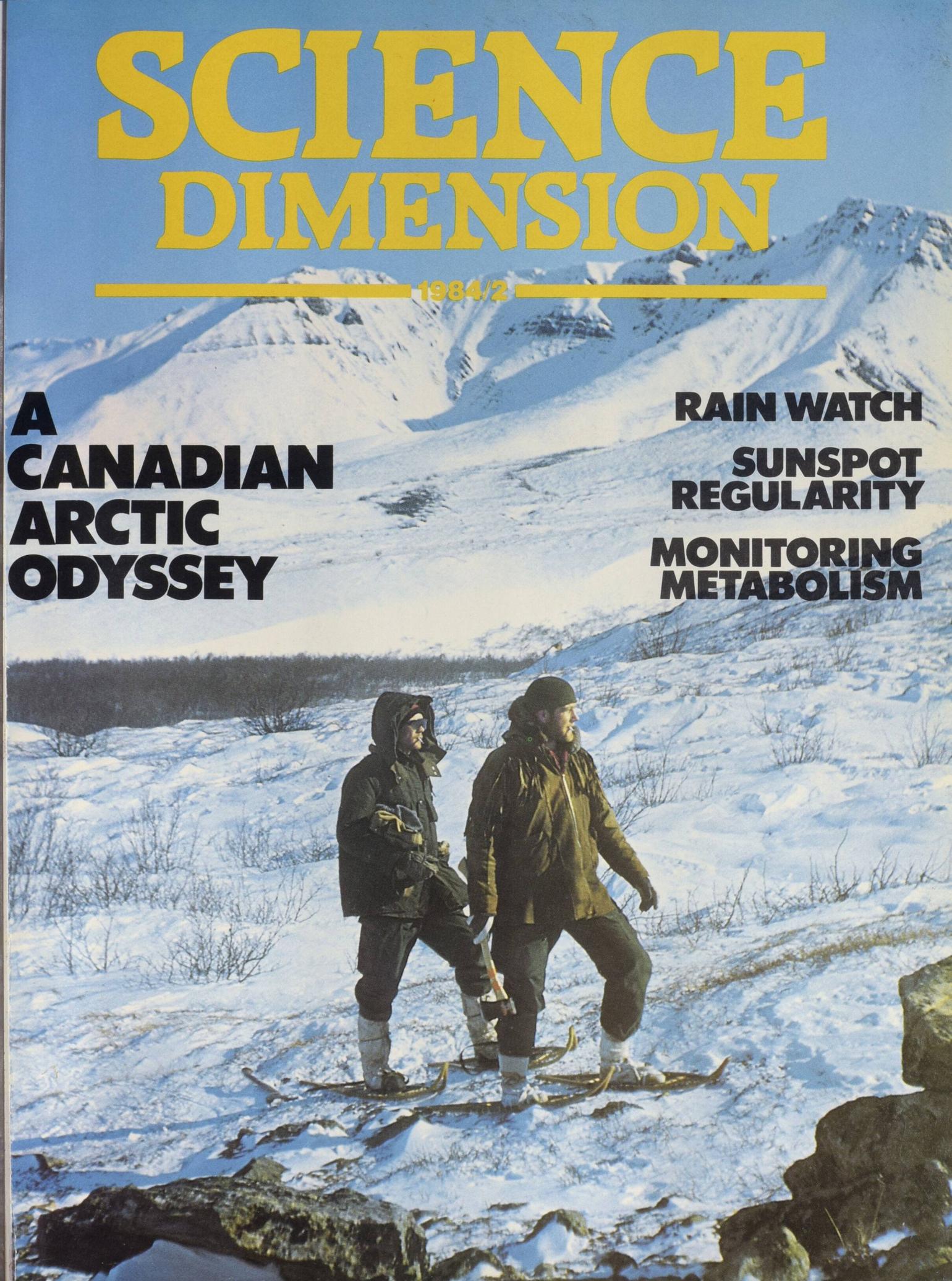


# SCIENCE DIMENSION

1984/2

**A  
CANADIAN  
ARCTIC  
ODYSSEY**

**RAIN WATCH  
SUNSPOT  
REGULARITY  
MONITORING  
METABOLISM**



The artifacts left to us by ancient societies hold secrets that exert a strong fascination for today's scientists, and modern materials science provides powerful tools to satisfy that curiosity. They allow us to date ancient objects, determine their composition and method of fabrication, and discern the circumstances in which they were made and traded. So important has this activity become that a new field of specialization is emerging, known as "Archaeometry" — the "measuring of the old."

