici au Canada? Une attitude de réaction est beaucoup plus simple à adopter mais elle peut s'avérer beaucoup plus coûteuse à la longue.

Que l'on utilise ou pas l'information climatologique dépend de la transformation des données de base en une information qui soit comprise et utilisée comme base de décision. Il est urgent que les usagers nous renseignent sur le type de données nécessaires et leur présentation si on veut exploiter cette ressource. Avant tout on doit prendre conscience des problèmes et des opportunités qui existent.

Notre vulnérabilité est constamment mise en évidence dans les journaux comme on peut le voir sur les coupures qui suivent.

IMPACTS CLIMATIQUES

HIVER 1976-77



1976-77 aux Etats-Unis à cause des pertes au PNB évaluées à \$20 milliards. En Ontario, située tout juste sur la bordure de la même anomalie climatique, les coûts additionnels ont totalisés \$200 millions au 31 janvier 1977; \$135 M de plus pour le chauffage résidentiel, \$15 M de plus pour l'entretien des routes et \$50 M en perte de productivité. En 1972, l'ouragan

Quel sera l'impact du froid sur la reprise américaine?

Toronto Star 2/2/77

Eggs \$3 a dozen bread \$2, milk \$1 in Buffalo gouging

By LEE COPPOLA
Special to The Star

BUFFALO — Eggs at \$3 a dozen; \$2 for a loaf of bread; \$1 for a quart of milk and up to \$250 for a small hotel room — these are just some of the examples of price-gouging which have shamed this snow-paralyzed city.

"The rip-off" blizzard covers city trucks as "A friend Macey, who the city said a quart of milk.

Globe and Mail

29/1/77

Thick ice causes halt to shipping

By ALBERT SIGURDSON
Unusually severe ice conditions have halted navigation in the St. Lawrence River at Quebec City and have caused commercial operators in Lake Superior to cut off their winter program.

him in a down blizzard to a n the office crew.

Wall Street Journal 26/1/76

Weathering Winter

For Many Americans, Soaring Price of Fuel Creates Real Hardship

Plants Lay Off Workers;

Globe and Mail

1/2/77

Snow-clogged roads cripple Eastern Ontario, Southwest

WEATHER/COVER STORY

The Big Freeze

Why had the rain turned white? Startled millionaires wintering in their baronial mansions in West Palm Beach, Fla., peered closer last week at the miracle that was falling from the skies and discovered—could it be?—yes, the substance was snow, the first ever reported there. Since mid-November, pedestrians in Dallas, unaccustomed to such hazards, have been slipping on sleet-slicked sidewalks. Meanwhile, a series of blizzards has smothered Buffalo this winter with an astonishing 124.6 in. of

Globe and Mail 10/2/77

Cold costs Ontarians \$200 million so far

By THOMAS CLARIDGE

Abnormally cold weather has probably cost Ontarians about \$200-million so far this winter.

Most of the bill comes from higher heating costs, but it also includes some big jumps in road-maintenance expenditures and higher transportation expenses.

that is usually thermometer was ce was so soft

Wall Street Journal 26/1/76

causing and the ven then man-

Business Week February 14, 1977

THE ECONOMY

A bad case of frostbite

Winter is devastating the statistics. How fast can they recover?

Ottawa Journal 1/2/77

Le vent, le froid et la neige Ca n'est pas fini!

The Sun 5/3/1977

Prairie drought brings dustbowl

REGINA (CP) — Prairie dust storms, sending clouds as high as 10,000 feet, are reducing visibility in some areas of Saskatchewan to less than a mile.

The storms, a phenomenon which hasn't been seen here for many years, now are almost a daily occurrence.

The cause is a combination of strong winds and no rain, and the situation becomes particularly bad when the ground is warm and a cold air mass moves overhead.

Wind speeds over the weekend were up to 80 kilometres an hour, and yesterday they were still up to 55.

Bob Jacobs of the Regina weather office said such conditions combined Saturday to "bust up" the air, sending dust clouds 10,000 feet into the atmosphere.

They reduced visibility across the southern grain belt, roughly from Saskatoon

south to
There
no snow
August,
winter a
lack of
creating
many Pr
The
reminds
of the E
condition
the Gros
dustbowl

Nov 11, 1977 The Montreal Post p 1

DROUGHT

Governments pray for rain as they mobilize task force

La Presse - 17 nov./75

Globe & Mail 18/5/1977

Une partie des E.-U. menacée de sécheresse

Food experts look for rain to put damper on inflation

THE SPREADING IMPACT OF WORST DROUGHT IN DECADES

Winnipeg Free Press 11/2/77

Drought bill \$3 billion

Months without enough moisture are imperiling crops, cattle, bank accounts. Now danger is threatening new areas.

BERKELEY, Calif. (Reuter) — Drought could cost California up to \$3 billion in lost crops and livestock this year, the California Farm Bureau said Wednesday.

The estimate was the latest sign that crop losses due to frost in Florida and drought in California will raise the cost of food to consumers.

The drought th... from Illinois... one of the worst... As March began... etable crops were... Cattle herds were... pasture... Corn-pl... mained poor.

The clear signal... food prices and... months hence.

Shades of dust... far below normal... even the rains... much of the reg... brought little if... tional Weather... odds favored bett... fall over the next... normal precipitati... to alleviate the bo...

"Barring a mirr... going to be a very... larly in the wi... tter Orr Robert... tute and a leadi... weather, told U.S... Even as Robert

Le Droit 25/5/1977

Une sécheresse presque sans précédent

Toronto Star 19/2/75

BOUCHETTE — "En vingt-huit années de métier, je n'ai jamais connu un printemps aussi sec", de dire hier soir, le directeur-général de la Société de conservation de l'Ontarien M. Ghislain Ouellette.

La SCO qui est responsable de la détection et de la suppression des feux de forêt sur un immense territoire englobant tout l'Ontarien et le nord de Montréal, indiquait hier soir 73 feux actifs dont vingt hors de contrôle et les orages "secs" d'éclaircies continuant à se multiplier au nord de Mont-Laurier et à la hauteur de Parent et Clova.

Farmers fear millions lost from drought

THE WEATHER

The Icy Grip Tightens

LE DROIT 2/2/77

Quatre-vingt morts aux E.-U.

NEW YORK (AP) — Le bilan de la vague de froid sans précédent qui se poursuit aux Etats-Unis s'aggrave de jour en jour: hier, on comptait près de 80 personnes mortes de froid, le nombre de sinistrés mis à pied à la suite de la pénurie de gaz naturel dépassant largement le cap des deux millions, des centaines de milliers d'écoliers sont restés chez eux, leurs écoles n'étant pas chauffées.

electric power will de-
spring. Water is already
in parts of California (see
). In Oregon, forest fires
aster areas because of snow or drought,
thus making them eligible for some form
of federal assistance.

Toronto Sun 8/2/78

With the new President,
passed Carter's plan
il gas crisis, and he
—his first. The mes-
sage Government the
natural gas supplies
applies to those where
1. Just twelve hours
dry on the bill, the
swing from the Pa-
rough a series of con-
and then on to the
theast.
north in the White
President delivered
1 (see story, page 20).
consumers and pro-
effort to deal with

We're about out of cheeks to turn

EVERYWHERE (UPI Special) — Well, almost everywhere.

Places like southern Arizona and Miami made out all right, but the rest of North America struggled to cope yesterday with what many areas called the worst winter storms of memory.

A high-pressure system in Northern Ontario forced major storms westward as far as Alberta and eastward into Quebec and the Maritimes.

For the U.S. Midwest and Northeast, it was a second straight day of relentless blizzards brought and

MARITIME failures, road ferry service

THE GLOBE AND MAIL, SATURDAY, JANUARY 22, 1977 - B3

Globe and Mail 15/2/78

Heavy early snowfalls strain removal budgets

f
a
cl
w
fearing the worst
ter for invest-
able to
drift-

Fresh fruit embargoed by Florida

LAKELAND, Fla. (AP) — The Florida Citrus Commission has placed an embargo on all shipments and sales of fresh citrus fruits, effective Monday.

Embargo will last 16 weeks followed by 16 week period. Cuts will

The Globe & Mail - 27/1/1978

Hurricane-force blizzard batters Ontario

to
S.
O.
easie
ince
Highwa
the Bro
scores of
in conditio
a whitout.

QUEBEC: Canada III, many other closed after m. centimetres of sn. winds made virtually inip. Flights and buses Montreal were canc. and schools across province closed.

Two die in storm, winds hit 93 mph

Snow and hurricane-force winds snowed by record low barometric pressure roared into Ontario yesterday, stranding travellers, knocking out hydro in many areas, closing schools and public buildings and causing heavy property damage. Powerful winds of Boston and other areas were without power at various times.

The Vancouver Sun - 5/1/1978

Storm blocks highways, traps B.C. train travellers

Transportation in the B.C. Interior is getting back to normal today after a snowstorm virtually cut off rail and road traffic to the Lower Mainland on Tuesday.

into as concern. processing of the n.c. affected by the embargo.

The Florida Fruit and Vegetable Association said retail shoppers will begin to see the effects of record cold weather on Florida's vegetable crops late next week.

New York Times 14/7/1977

Planet earth undergoes record weather extremes

By James P. Sterba
New York Times Service
HOUSTON — The year began with a blizzard of superlatives — among the coldest winters in history in the East, driest in the West. People froze in New York, tomatoes glacified in Florida, streams ran dry in Oregon, and bears sweated in Alaska — in January.

Now, with winter emergencies forgotten, natural gas flowing, record crops forecast, and swimming pools brimming, many Americans have settled into the air-conditioned cocoons of summer, more oblivious than ever to the vagaries of weather.

Weather experts, meanwhile, have had time to soberly reassess the shrill pronouncements of winter. Their consensus: the weather was just as and worrisome as they said it was more importantly, it still is.

The United States, and much of the globe, is experiencing some of the extreme weather of the century, and national security experts are becoming increasingly concerned. The coldest, driest, hottest, and wettest weather in world weather and their effects on grain harvest, energy usage, fisheries, water pollution and even social unrest have matters of day to day scrutiny by federal agencies.

The Pentagon, concerned with national security, has issued a report. *Globe and Mail* 23/6/76

—THE GLOBE AND MAIL, WEDNESDAY, SEPTEMBER 8, 1976 3

U.K. farm income off 30% to 40%

LONDON — Britain's drought will cut farm incomes this year by up to about \$720-million or an average of 30 to 40 per cent, a farmers' representative said yesterday. Prof. Asher Winegarten, deputy director general of the National Farmers' Union, said the union's recent survey gave the first real picture of the effects of the drought. He

LA Presse 31/12/76

—les aérosols—

Les humains déclenchent la guerre contre le fréon, qui attaque la couche d'ozone

Fears for crops in Europe

Too hot or too wet Poor weather raises world crop doubts

LONDON (AP) — The western part of the Soviet Union has just had its wettest weather since at least 1878 and more rain is forecast.

Britain, meanwhile, is having its driest spell since 1727. Despite some recent showers, reservoirs and rivers remain several feet below their normal levels.

Across Europe, from too wet to too dry, the worry is the same—the threat of crop failure.

One of the countries worst hit by drought is France. Experts predict that if the drought continues, France will lose thousands of tons of wheat, barley and sugar beet and a large part of its vegetable crop.

Spain is also hit by drought. *La Presse* 7/7/76

Les Parisiens en sont rendus à désirer les orages

PARIS (AP) — Les habitants de la région parisienne commencent à envier au sud-ouest, aux pays de Loire et à la Bretagne leurs orages parfois si meurtriers, mais qui attirent la canicule. *La sixième* poursuit ses

Globe and Mail 3/5/76

Britain suffers worst drought in 200 years, crops threatened

28

THE WALL STREET JOURNAL, Friday, Dec. 19, 1975

Soviet Uncertainties

Health of Russian Economy Is Dependent On Increase in Rainfall, Recovery in West

Cold winters and the economy

New Scientist 19/1/78

A winter as severe as that which Britain experienced in 1947 could possibly have even more disruptive consequences today. What conditions cause such prolonged cold spells? And is there any chance of anticipating them?

Public asked to water thirsty trees

Play spots closed, loggers laid off as heat wave broils B.C.

Le Nouvelliste 54e année, No 51 Trois-Rivières, vendredi 28 décembre 1973
Le bilan de la tempête de verglas

Pertes de \$2.2 millions et 300,000 citoyens privés d'électricité

Globe and Mail 25/11/77

Frost damage to PEI potatoes at \$1.7 million

A snowstorm last weekend was the final blow in the loss of about 2,000 acres of potatoes still in the ground in Prince Edward Island, according to Paul MacPhail, potato specialist with the provincial Agriculture Department. He estimated that the frost damage resulted in loss to growers of \$1.7-million, based

Le Soleil - 24 juillet/76

125 millimètres de pluie depuis le début du mois!

par Denis ANSERS

Les Québécois goûtent à tous les caprices d'une météo imprévisible.

The Citizen 16/5/1977

Fires sweep northland in drought

By The Canadian Press
More than 200 forest fires raged across northern Saskatchewan, Manitoba and Ontario during the weekend, forcing evacuation of several communities and threatening acres of commercial timber, provincial officials said.

More than 400 Canadian Armed Forces personnel were called in Sunday to help fight at least 67 forest fires in Northern Saskatchewan.

Globe and Mail TORONTO, MONDAY, APRIL 26, 1976

The Globe and Mail - April 5/76

Jammed ice floods St. John River valley, hospital evacuated

PERTH-ANDOVER, N.B. (CP) -- About 500 people were taken from their homes at and yesterday.

Emergency Measures Organization. Flooding was caused by an ice jam. At Woodstock, three of the five spans of the railway bridge across the Medu-

Forest fire roaring down on collagers

La Presse - 21 avril 1976

Inondations: nouvelle crue printanière

Après une longue accalmie sur le front des inondations, les riverains de la région de Montréal doivent de nouveau

Les secteurs les plus susceptibles d'être touchés par cette deuxième crue provoquée par le dégel sont, outre la région de Montréal, la rive sud du Saint-Laurent, de la rivière Bécancour à Matane, et la rive nord jusqu'au Saguenay.

Cependant, tout le secteur sud de la rivière Bécancour à la frontière américaine connaît des baisses de niveau d'eau, y compris la rivière

St. John's Department.

At Hartland, where an ice jam caused havoc on Friday, residents were without drinking water until arrangements were made to have it trucked in by a local dairy.

The Trans-Canada Highway was blocked both below and above Perth Andover by two ice jams, forcing motorists to go through Maine.

Le Droit - 5 avril 1975

La situation est désastreuse du côté américain

rivière
semer
Saint
rivière
station
inondation
illicites
écroulé
un le
maison,
locale

Cette augmentation de température s'accroît, la neige à la tête et coulera au large.

PERTH-ANDOVER, N.B. (PC) — Les inondations ont légèrement ralenti, samedi, dans la plupart des régions le long du côté canadien de la rivière Saint-Jean supérieur, mais on a signalé que la situation était désastreuse du côté américain du même cours d'eau.

The Globe & Mail - Oct. 20/76

Trees uprooted, planes overturned

Hurricane winds smash buildings, boats in Newfoundland

The Sun 24/5/1977

Ontario a tinder box

Frost, brown rot feared

Threatened as snow hits province

L'HOMME FACE A L'INCERTITUDE CLIMATIQUE*

G.A. McKAY

Le "problème du climat"

Un climat imprévisible est synonyme de milieu incertain et d'insécurité pour l'homme. Que le climat soit incertain, personne ne peut le nier: dans les années 1970, on a connu une suite apparemment interrompue de manifestations climatiques catastrophiques: typhons, sécheresses, inondations, vague de chaleur et de froid. Celles-ci ont gravement perturbé la vie des communautés et les activités économiques. Depuis, les morts et la famine du Bangladesh et du Sahel, les pressions sur la bourse et les poussées inflationnistes liées à des récoltes pauvres en Europe et en Asie, les impacts sociaux et économiques de vagues de froid prolongées et de pénurie d'eau en Amérique du Nord, nous ont rendu extrêmement sensibles à notre vulnérabilité face aux variations climatiques. Ces événements nous incitent alors à se poser quelques questions: le climat a-t-il changé? sommes-nous complètement à la merci des futurs désastres climatiques qui se font de plus en plus fréquents et rigoureux? l'humanité s'est-elle engagée dans cette situation sans issue?

L'homme a toujours vécu avec une certaine incertitude climatique; celle-ci est à la fois une menace et un défi, un facteur qui a contribué à l'évolution des civilisations humaines. L'histoire nous rapporte que l'effondrement des cultures et la disparition des principales sociétés technologiques ont souvent coïncidé avec des variations climatiques. L'homme, grâce à son cerveau et à sa technologie est parvenu à maîtriser la terre en dépit des contraintes du climat. Toutefois les récentes manifestations climatiques nous remettent en mémoire l'avertissement que nous ne sommes pas encore complètement à l'abri. L'incertitude climatique est un problème toujours réel qui vient rendre plus complexes les autres menaces qui confrontent l'humanité; de plus, l'homme est devenu un paramètre important dans le problème du climat. On modifie les climats à l'échelle locale, et on dispose actuellement des moyens pour modifier le climat à l'échelle régionale et globale. Nous traiterons ici des sujets concernant la variabilité climatique naturelle. Les effets à long terme feront l'objet de la présentation du prochain orateur.

L'intérêt que nous accordons actuellement au "problème du climat" résulte principalement de l'omniprésence sans précédent des médias d'information. L'analyse, de même que le simple bon sens, nous montrent que les famines, les maladies, la spéculation et l'inflation ne sont pas dus qu'à des conditions météorologiques. La population est plus élevée et nos besoins ont changé. Nous possédons un plus grand nombre de biens, nous avons

*Présenté au troisième congrès international de Banff, "l'homme et son milieu, options futures", mai 1978

à notre disposition une technologie plus puissante, nos besoins et nos désirs sont plus grands. Ces changements aboutissent principalement à une grande conclusion: on augmente les contraintes sur l'environnement, les écosystèmes et les systèmes économiques. Les nouvelles technologies nous ont permis de nous libérer des caprices du climat, mais elles ont également accrûes les besoins, de sorte que sous de nombreux aspects nous sommes plus vulnérables. Le changement social, l'utilisation de moyens de protection périmees, une mémoire courte et une vision à court terme nous désignent comme d'éventuelles victimes de désastres.

S'il était seulement possible de prévoir l'avenir, l'une des menaces les plus graves serait alors circonscrite. Notre capacité de prévoir les variations naturelles du climat est toutefois très limitée, et il est possible que nous n'ayons jamais des prévisions dont le détail et la précision permettent de guider la prise des nombreuses décisions de caractère sociale. En revanche, les technologies de protection sont là et la science, de même que les données historiques, dont nous disposons, constituent une excellente base pour planifier l'avenir. Les variations causées par l'homme sont progressives, observables, et dans certains cas prévisibles. Il est donc possible grâce à celles-ci de pallier l'insouciance et, éventuellement, d'aider l'humanité à atténuer les dommages dues aux variations climatiques naturelles. Il est improbable que les incertitudes disparaissent; l'impact de l'homme sur le climat augmente, de même que sa vulnérabilité. Toutefois, il est possible d'atténuer considérablement, et même de prendre avantage des possibilités offertes par la variabilité climatique, en mettant sur pied des programmes de planification qui prévoient la nature variable et omniprésente du climat.

Qu'est-il arrivé au climat? - variabilité naturelle

Le cyclone de 1970 qui s'est abattu sur le Bangladesh a fait plus de 225 000 morts, et on ne connaîtra sans doute jamais avec certitude les pertes dues à ce cyclone et à la sécheresse au Sahel. L'échec de la pêche aux anchois au Pérou en 1972, la récente montée du prix des céréales, du sucre et du café sont des répercussions économiques intimement liées au climat. En 1976, une bonne partie de l'Europe a enregistré une canicule record. Le revenu des fermiers britanniques a été coupé de 30 à 40%. Les forêts ont brûlées, les troupeaux ont été réduits considérablement à cause du manque de nourriture. La France et la Grande Bretagne ont connu une inflation galopante et leur devise a été affaiblie. L'économie de l'Amérique du Nord a également connu une période instable durant l'hiver 1976-77, quand une configuration météorologique remarquablement stagnante a apporté à l'Ouest des Etats-Unis un climat doux et sec, et à l'Est une vague de froid persistante. La sécheresse qui a dominé la Californie a également affecté la Prairie. La couverture de neige hivernale ne s'est pas montrée dans l'Ouest canadien, où les sols se sont fissurés et où des tempêtes de poussière ont balayé les secteurs les plus arides. Durant l'été 1976, les fermiers de l'Est ont été aux prises avec un refroidissement qui a ébranlé l'économie agricole: trop frais pour le maïs et trop humide pour la culture du foin et des pommes de terre. Ces perturbations se sont poursuivies jusqu'en

1978: des pluies dévastatrices se sont abattues sur le sud de la Californie; l'Est de l'Amérique du Nord, de même que l'Europe, ont connu un autre hiver très froid. De nombreux records climatiques très anciens ont été battus. Qu'arrive-t-il au climat?