Dr. Ursula Martius Franklin is one of Canada's pioneers in the new discipline. Working with support from the Natural Sciences and Engineering Research Council, she is building on a life-long interest in the nature of materials. After obtaining a doctorate in experimental physics at the Technical University of Berlin in 1948, Franklin came to Canada and began working at the University of Toronto, determining the age of rocks by measuring the ratio of the elements thorium and uranium.

She then spent several years at the Ontario Reserach Foundation, developing X-ray and crystallography services for the characterization of industrial materials.

Since 1967, she has been with the Department of Metallurgy and Materials Science

at the University of Toronto, first as an associate and then as a full professor. Franklin's gaze began to shift back in time in a serious way when she was appointed a research associate with the Royal Ontario Museum (ROM) and began to apply modern techniques to such ancient materials as the Museum's Chinese bronzes.

Dr. Franklin gave the 1982-3 Distinguished Lecture to the Canadian Institute of Mining and Metallurgy, the first woman to be so honoured. Active in the women's, peace, and environmental movements, she is married and the mother of two children. She has served as a member of the Science Council of Canada, chairing their committee on the Implications of a Conserver Society, and she has been on the Natural Sciences and Engineering Research Council. Named an officer of the Order of Canada in 1982, Dr. Franklin is currently serving on the National Research Council.

**Science Dimension:** As you develop ways to turn the analytical tools of modern technology on the objects of antiquity, you must be helping archaeologists and historians to expand their interpretive abilities.

**Franklin:** The impact of the exact sciences on the study of ancient materials has become greater and greater in the past three decades, and Canada is making a significant contribution. Now, there are good techniques which use only very small amounts of precious objects, so as not to impair their display value, and there are many methods which have no destructive impact at all.

We are finding out what people *did*, which not in-



Steve Behal

frequently contrasts with what has been *said* by or about them. Until recently, there has been very little deciphering of the materials record of the past. We have lovingly preserved and interpreted written records, which we know to be selective. Books are written for particular motives, and they can be revised, or even burned. Materials such as metals, ceramics, glass, even textiles, paper, wood, and stone, provide us with a much less censored record of history.

The new field of study brings the best of modern materials science, physics, geology, and analytical chemistry to bear on the questions that preoccupy us about the history of technology and its social impact. It provides us with perspective on what we are doing today.

**Science Dimension:** Can you give us an example of applying these techniques?

**Franklin:** We had the opportunity to look at 1000-year-old Peruvian metalworking when the "Gold for the Gods" was exhibited in Canada several

years ago. We were looking at pendants and other ornamental objects from northern Peru, with the aim of tracing the development of metallurgy and fabrication. Apart from the traditional observations of type and style, we performed thickness measurements with a micrometer, using lens paper to protect the object from being scratched. The Peruvians were skilled at producing sheets of uniform thickness. We examined microsections of objects under both optical and scanning electron microscopes, and used standard X-ray radiography to analyse methods of fabrication.

The Peruvian smiths were very skilled at creating objects whose surfaces looked like solid gold, but which were in fact alloys with copper and silver. They used a sophisticated technique called "depletion gilding" which removed the copper and silver from the surface. Surprisingly, their techniques for shaping and joining are quite different from their neighbours in Ecuador and Colombia, though we don't know why.

**Science Dimension:** Have you looked at objects closer to home?

**Franklin:** We have examined the mode of prehistoric native copper utilization in Canada's Arctic and sub-Arctic. X-ray fluorescence permitted us to distinguish native copper and the industrial alloys introduced through trade with Europeans. We have examined small artifacts from pre-contact situations by X-ray, and found a technique that nobody had



# SCIENCE DIMENSION

VOLUME 16, NO. 2, 1984

Editor Wayne Campbell  
Managing Editor Margaret E. Shibley  
Art Editor Jean L. Richard  
Print Coordinator Robert Rickerd  
Art Production Carisse Graphic Design Ltd.  
Printed in Canada by Beauregard Press Ltd.  
31159-2-1019

---

Interview 2

---

Capsules 4

---

Watch On The Rain 7  
The atmosphere's acid toll

---

Travellers on Frozen Ground 15  
The early days of permafrost research in Canada

---

NMR: New Monitor of Metabolism 22

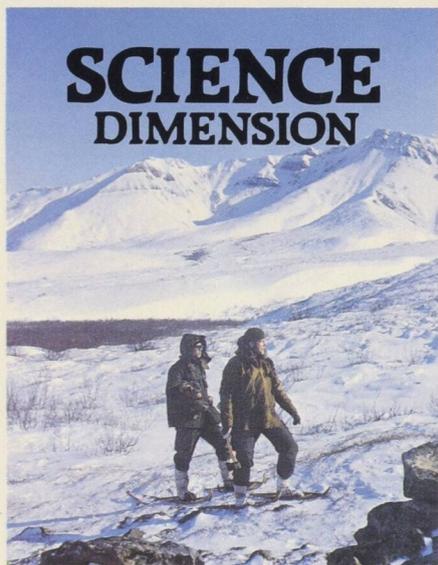
---

A Spot Check 27  
Does the sun change its spots?