Ces manifestations sont-elles normales? Il tombe sous le sens que ces extrêmes ne sont pas des manifestations courantes, sinon ce ne serait pas des extrêmes. Toutefois ce climat est normal au sens où des manifestations analogues se sont déjà produites et se produiront de nouveau, sans doute de façon différente et à d'autres endroits. Il ne fait pas de doute que nous connaîtrons d'autres extrêmes. Un cyclone encore plus violent a dévasté le Bangladesh en 1976, (Burton et coll.), et le Sahel avait déjà connu une succession de sécheresses au siècle dernier. L'Amérique du Nord a souvent été aux prises avec des sécheresses, même si le schéma des premières a été passablement différent de celui des sécheresses de 1970. De même, notre continent a déjà connu des froids persistants très épouvantés. Il y a à peine dix ans, en 1969, on remettait aux résidents d'Edmonton des certificats attestant qu'ils avaient survécu à un hiver froid record: 26 jours sans interruption avec des températures inférieures à 0°F. Mais auparavant, ils ont connu des hivers encore plus froids. C'était leur quatrième hiver record depuis 1881. Certaines années, de même que certaines décennies, sont complètement ou partiellement plus froides, plus chaudes, ou plus orageuses que les autres. La variabilité est une caractéristique normale du climat et on ne doit pas l'interpréter comme le signal ou le signe avant-coureur d'un changement important à long terme.

Bien qu'on ait taxé l'hiver 1976-77 du pire qu'ait connu l'Angleterre au XX^e siècle, les hivers des années 1918, 1940 et 1963 ont été à peine moins rigoureux. C'est un hiver auquel on aurait pu s'attendre; cependant les réserves énergétiques de ce pays étant très faibles et les habitudes de confort et de mobilité plus élevées, l'ampleur de la perturbation et la réaction du public ont été fortement amplifiées (Burroughs, 1978). En Amérique, le froid persistant de l'hiver 1976-77 a causé des perturbations et des inconvénients analogues. On a estimé les pertes encourues à plusieurs milliards de dollars. L'histoire a démontré que des hivers aussi rigoureux n'étaient pas improbables; nous n'avions tout simplement pas planifié en fonction d'une telle manifestation climatique.

L'Ouest canadien nous offre d'excellents exemples de la variabilité climatique et de l'interaction homme-climat. La colonisation et le développement ont été très prospères dans les périodes relativement humides, et le contraire s'est produit durant les périodes de sécheresse. Les années 1860 ont été chaudes et sèches, et en 1868 la colonie de la Rivière Rouge a lancé un appel pressant au Canada, à l'Angleterre et aux Etats-Unis pour secourir la population littéralement affamée. Autant les années 1860 avaient été difficiles, autant les années 1870 ont été prospères pour le nord-ouest; l'immigration qui a suivie la guerre civile a été encouragée en raison d'une plus grande abondance des précipitations. Ce genre d'alterance s'est poursuivie. Dans les années 1880 on a connu de nouveau l'émigration et le découragement, découragement qui a atteint son maximum en 1894 au moment de

l'intensification de la sécheresse. Cependant la prospérité est revenue avec les pluies au XX^e siècle. De nos jours, le climat est plus chaud de ce qu'a connu le XIX^e siècle, mais cette succession de climats n'a pas changé. Les sécheresses et les épreuves sont suivies par de bonnes récoltes et un développement dynamique. Les périodes entre chaque sécheresse ne sont pas identiques, le caractère de chacune d'elles est différent suivant le moment de son arrivée, son emplacement, son intensité et sa durée. En outre les époques ne sont plus les mêmes.

La variabilité climatique existe depuis toujours et l'homme a toujours su s'en accommoder. Le sens de la conservation qui règne durant les épreuves se perd rapidement dès que les conditions reviennent à la normale. Il est paradoxale de constater que les remèdes proposés sont en mesure parfois d'élever le rendement durant les bonnes années, de sorte que les niveaux de rendement à conserver peuvent augmenter avant la prochaine période de crises. Il se forme aussi des zones tampon, comme quand des techniques d'exploitation agricoles améliorées et des politiques économiques forcent l'abandon de terres marginales. A mesure que le souvenir des périodes difficiles s'atténuent et que les priorités changent, le preneur de décisions impatient est naturellement tenté de présumer que le climat et les relations sociales resteront les mêmes que ceux qu'il a observé au cours des dernières années. Il s'ensuit que les périodes productives servent souvent de norme, imposant des niveaux de développement qui ne peuvent être maintenus lorsque le climat cesse d'être favorable.

L'homme face au changement climatique

Le terme "changement climatique" englobe toutes les catégories de modification climatique aussi bien à l'échelle géologique qu'à l'échelle hebdomadaire, pour des superficies couvrant toute la terre ou des régions locales. Comme le sujet traité ici couvre l'ensemble des menaces auxquelles est confronté l'homme, il est nécessaire d'inclure dans les remarques qui suivent les anomalies météorologiques critiques de plus courtes durées.

Toutes les formations de la terre qui ont été étudiées par la géologie conservent les traces de variations climatiques. Au cours des dernières 500 millions d'années, le climat a été généralement plus chaud que celui que l'on connaît aujourd'hui, mais périodiquement, des nappes de glace ont recouvert d'importantes superficies de la surface terrestre. On a également des preuves que des zones, aujourd'hui de climat tempéré, ont connu des climats tropicaux, de même que des époques plus arides ou plus pluviales. Il est fascinant de savoir que l'équateur a déjà passé par le Grönland et l'Antarctique. Cependant ceci a peu d'importance dans l'étude actuelle de l'avenir de l'humanité. Ce qui importe d'étudier est la période de l'histoire de la terre durant laquelle la répartition des terres et des mers, de même que les relations astronomiques entre la terre et le sol, ont été semblables à celles que l'on trouve aujourd'hui. Ce qui s'est déjà produit dans cette situation peut revenir.

Des recherches récentes ont tendance à appuyer la théorie de Milankovich (1941) qui postule que les glaciations correspondent aux cycles de l'excentricité de l'orbite terrestre, de l'obliquité de l'écliptique et de la précession saisonnière, dont les périodes sont environ de 96 000, 41 000 et 21 000 ans, respectivement (Hays et coll., 1976). Il y a vingt et un mille ans, la terre était aux prises avec la dernière glaciation. Au cours des périodes glaciaires, la température moyenne du globe était probablement 6°C moins élevée que la valeur actuelle. On présume que les précipitations étaient très abondantes le long de la limite méridionale du glacier, et très faibles aux latitudes arctiques. Durant la glaciation, l'habitat du boeuf musqué se trouvait au centre des Etats-Unis, et la forêt d'épinettes recouvrait la Floride et le Texas (Sellers, 1965).

Nous avons de bonnes preuves qui indiquent qu'à la fin de la dernière glaciation, les hauteurs de précipitation étaient beaucoup plus élevées dans des régions aujourd'hui arides. Durant cette époque, des grands lacs ont été creusés dans l'Est de l'Afrique et ont persisté jusqu'à 5 000 av.J.C. Les populations du Sahara ont dû vivre d'abord de pêche, puis d'agriculture et se sont converties finalement à un mode de vie nomade, à mesure que le climat devenait de plus en plus sec. Durant l'Optimum climatique (5 600 à 2 500 a.v.J.C.), la température moyenne globale était sans doute environ 2°C plus élevée que la température actuelle, et on pense que les glaces polaires se sont retirées au-delà du 80° N. Les grandes plaines de l'Amérique du Nord étaient plus arides, alors que le climat européen était chaud et humide. Les forêts ont monté vers le nord et ont atteint leur limite septentrionale entre 3 000 et 1 500 a.v.J.C. (Lamb, 1974).

Le climat interglacial que nous connaissons actuellement règne depuis 10 000 années. Il n'a toutefois été décrit avec une précision raisonnable qu'au cours du dernier siècle. On connaît le climat qui a régné avant cette période au moyen de renseignements "approximatifs" tirés des chroniques, des profils du sol, des anneaux de croissance des arbres et des sédiments lacustres. Cependant certains indices sont sans équivoque, ils démontrent que l'Europe a connu un climat relativement doux il y a mille ans (époque viking) au moment où on cultivait la vigne en Angleterre et quand les missionnaires celtes ont abordé l'Islande. Puis a suivi un "petit âge glaciaire" qui a duré pendant 3 siècles et s'est terminé au XVIII^e siècle. C'est une époque où les glaciers ont progressé dans les vallées montagneuses et détruisaient des villages; cette époque a aussi connu un temps humide et froid et il a été impossible de cultiver les sols détrempe par l'eau de pluie. A la fin du XIX^e, le climat de la terre a commencé à se réchauffer, et ce réchauffement s'est poursuivi jusque dans les années 1940 ou 1950 selon l'endroit sur la terre. Une période de refroidissement a suivi, mais depuis 1960 la tendance de la température globale est assez incertaine (figure 1).

Superposées à ce changement progressif, on observe des variations de climat de durée beaucoup plus courte, mais d'amplitude plus élevée qui influencent beaucoup l'homme et son milieu. Ce sont ces variations climatiques qui nous causent aujourd'hui les plus grandes inquiétudes. Elles ont toujours constitué une menace, mais nous oublions facilement les épreuves passées. Par exemple, l'Ouest du Canada a connu au XIX^e siècle au

moins 20 sécheresses d'envergure. Elles se sont produites presque au même rythme durant le XX^e siècle jusqu'à la Deuxième Guerre mondiale. La plus mémorable est celle des années 1930 qui a provoqué la pire érosion du sol que l'on n'ait jamais enregistrée dans la Prairie. Intercalées entre ces sécheresses, il y a eu des périodes humides qui ont à la fois encouragé et découragé la colonisation. Au début des années 1900, la région semi-aride de l'Alberta a connu une alternance très humide. Les crues ont été fréquentes, les fleuves ont changé leur cours et les routes et les chemins de fer ont subi des dommages importants. Les statistiques sur la hauteur des précipitations dans cette région montrent que ce climat est excessivement variable, tout en étant caractérisé par des périodes humides ou arides prolongées (figure 2). Les politiques d'utilisation des terres qui seraient établies seulement à partir du climat d'une seule de ces périodes pourraient s'avérer très inappropriées à une époque ultérieure.

Les anomalies climatiques se manifestent aussi bien aux échelles globale que régionale, et sont encore plus néfastes lorsqu'elles affectent plusieurs régions en même temps. La sécheresse de 1972 a touché de nombreuses régions agricoles importantes, sauf les zones céréalières de l'Amérique du Nord. A la même époque, une sécheresse de grande ampleur au Sahel a atteint son intensité maximale, pendant qu'une coulée d'eau océanique inhabituellement chaude au large du Pérou (El Niño) a contribué à réduire de façon importante la récolte de la pêche aux anchois. La sécheresse, ainsi que la faible extension du tapis neigeux, a réduit considérablement la production céréalière de l'Union Soviétique. De même, la sécheresse ou des crues excessives ont entraîné une réduction importante de la récolte de riz de l'Asie du sud-est. La production alimentaire mondiale a diminué de 888.1 millions de tonnes, soit une production inférieure de 9% à celle de 1973 et de 2% à celle de 1971. Il en est résulté une famine régionale, une lutte pour avoir accès aux réserves de grains disponibles, la spéculation du marché, une inflation mondiale et une augmentation de 300% du prix des céréales. D'autres climats anormaux ont donné lieu à des augmentations du prix du sucre en 1974 et du prix du café en 1975. Ces variations de courte durée ne sont en aucun cas des indices d'un changement important du système climatique, mais seulement des manifestations naturelles. Il est très important de remarquer que leurs effets omniprésents, ou boule de neige, provient de l'étroite interdépendance économique des nations. Les sécheresses, les gelées ou les temps très humides qui affectent les récoltes d'une région du globe ont des répercussions spectaculaires sur le prix des aliments dans des pays très éloignés. Le système climatique n'a pas vraiment changé, c'est la société qui a de plus en plus de points faibles et qui s'inquiète du "problème du climat". On sait présent que la supposition d'un climat stable n'est plus valable pour la planification.

Nouvelle société et vulnérabilité

Les facteurs clés du "problème du climat" sont la nouvelle technologie et les besoins et les désirs de plus en plus nombreux des sociétés. Il en découle des implications nombreuses et complexes. Les études sur les sécheresses du Sahel ont mis en évidence les problèmes créés par une nouvelle technologie et la croissance des populations. Une société plus popu-

leuse n'est pas libre de se déplacer pour subvenir à ses besoins, et elle est alors une victime impuissante de la sécheresse. Dans le cas du cyclone de 1970 qui s'est abattu sur le Bangladesh, une nouvelle technologie avait permis de grouper un nombre sans précédent de zones habitées dans une région deltaïque, zones pour lesquelles on n'avait prévu aucun des moyens de défense nécessaires contre les crues. Les moyens qui auraient pu réduire ce désastre étaient disponibles mais on ne s'en est pas servi (Burton et coll., 1978). C'est là une situation qui revient malheureusement trop souvent et qui contribue à ce que l'on appelle le "problème du climat".

Dans les pays développés, les risques de pertes de vies humaines sont beaucoup moins grands, quoiqu'un climat anormal puisse causer des pertes matérielles énormes. Dans certains cas, ces pertes sont absorbées par un secteur de la société plus important, à cause des assurances, de l'aide gouvernementale ou des forces du marché. Des prix plus élevés ont remboursé les producteurs de citrus de la Floride pour les dommages subis par la gelée en 1977. Le prix des aliments en Amérique du Nord a également suivi une courbe ascendante en 1973, non en raison du faible rendement des récoltes nord-américaines, mais plutôt à cause de la sécheresse de grande ampleur qu'ont connue l'URSS et l'Asie du sud-est, l'année précédente. Au lieu de favoriser une politique d'autosuffisance, on cherche à satisfaire ces besoins en important la nourriture. Ce sont nos attitudes qui ont changées et non la nature variable du climat; toutefois la combinaison de ces deux aspects se traduit par des répercussions d'envergure.

L'omniprésence du climat est synonyme d'un nombre infini de points faibles. Nous sommes bien préparés pour supporter, et parfois apprécier les variations climatiques les plus courantes; cependant les anomalies inhabituelles et rigoureuses sont à craindre. Ce qui nous cause une grande inquiétude c'est la possibilité de manifestations climatiques éprouvantes qui peuvent se produire une fois dans une vie humaine, ou les changements irréflechis qui peuvent hypothéquer considérablement les générations à venir. On sait que la décision de construire un barrage ou un chemin de fer intéresse de longues périodes de temps; cependant la plupart des activités humaines, partant les décisions, concernent des périodes courtes généralement inférieures à 10 ans, voire inférieures à 2 ans. Cela veut donc dire que pour la plupart des réalisations nous pouvons ne pas tenir compte du changement climatique graduel à l'échelle géologique. De la même façon, de nombreuses variations imputables à l'activité de l'homme ne se traduisent pas immédiatement par des effets néfastes, parce qu'elles sont également progressives. Cependant il faut intervenir immédiatement sur certaines variations qui peuvent avoir des conséquences irréversibles sur le milieu, comme la variation du dioxyde de carbone atmosphérique.

Notre vulnérabilité est encore plus sensible lorsque l'impact climatique touche directement ou contrôlé des secteurs comme l'agriculture, l'approvisionnement en eau, les transports, etc., et notamment quand ces activités constituent les clés de voûte d'une économie. L'une des façons de réduire les effets éprouvants de la variabilité climatique consiste à miser sur la diversité. Ainsi, au XIX^e siècle, l'économie des Etats-Unis

s'appuyait principalement sur l'agriculture et les crises économiques nationales étaient intimement liées aux mauvaises récoltes. Avec l'industrialisation qui s'est imposée au XX^e siècle, cette liaison a changé.

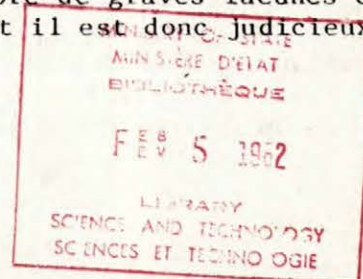
Les Nord-américains sont loin d'être aussi vulnérables aux anomalies climatiques que les peuples des autres continents, du fait de leur nombre relativement faible et de leur productivité agricole élevée. On a réduit considérablement les risques encourus par les fermiers, d'une part grâce à une nouvelle technologie, et d'autre part par l'étalement du risque grâce à des assurances, à l'aide des paliers de gouvernement, à la diversité des cultures, à la grande exploitation, à une utilisation plus judicieuse des terres. Quoi qu'il en soit, cette immunité est illusoire, car les pratiques de commercialisation ont étroitement lié un bon rendement de l'agriculture aux climats non seulement du Canada mais également d'autres pays. Le problème demeure donc toujours actuel, sauf qu'il a été étalé sur une base économique beaucoup plus large. C'est ce qu'on a pu observé dans l'Ouest canadien en 1977 quand la menace de sécheresse a perturbé non seulement les cultures mais aussi les villes, l'industrie et le commerce. L'achat d'instruments agricoles et de fertilisants, de même que d'appareils électriques et de vêtements, a été mis en veilleuse pendant que les fermiers attendaient avec appréhension. On voit donc que les fabricants, les distributeurs, les vendeurs de gros, les vendeurs de détail, les hôteliers, les restaurateurs et d'autres personnes travaillant dans des institutions qui desservent la communauté dépendent de la prospérité des fermiers.

Plus la région affectée est vitale et étendue, plus l'impact du climat est important. Les anomalies qui touchent l'approvisionnement en aliments ou qui entraînent l'inondation de zones côtières fortement peuplées ou de vallées fluviales sont évidemment beaucoup plus désastreuses que celles se manifestant dans des régions inhabitées. Les sécheresses régionales sont des manifestations beaucoup plus catastrophiques que les sécheresses locales, car on peut venir rapidement en aide aux petites régions sinistrées pour un prix relativement peu élevé. Certaines régions sont très sensibles parce qu'elles constituent déjà des zones de climat marginal. Par exemple, une faible réduction de la saison sans gel n'affecte pas sérieusement les zones céréalières des Etats-Unis alors que la même réduction au Canada pourra être critique du fait que la saison de croissance est tout juste assez longue pour l'agriculture. De la même façon, un léger décalage d'un climat plus chaud et plus aride pourra réduire considérablement la possibilité de se servir des terrains semi-arides pour la culture et le pâturage. En Islande, les champs de glace demeurent toujours à proximité. Une légère modification des vents dominants peut provoquer l'implantation du glacier sur la côte septentrionale, avec tout ce que cela implique d'effets désastreux pour les pêches et l'agriculture. Lorsque ce refroidissement s'est produit dans les années 1960, comme cela s'était produit au cours des siècles précédents, il en est résulté une perturbation importante de la vie sociale et économique, et la dévaluation de la monnaie. Au cours de la vague de froid précédente qui a sévi entre 1870 et 1918, des milliers d'Islandais ont émigré en Amérique du Nord.

Cependant, à quelque chose malheur est bon, c'est cette grande vérité que nous apprend la sécheresse de l'Ouest du Canada de 1976-77, lorsque les ventes de charbon et son expédition ont atteint des sommets inespérés quand les centrales thermiques ont dû remplacer les centrales hydroélectriques, et quand les stations de ski ont dû consentir des investissements importants pour acquérir des équipements de fabrication de neige artificielle. De même, durant les périodes de pluie excessive, il est vrai que les niveaux d'eau élevés peuvent causer des dommages importants aux propriétés, mais ils améliorent aussi la production d'énergie hydroélectrique et les conditions de navigation. Les variations climatiques ont aussi des bons côtés, et n'ont pas toutes un caractère éprouvant. Le réchauffement du climat entre 1880 et 1940 a permis d'ouvrir les routes maritimes arctiques et de reporter plus au nord la limite des terres cultivables. Il peut résulter de certaines autres variations une élévation importante du rendement des récoltes et des conditions idéales pour le tourisme et la fabrication de grands crus.

Dans une certaine mesure, il est préférable que le climat soit imprévisible. Par exemple, il ne fait pas de doute que les centres touristiques et les services de voyage traverseraient des moments difficiles si l'on connaissait précisément à l'avance le temps qu'il fera. En ce qui concerne l'approvisionnement des aliments, il n'est pas utopique d'imaginer que la connaissance au préalable d'un climat éprouvant pourrait entraîner des actions violentes. Ainsi, on a demandé dans un questionnaire ce qu'on aurait fait si on avait connu parfaitement le climat au Sahel en 1973; une des personnes a dit que la première chose qu'il aurait faite, c'aurait été d'augmenter les effectifs de la police. Il y a donc certains cas où il est préférable de ne pas connaître l'avenir. De plus, il peut être totalement démoralisant de savoir que la période qui s'en vient sera morne. Quoi qu'il en soit, il y a des avantages à planifier pour contrer les effets éprouvants et pour réaliser des économies; l'incertitude du climat vient sans aucun doute compliquer ce processus.

En labourant, en détruisant les forêts, en construisant des villes, et par d'autres actions, l'homme modifie les climats locaux et il peut de ce fait changer de façon importante l'équilibre du milieu. Les conséquences ont été à la fois bonnes et mauvaises; parmi celles-ci, on note une augmentation de la contrainte due à la chaleur, une altération de la configuration des précipitations et le caractère du climat près des villes. Collectivement, ces conséquences sont d'une grande importance, car elles affectent la santé, les écosystèmes régionaux, la planification et la conception. Le développement urbain et industriel prévu laisse entrevoir une augmentation de ces effets. Les équipements de transformation et d'utilisation de l'énergie sont ceux qui ont la plus grande possibilité de modifier le climat. La production de chaleur seule, si elle est concentrée dans certains centres, peut causer des changements climatiques régionaux. La production de dioxyde de carbone (augmentation de 10 à 20% au cours du présent siècle) pourrait occasionner un réchauffement global, réchauffement plus marqué dans les régions polaires. Nous avons encore de graves lacunes dans nos connaissances des interactions homme-climat, et il est donc judicieux de planifier avec prudence en raison de ces inconnus.



Se défendre contre la variabilité climatique

Nous avons en main de preuves irréfutables justifiant le besoin de développer des moyens de défense contre la variabilité climatique: il n'y a qu'à songer à cet hiver froid qui a retranché des millions de dollars au produit national brut, à ces sécheresses qui perturbent l'agriculture, endommagent les sols et les forêts et à ces crues et ces sécheresses régionales qui provoquent la famine et causent de nombreux ravages. Il existe de nombreuses façons de se défendre, et il semble que les solutions mixtes constituent l'approche la plus rationnelle pour réduire les conséquences économiques et les traumatismes sociaux.

Parmi les éventuels moyens de défense, mentionnons les assurances, les ouvrages techniques pour contrôler les impacts climatiques, la modification ou le contrôle direct du climat et d'autres actions tactiques basées sur nos connaissances météorologiques. Chacune de ces solutions est fonction des coûts économiques et sociaux et d'autres contraintes, ainsi les frontières politiques et physiques peuvent réduire l'efficacité de ces solutions. De plus le contrôle du climat peut poser des problèmes encore plus sérieux que ceux qu'on cherche à résoudre. D'autre part, les avantages de ces mesures défensives peuvent être énormes. Thompson (1977) a estimé que des événements météorologiques causaient, chaque année aux Etats-Unis, pour \$5 milliards de pertes qui auraient pu être évitées. D'un point de vue à la fois économique et écologique, il est d'une grande importance de s'intéresser à la variabilité climatique. Nous ne devons pas accepter ces pertes sans réagir. Des solutions existent.

On recherche sans arrêt une technologie qui nous permettra de ne pas subir des pertes causées par le climat. Nous avons déjà en main une technologie valable, mais elle est souvent reléguée aux oubliettes dans les intervalles qui séparent les périodes climatiques éprouvantes. Dans les cas où la technologie existe déjà, il suffit de rester éveillé à toute éventualité. On remarque également une tendance à développer des technologies qui s'attaquent à un problème immédiat plutôt qu'à une solution à long terme. La construction d'un barrage, la révolution écologique, et d'autres initiatives semblables, ne font que reporter le problème à plus tard, à moins que le reste du système change. L'élimination immédiate d'un élément d'incertitude se traduit par une demande accrue et, partant, par un inconnu encore plus important pour l'avenir. La véritable réponse est d'apprendre à vivre dans un monde dans lequel le climat occasionne la variation des ressources.

Il est essentiel de faire preuve d'une plus grande souplesse, car l'autre solution augmente considérablement les coûts sociaux, économiques et écologiques. Les pratiques d'utilisation des terres, le stockage d'approvisionnements et la taille des troupeaux peuvent être modifiées selon le niveau des risques climatiques, et d'autres circonstances. Il devrait être possible de faire appel à des stratégies judicieuses dans l'utilisation des équipements de transport pour réaliser des économies lorsque des prévisions nous annoncent que la demande et l'approvisionnement seront nettement anormales par suite du climat. L'achat de biens d'immobilisation, de fertilisants, la rentabilité d'une nouvelle entreprise, etc., sont souvent fonction

du climat et ces activités commerciales devraient tirer de grands avantages de conseils sur les risques et les conditions climatiques donnés au bon moment. Il est tout naturel de se demander quel temps il fera lorsque l'on prévoit faire un pique-nique, alors que souvent il ne nous vient pas à l'idée de nous demander quels sont les risques climatiques qui peuvent mettre en danger notre vie ou détruire nos propriétés.

Renseignements climatiques

Quels sont réellement les renseignements d'ordre pratique que les climatologues peuvent fournir aux planificateurs? Quelle est la propabilité que ces prévisions climatiques soient fiables? On fournit déjà dans plusieurs pays des prévisions saisonnières; toutefois c'est à l'étape de la prise de décision où l'on n'est pas encore en mesure d'exploiter ces renseignements. Les prévisions à longue échéance sont extrêmement hasardeuses. Nous avons espoir de pouvoir améliorer les prévisions saisonnières, et des techniques probabilistes peuvent augmenter leur utilité. Toutefois il est de la plus haute importance d'avoir une connaissance plus détaillée des mécanismes physiques.

Il existe d'autres types de prévision d'une grande utilité. Les modèles climatologiques peuvent servir à prévoir les effets probables de l'homme sur le climat. Par exemple, on a fait appel à des modèles pour évaluer l'effet d'une élévation du dioxyde de carbone, et d'autres polluants, sur le climat à venir. Les politiques énergétiques et d'utilisation des terres actuelles pourraient entraîner une élévation du dioxyde de carbone de 15% à la fin de ce siècle. Des modèles démontrent que ceci pourrait occasionner une élévation de la température moyenne de la terre de 0.5°C. De plus, ils montrent que ce réchauffement devrait être encore plus marqué aux hautes latitudes, où il y aura réduction du manteau de neige et de glace. Ce genre de prévision joue un grand rôle dans l'examen critique des options et de la politique énergétique.

Une autre catégorie de prévision découle de l'analyse statistique des probabilités. La variabilité climatique, de même que les extrêmes, peuvent être étudiés de la même façon que tous les autres risques calculables. Les énoncés de risque sont essentiellement des prévisions dont on n'a pas spécifié la date de réalisation; elles ont une certaine supériorité sur la prévision classique du fait qu'elle se réfèrent à des conditions parfaitement définies. Pour l'appliquer, il est nécessaire d'avoir une longue série d'observations, et il est heureux que de nombreuses stations climatologiques canadiennes aient des enregistrements qui s'étalent sur plus d'un siècle. Il est en outre possible d'allonger par déduction cette série en étudiant les indices naturels comme les anneaux de croissance des arbres, les sédiments de lacs et les carottes de glace. Nous ne devons pas tarder à reconnaître que les variations climatiques passées nous ont induit à des conceptions et des plans qui ne conviennent plus au climat actuel et que l'homme, par l'entremise de l'urbanisation et de l'industrialisation, peut modifier les données qui servent de base à la planification. Il est essentiel d'effectuer des analyses climatiques soignées afin de vérifier la validité des plans qui joueront un rôle essentiel dans la satisfaction de nos besoins à venir et qui dépendront du climat.

L'utilisation de scénarios est intimement liée à l'estimation des risques. Les scénarios peuvent et doivent faire appel aux données statistiques, mais dans l'ensemble ce sont des descriptions détaillées des conditions extrêmes qui peuvent survenir. Du point de vue climatologique, les manifestations passées bien documentées constituent des scénarios plausibles du seul fait qu'elles se sont produites, et peuvent se produire à nouveau. Le climat qui est à l'origine de l'alternance humide de l'Alberta (1902-1915) ou de la sécheresse des années 1930 peut servir à vérifier les plans d'aujourd'hui et les systèmes d'exploitation. Quelles seront les conséquences d'une autre alternance humide sur le développement au pied des Rocheuses? Quels seront les effets d'une autre succession d'années sèches, comme celles des années 1890, sur une société qui a besoin de plus en plus d'eau pour approvisionner des industries et des villes plus nombreuses et plus grosses, pour gazéifier son charbon et irriguer?

De nombreux climatologues ont scruté des enregistrements climatologiques en détail dans l'espoir de découvrir des configurations cycliques qui pourraient servir à la prévision du climat à venir. Ces études ont en général démontré que les configurations cycliques ont une valeur de prévision assez faible. Dans les régions tropicales, on sait qu'il existe une oscillation de la pression ayant une période de 2,3 année et un cycle dans la pluviosité d'une période de 11 ans. Il y a de bonnes preuves qui indiquent que le cycle des taches solaires de 22 ans semble correspondre avec l'extension de la région de sécheresse dans le sud-ouest de l'Amérique du Nord; la valeur, comme élément de prévision, de cette constatation reste encore à démontrer. D'autres mécanismes atmosphériques ont une influence tellement dominante sur le développement de l'irrégularité du climat, que les tendances graduelles et les cycles sont habituellement difficiles à circonscrire.

L'inaptitude des météorologues à prévoir avec précision le climat à venir est parfois une excuse dont on se sert pour ne pas utiliser les renseignements climatologiques dans la prise des décisions. Ce n'est pas une excuse valable. Il est assez intéressant de remarquer que la réponse à de nombreux problèmes que l'on étudie aujourd'hui se retrouve dans les renseignements courants et ne nécessite pas une analyse compliquée. Les Etats-Unis avaient à leur disposition en 1972 les renseignements nécessaires pour élaborer leurs stratégies de mise en marché des grains, mais ceux-ci n'ont pas été exploités à leur pleine mesure. La technologie pour planifier et annoncer une évacuation durant le typhon de 1970 au Bangladesh existait, mais les promoteurs n'ont pas eu la prévoyance de se la procurer. Les renseignements nécessaires qui auraient permis d'éviter une perte importante (50 à 100 millions de dollars) à un programme de culture de l'arachide de l'Afrique orientale existait, mais on ne s'en est pas servi. Les planificateurs auraient dû envisager la possibilité d'un risque de sécheresse dû à la variabilité naturelle du climat; il n'était nullement nécessaire d'établir une prévision climatique précise au moment de la planification.

Le climat à venir

Le climat que l'on connaîtra dans quelques années fait toujours l'objet d'une spéculation audacieuse. Bien que les météorologues aient développé

des modèles utiles pour estimer jusqu'à quel point l'homme peut influencer le climat, on n'a pas encore élaboré de prévision de l'irrégularité naturelle du climat, applicable à l'étape de la planification. Il se peut que pour de nombreuses applications particulières il soit impossible de développer des prévisions adéquates. On a cherché à utiliser les tendances et les cycles comme outil de prévision, mais cela s'est avéré peu avantageux. La seule chose dont on soit vraiment certain c'est que le climat à venir sera variable et que l'irrégularité qui s'est manifestée au cours des derniers siècles est sans doute le meilleur indice de ce qu'il sera.

La majorité des climatologues s'accordent, sur le fait qu'il y aura éventuellement un retour à un climat plus froid; toutefois il reste des points obscurs sur la nature des actions qu'entreprendra l'homme pour modifier ce changement naturel. Mason (1976) estime que la probabilité est de 1% qu'il y ait un retour d'une glaciation qui débiterait au cours des cent prochaines années, glaciation qui se développerait au maximum (une baisse de température de 10°C) et qui s'échelonnerait sur 1 000 années. Cet auteur exprime également une opinion qui est partagée par la majorité des météorologues: "... les fluctuations du climat se poursuivront avec la même ampleur, la même fréquence et la même variabilité qu'au cours des derniers siècles, elles seront superposées aux tendances à long terme dont le déclenchement et l'inversion ne peuvent encore être prédites à l'avance". En ce qui concerne ces tendances, la théorie de Milankovitch (1941) suggère un refroidissement, mais de nombreux effets appréciables de l'activité humaine ont tendance à imposer un réchauffement climatique. A l'heure actuelle, on ne distingue pas encore de tendances bien tranchées; les indices climatiques, s'ils existent, sont masqués par les variations à court terme.

La plupart des influences dues à l'activité de l'homme ont tendance à provoquer un réchauffement climatique, et elles pourraient dominer dans un avenir rapproché. Le principal impact de l'homme sur le climat résultera sans doute de la combustion de carburants fossiles. Comme le dioxyde de carbone est un excellent absorbant du rayonnement terrestre de grande longueur d'onde, il a la possibilité de jouer un rôle important sur la quantité de chaleur conservée à proximité de la surface terrestre. Toutes choses étant égales, cet effet pourrait provoquer l'établissement de conditions assez semblables à celles de l'Optimum climatique qui apparaîtraient dans les prochaines 75 années, si les modèles actuels et les scénarios énergétiques sont plausibles. Il y aurait alors un décalage vers le nord des limites climatiques actuelles et l'implantation d'un climat plus aride au-dessus de la majorité des grandes plaines. Il y aura à la suite de ce changement des avantages et des inconvénients. Parmi les avantages, il faudra moins d'énergie pour se chauffer, l'utilisation des routes arctiques pour les transport se développera considérablement et de nouvelles régions pourront être cultivées. Au chapitre des inconvénients, les sécheresses seront plus marquées dans les zones agricoles déjà exploitées, l'utilité des voies maritimes intérieures sera réduite, de même que les quantités d'eau servant à la production d'énergie électrique. Ces changements évidemment sont hypothétiques.

Planification

Superposé aux tendances futures, nous continuerons d'observer le type de variabilité climatique qui affecte actuellement les pays de toutes les régions du globe. Il y aura des sécheresses, du temps humide, des vagues de chaleur et de froid, d'autres manifestations climatiques qui se produiront à un rythme irrégulier et avec une ampleur aléatoire. Comme l'incertitude ne disparaîtra pas, comment pourrions-nous nous adapter avec bonheur aux variations climatiques et quelles seront les conséquences possibles des activités humaines?

Le désir actuel d'établir des liens d'interdépendance, désir sans précédent dans les annales de l'histoire, et les besoins de partager les ressources, concourent à faire du "problème du climat" un sujet qui demande que l'on pose des gestes concrets. On a posé les bases d'un congrès mondial sur le climat, qui devrait se tenir à Genève en 1979. L'objet de ce congrès est d'exposer le "problème du climat" devant les économistes et les planificateurs de l'ensemble des pays, avec l'intention de déterminer les actions qui doivent être entreprises. Dans de nombreux pays, on est en train de mettre en oeuvre des plans pour étudier les relations homme-climat et d'élaborer des stratégies qui atténueront les contraintes à venir et utiliseront au maximum les bénéfices qui résultent des variations climatiques.

Des réalisations ont été accomplies, par exemple, dans l'hybridation de céréales résistants aux sécheresses et à maturation précoce. Il y a des raisons de croire qu'on a réussi dans de nombreux plans à intégrer de façon efficace les renseignements climatiques. Une évaluation intéressante des décisions prises en rapport avec la récolte 1974 de la Saskatchewan indique que celles-ci n'auraient été différentes si on les avait prises à la lumière de prévisions climatiques précises. Il semblerait donc que le climat est déjà un critère dont on tient compte dans une mesure importante, soit directement ou indirectement, dans les processus de prise de décisions. Une étude parallèle sur la sécheresse de 1973 au Sahel a révélé une situation complexe dans laquelle l'utilisation de prévisions climatiques précises auraient été de peu d'utilité, à moins que l'on ait pu résoudre de nombreux problèmes sociaux, politiques et économiques. Il apparaît donc ici, comme ailleurs, que le problème du climat est un problème qui a ses racines dans la société.

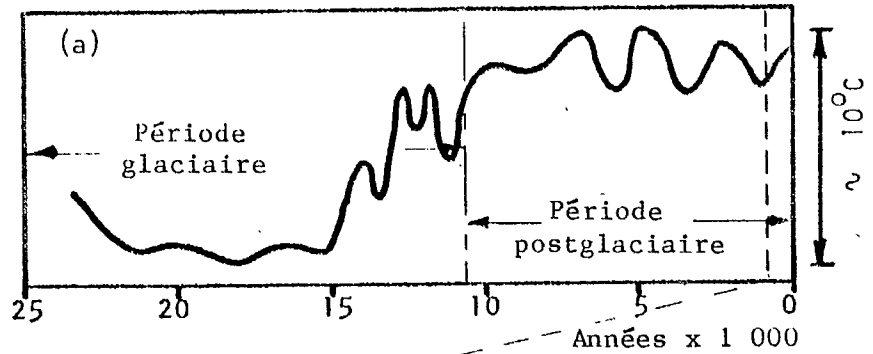
L'évaluation des ressources énergétiques esquisse au moins une réponse au problème posé par le dégagement de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Les programmes de conservation des combustibles fossiles forcent à développer des systèmes ayant un meilleur rendement, ainsi qu'à utiliser le plus possible des réserves d'énergie renouvelable, permettront sans doute de réduire le taux d'émission du CO₂ dans l'atmosphère. Grâce à ces programmes il se pourrait que le temps qu'il faut pour doubler la concentration de CO₂ dans l'atmosphère soit allongé considérablement et que l'on ait beaucoup plus de temps pour essayer de bien comprendre et de bien développer des sources et des stratégies énergétiques appropriées.

Le climat, les structures sociales et économiques sont très enchevêtrés. Dans un essai sur la Révolution française, Neumann (1977) décrit les conditions de sécheresse et de famine qui ont contribué au déclenchement et à la diffusion de la violence; ce ne sont quand même pas les causes premières de cette révolution. La contrainte climatique est souvent un facteur parmi d'autres que l'on envisage dans la prise de décision et fréquemment on considère que c'est un facteur peu important vis-à-vis de nombreux facteurs urgents et de nombreuses solutions possibles. La personne qui doit prendre des décisions désire avoir en main des évidences climatiques concrètes, mais bien des fois il fait appel à de l'information climatique sans le savoir, comme le fermier qui décide de ne pas semer parce que le sol est trop sec. Malgré le fait que l'homme fait face à des manifestations catastrophiques depuis des siècles, il demeure toujours à la merci de la variabilité climatique, et même dans certaines régions il est encore plus vulnérable que jamais, non parce qu'il y a eu changement climatique mais plutôt parce qu'il oublie rapidement et que la société, de même que les structures qui assurent sa subsistance, ont changé.

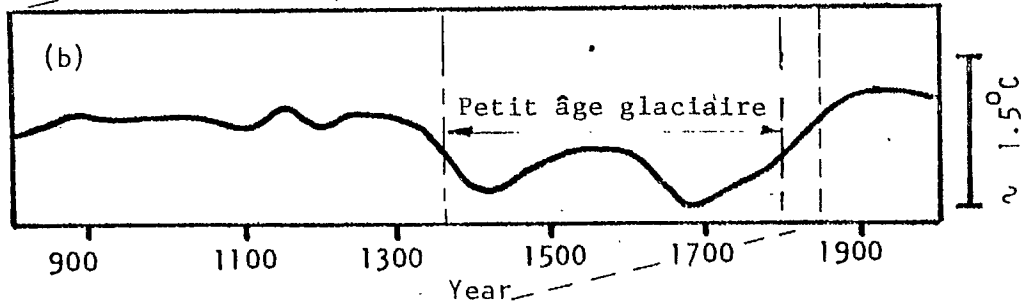
Nous n'exploitons pas à leur pleine valeur nos erreurs passées, malgré le fait qu'il y ait une amélioration. On est de plus en plus conscient qu'il est nécessaire d'intégrer nos connaissances climatiques lorsqu'on établit des politiques de planification. Des programmes climatiques internationaux et nationaux intégrés sont en train actuellement de voir le jour et leur élaboration se fait avec l'aide de la plupart des personnes compétentes: météorologues, économistes, agronomes, ingénieurs, planificateurs, etc. Un des objectifs importants de ces programmes est d'améliorer les communications, car la compréhension de beaucoup de mécanismes fondamentaux est là, il suffit juste de l'exploiter. Un autre objectif important est la prévision climatique, problème scientifique difficile long à résoudre mais qui pourrait apporter des avantages énormes. L'intégration des connaissances sur l'environnement, concurremment avec le rapide développement de la science et de la technologie, donne à notre société une position unique dans les annales de l'histoire pour confronter l'incertitude climatique de demain.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

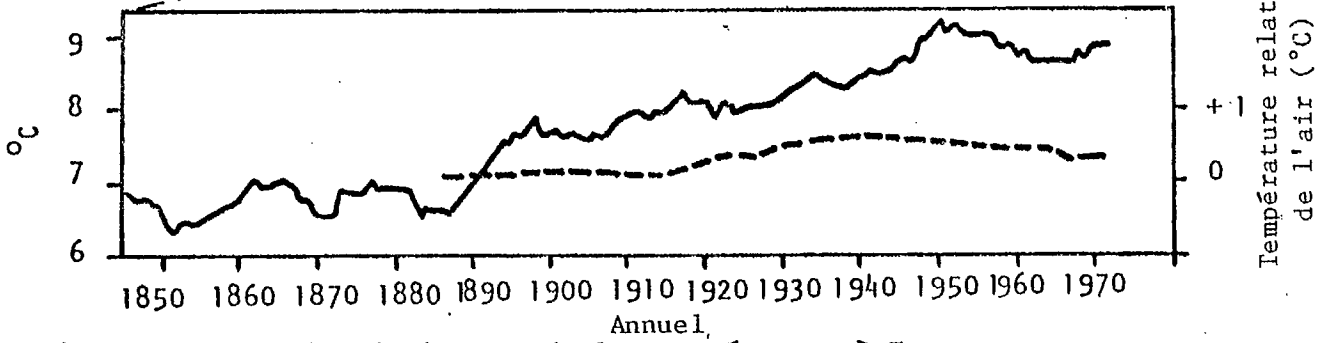
- BURROUGHS, W., 1978: "Cold winters and the economy". New Scientist, (Jan. 19), 146-48
- BURTON, I., R.W. KATES, G.F. WHITE, 1978: "The environment as a hazard" Oxford University Press, New York. 240p.
- GLANTZ, M., 1977: "The value of long-range Weather forecasts for the West African Sahel". Bull. Amer. Met. Soc., 58:2:150-158.
- HAYS, J.D., J. IMBRIE and N.J. SHACKELTON' 1976: "Variation in the earth's orbit: Pacemaker of ice ages". Science, 194:1121-1132.
- LAMB, H.H., 1974: "Climate, vegetation and forest limits in early civilized times". Phil. Trans. R. Soc., Lond. A276, 195-230.
- MASON, B.J., 1976: "Towards the understanding and prediction of climatic variations". Quart. J.R. Met. Soc., 192:473-498
- MILANKOVITCH, M., 1941: "Canon of insolation and the ice-age problem". Translation, U.S. Dept. of Commerce, Clearing House for Federal Scientific and Technical Information. Springfield, Va. 484p.
- NEUMANN, J., 1977: "Great historical events that were significantly affected by the weather: 2, The year leading to the revolution of 1789 in France". Bull. Amer. Met. Soc., 58:2:163-168.
- SELLERS, W.D., 1965: "Physical climatology". University of Chicago Press, Chicago. 272p.
- THOMPSON, J.C., 1972: "The potential economic benefits of improvements in weather forecasting". National Technical Information Services, Springfield, Va. 80p.
- U.S. NATIONAL SCIENCE FOUNDATION, 1974: "Report of the ad hoc panel on the present interglacial". Federal Council for Science and Technology, Interdepartmental Committee for Atmospheric Sciences. Washington. 22p



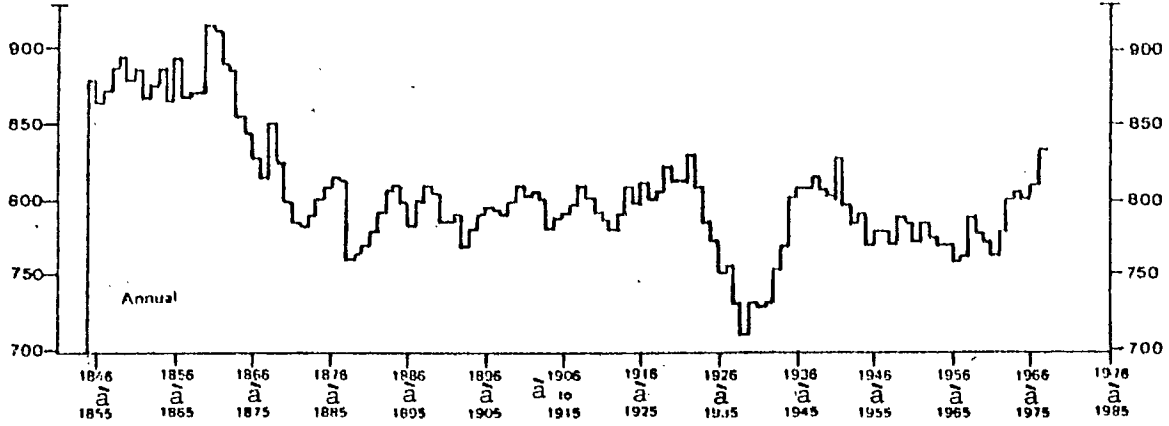
a) Tendence de la température globale au cours des derniers 25 000 ans.



b) Tendence de la température globale au cours des derniers 1 000 ans.



c) Moyennes mobiles de dix ans de la température à Toronto
Les températures de l'hémisphère nord ramenées à la température de 1885



Moyennes mobiles de dix ans des précipitations à Toronto

Figure 1. Tendances Climatiques

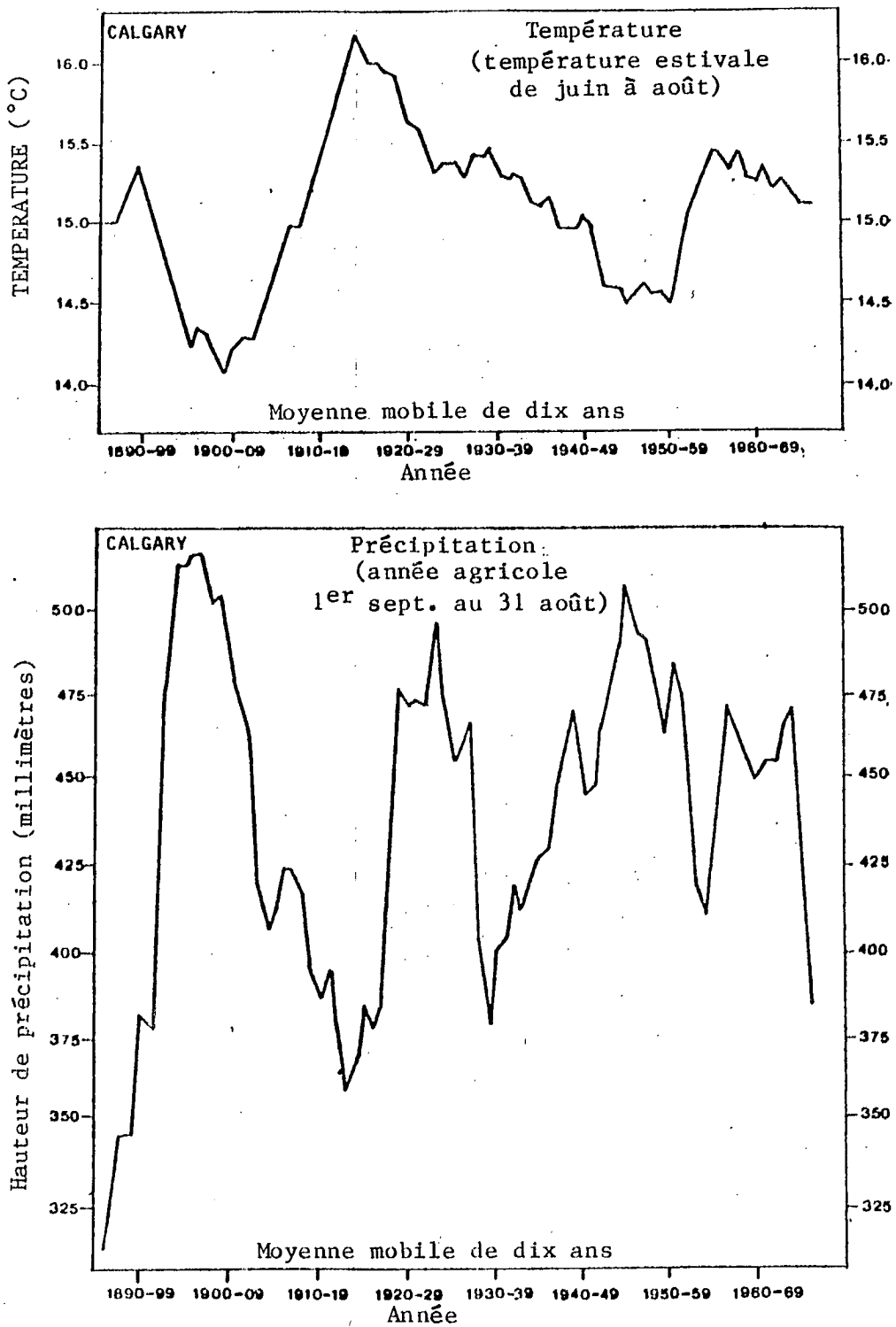
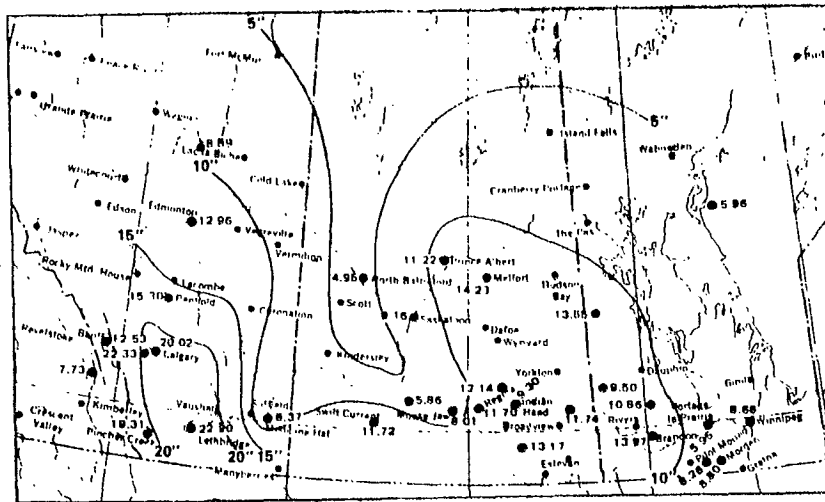


Figure 2. Variations prononcées de la température et de la hauteur des précipitations décennales à Calgary (Alberta)



Hauteur de pluie totale en mai, juin et juillet 1902 (po).

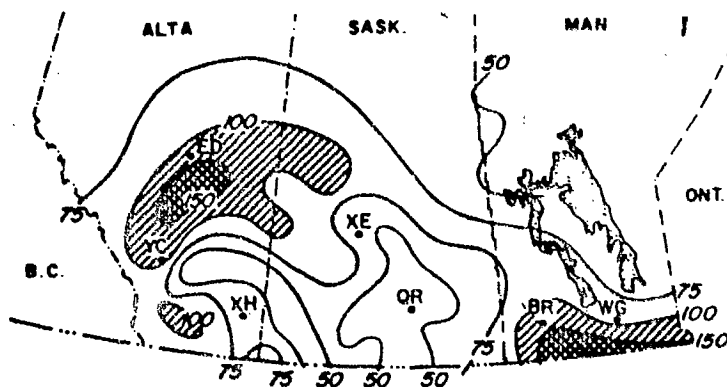
*1902 - De copieuses pluies à la fin du printemps au pied des Rocheuses en l'Alberta provoquent des crues importantes - rivières Bow et Oldman.

1903 - Le sud albertain du pied des Rocheuses est un "marécage", de nombreuses routes doivent être reconstruites sur des terrains en hauteur à un coût élevé - interruption des services de chemin de fer.

1908 - Crue record de la rivière Oldman à Lethbridge.

1937

Sec



Précipitation de mai à juillet 1937, exprimée en pour cent de la précipitation moyenne 1941-70.

Rendement des cultures aux E.U. et au Canada entre 1933 et 1937

Année	Etats-Unis		Maïs (boisseaux par acre)	Saskatchewan, Canada	
	<u>Blé d'hiver</u>	<u>Blé de printemps</u>		<u>blé de printemps</u>	<u>Blé de printemps</u>
1933	12.4	9.2	22.9	8.7	10.4
1934	12.3	9.8	15.7	8.6	11.3
1935	13.9	8.8	24.0	10.8	11.3
1936	13.8	9.6	16.5	7.5	8.1
1937	14.6	10.8	28.2	2.6	6.4
Moyenne (1922-31)	15.2	12.6	25.0	16.4	11.8
Moyenne (1933-37)	13.4	9.6	21.5	7.6	9.5

Figure 3.

Scénarios d'étés sec et humide

THEORIES DES VARIATIONS CLIMATIQUES

On a mis de l'avant de nombreuses hypothèses prétendant expliquer les causes des variations climatiques. Bien que certaines soient plus vraisemblables que d'autres, aucune ne concilie parfaitement toutes les observations. C'est dans la nature même des variations du climat qu'il soit très difficile de comprendre, en fonction de quelques mécanismes physiques corrélatifs, la chaîne longue et embrouillée des phénomènes, qui, à partir de la cause initiale, conduit à l'effet observé. Voici l'analyse de quelques mécanismes qui peuvent occasionner la variation du climat:

1. Les influences solaires

On présume le plus souvent que l'apport d'énergie provenant du soleil est constant, car on n'a pas fait clairement la preuve de changements de la variation totale, même de changements de l'ordre de 1 pour cent. On a observé de grandes variations de l'apport énergétique solaire, dans les extrémités X et UV du spectre; toutefois, ces variations coïncident avec des périodes d'intense activité solaire (taches solaires). On n'a pas encore vraiment confirmé l'observation de changements dans les parties visible et infrarouge du spectre.

Un certain nombre d'études ont montré une corrélation entre les taches solaires et le temps. Par exemple, dans le sud-ouest américain, il semble que l'étendue affectée par la sécheresse suit un cycle de 22 ans, soit deux fois le cycle undécennal des taches solaires. Les corrélations mises en évidence pour le temps de certaines régions ne s'appliquent pas instantanément aux autres régions, et leur pouvoir de prévision est très limité. On n'a pas encore réglé la question de l'influence des taches solaires sur le temps, et on n'a pas, à ce jour, élaboré de théorie vraiment satisfaisante qui lie ces dernières et les variations climatiques.

Des études statistiques ont démontré d'autres interrelations, par ex. entre le temps et la polarité du champ magnétique du soleil. Bien que les changements observés soient d'une ampleur très faible, ils contribuent à l'élaboration d'une théorie des changements climatiques, et à leur prévision.

2. Variations orbitales

Dans son mouvement autour du soleil, la terre s'écarte parfois faiblement de sa trajectoire régulière. Ces écarts sont périodiques. Les périodes sont différentes: l'obliquité de l'axe de la terre a une période de 41 000 ans, l'indice de précession est quasi-périodique avec des alternances de 23 000 et 19 000 ans et l'excentricité orbitale a une période de 105 000 ans. Ces variations orbitales coïncident si bien avec des périodes climatiques observées que des scientifiques en sont arrivés à la conclusion qu'elles sont à l'origine de la succession des glaciations du Quaternaire.

Un modèle du climat à venir, élaboré à partir des relations orbite-climat, mais en négligeant l'effet de l'homme, prévoit que la tendance à long terme qui se dégage pour les prochains millénaires est une progression des glaciers sur l'hémisphère nord.

3. Etat et composition de l'atmosphère

L'état climatique de la terre tient grandement à la composition de l'atmosphère. Tout changement de l'état physique et chimique de l'atmosphère perturbe le bilan énergétique, ce qui provoque une modification de la circulation et des régimes de température et de précipitation. L'homme peut affecter trois constituants atmosphériques importants: l'ozone, le dioxyde de carbone et les particules (poussières). Le dégagement en grande quantité de chaleur et de vapeur d'eau dans l'atmosphère peut aussi causer une modification des climats locaux et régionaux. Les preuves de ceci apparaissent au voisinage des grandes villes, où l'on a observé des variations de la fréquence des orages, des variations des vents, de la température et d'autres paramètres. La terre du fait qu'elle est beaucoup moins chaude que le soleil, rayonne dans l'extrémité infrarouge du spectre (grande longueur d'onde). L'eau et le dioxyde de carbone absorbent bel et bien ces rayonnements, de telle sorte qu'il n'y a qu'un dixième de ceux-ci qui atteignent réellement l'espace. En réalité, ces rayonnements sont piégés dans la basse atmosphère, et la température de la terre est donc 14°C plus élevée que sa température d'équilibre de rayonnement effective.

CO₂ - En détruisant les forêts avant 1900, l'homme a peut être déjà perturbé à cette époque le bilan du carbone. Depuis le tournant du siècle, les concentrations ont augmenté considérablement par suite de la combustion de combustibles fossiles et une nouvelle utilisation des terrains. Actuellement, le niveau de CO₂ s'élève de 0.7 ppm par année, et on estime que cette concentration supplémentaire a échauffé la terre, en moyenne, de 0.5°C par rapport à son niveau naturel. On a estimé qu'en l'an 2 000, le niveau de CO₂ pourrait augmenter à 375 ppm de sorte que la température du globe aura fait un saut moyen de 1.5°C. Cette augmentation serait plus élevée aux hautes latitudes en raison d'une diminution de la couverture de neige et de glace.

Accumulation de particules - La poussière et les autres petites particules que l'on retrouve dans l'atmosphère influencent grandement le bilan thermique global. L'air, les poussières et la brume sèche retournent (rétrodiffusent) vers l'espace environ sept pour cent du rayonnement solaire. Les poussières et la brume, avec l'eau atmosphérique, absorbent 17 p. 100 de ce rayonnement. La réflexion entraîne une perte d'énergie, alors que l'absorption donne lieu à une élévation de température.

La principale source des particules atmosphériques est la nature. Les volcans, les embruns et les plantes à pollen sont, parmi d'autres, des pollueurs naturels de l'atmosphère. L'homme provoque une grande accumulation de particules dans l'air en utilisant des techniques de culture sur brûlis, de même qu'en labourant et en laissant les terres nues à la merci des vents. Jusqu'à 30 p.100 de l'accumulation totale de particules peut provenir des actions de l'homme.

Des études statistiques ont démontré d'autres interrelations, par ex. entre le temps et la polarité du champ magnétique du soleil. Bien que les changements observés soient d'une amplitude très faible, ils contribuent à l'élaboration d'une théorie des changements climatiques, et à leur prévision.

-33-

3. Variations orbitales

Jusqu'à tout récemment, on a cru qu'une augmentation de la teneur en particules provoquait un refroidissement global. On sait à présent, que dans certaines conditions, la poussière atmosphérique peut donner lieu à un réchauffement de l'atmosphère, par ex. de la poussière "grise" au-dessus d'une surface ayant un grand pouvoir de réflexion (neige) causera un réchauffement, alors qu'au-dessus d'une surface noire (un champ labouré) elle provoquera un refroidissement. L'élévation ou la diminution de température, causée par la teneur en particule, est fonction du diamètre des particules, du temps passé dans l'atmosphère, de l'emplacement et de la réflectivité de la surface sous-jacente. On a établi statistiquement une corrélation entre l'accumulation de poussières dans la stratosphère, à la suite de violentes éruptions volcaniques, et un abaissement de la température moyenne autour du globe.

4. Variations de l'albédo

On désigne par albédo de la terre la fraction d'énergie solaire incidente réfléchiée vers l'espace. Celle-ci varie, en fonction de la nébulosité; elle s'établit en moyenne à 0.36 ou 36 p. 100. La quantité d'énergie réfléchiée dépend également du type de surface: voici quelques exemples caractéristiques:

	<u>Albédo</u>
Surfaces d'eau	3 à 8%
Forêts de conifères denses	10 à 15%
Forêts d'arbres à feuilles caduques	10 à 25%
Neige et glace	30 à 70%

L'albédo global tient grandement aux proportions relatives de nuage, de terre, de mer et de glace. L'homme en changeant le pouvoir réfléchissant de terrains (construction de barrages ou exploitation agricole) ne modifie que très légèrement l'albédo global. Toutefois, ces actions peuvent avoir localement des effets importants.

Urbanisation - L'île thermique urbaine est un cas spécial de variation de l'albédo, concurremment à une pollution thermique. Les usines, les moyens de transport et les maisons dégagent de la chaleur dans l'atmosphère, alors que les usines en injectent dans les lacs, les fleuves et les océans. Cet effet, associé à la modification du paysage et de l'albédo par de gros ouvrages et des surfaces bituminées, crée une île de chaleur. Le contraste est maximal par une longue nuit calme sans nuage, quand les environs sont refroidies par le rayonnement ascendant résultant, il est minimal vers midi quand la quantité de chaleur reçue du soleil est beaucoup plus élevée que celle dégagée artificiellement. Dans des conditions stables, en présence de vents légers, cet effet n'intéresse qu'une mince couche de quelques centaines de mètres; l'échauffement en surface est compris entre 2 et 6°C.