---

Suzuki 30

---



Roger Brown

## OUR COVER

Snowshoeing over the perennially frozen ground, or permafrost, of the Mackenzie Delta in 1954, NRC's Roger Brown (left) and Hank Johnston search for the site that will become the new town of Inuvik. In the three decades since that survey, Brown and Johnston have amassed information on the nature of permafrost that stands today as a definitive body of knowledge on the subject. For builders in Canada's North, their work has been invaluable. See story p. 15.

*Science Dimension* (ISSN 0036-830X) is published six times a year by the Public Relations and Information Services of the National Research Council of Canada. Material herein is the property of the copyright holders. Where this is the National Research Council of Canada, permission is hereby given to reproduce such material providing an NRC credit is indicated. Where another copyright holder is shown, permission for reproduction should be obtained from that source. Enquiries should be addressed to: The Editor, *Science Dimension*, NRC, Ottawa, Ontario, Canada, K1A 0R6. Tel. (613) 993-3041. Indexed in the Canadian Periodical Index. This publication is available in microform. Cette publication est également disponible en français et porte le nom de *Dimension Science*.

# Capsules

## Spot the Promoter

For people concerned about tumour promoters, there's good news and bad news. The good news is that scientists in the NRC's Biology Division's Cell Physiology Group think they are on to a quick and inexpensive method for identifying these agents which encourage cancer formation under certain conditions. The bad news is that promoters may be so common, ranging from caffeine to certain hormones in our bodies, that the test may have little practical value.

Dr. Alton Boynton, who has been conducting the tests as the first step in a more ambitious study of the biochemical mechanisms of tumour promoters, says carcinogens are the more serious problem. A carcinogen is a chemical which has been shown to change normal cells into cancerous cells. Sometimes, however, a carcinogen takes years, even decades, to induce cancer, or it only starts the cell on the road to cancer without finishing the job. That is where the tumour promoter comes in. It can speed up the cancer process or turn an "initiated" cell into a cancerous one. In either case, says Dr. Boynton, the promoter must arrive at a specific stage in the cancer process or it will not have any effect.

The test for promoters (which can also be applied to carcinogens) is



based on the fact that cancerous cells proliferate in an environment low in calcium ions while normal cells do not. The chemical in question is added to the initiated cells in a low-calcium medium. Presumably only promoters induce cell replication.

So far the results look promising. Boynton says about thirty compounds have been tested with the results on another thirty still to come. Of the twenty-five known promoters already tested, all have induced cell proliferation. They have included caffeine, saccharin, and hormones such as calcitonin and parathyroid.

Boynton now plans to study the chemicals which induce cell prolifera-

tion further in an attempt to learn exactly how they work. As for the promoter test, he says more research will have to be done before it could replace the more lengthy and expensive procedures which involve exposing live animals to promoters. But he sees little chance of such a test being used to regulate tumour promoters because they are so common, and, by themselves do no harm. Boynton says carcinogens, which initiate and often carry the cell through the cancer process, present the greater danger.

*Peter Dockrill is a freelance writer in Ottawa*

## Concert Vibrations

When the staff at an Ottawa arena became worried by floor vibrations during rock concerts, they called in a vibrations expert from NRC. Gerry Pernica from the Division of Building Research was asked to measure how much the floor shakes and determine whether the fans in the stands and the workers underneath them are safe.

Such an assignment has never been undertaken in Canada before. Only in Britain has a similar investigation been conducted when a re-

searcher measured the vibrations caused by the crowd's "pogoing" at a Who concert in Edinburgh. Pogo is the form of dance where everyone jumps straight up and down on the spot.

During a three-hour Dooby Brothers concert in Ottawa, Pernica collected data from three vibration sensors, or accelerometers, which he attached to the beams under the stands. The arena was sold out that night, and, as the listeners got excited by the music, their rhythmic dancing, jumping, and foot stomping shook the foundations perceptibly. Pernica re-

calls that it was definitely scary sitting in a cubbyhole under the seats and watching the floor above bounce to the beat.

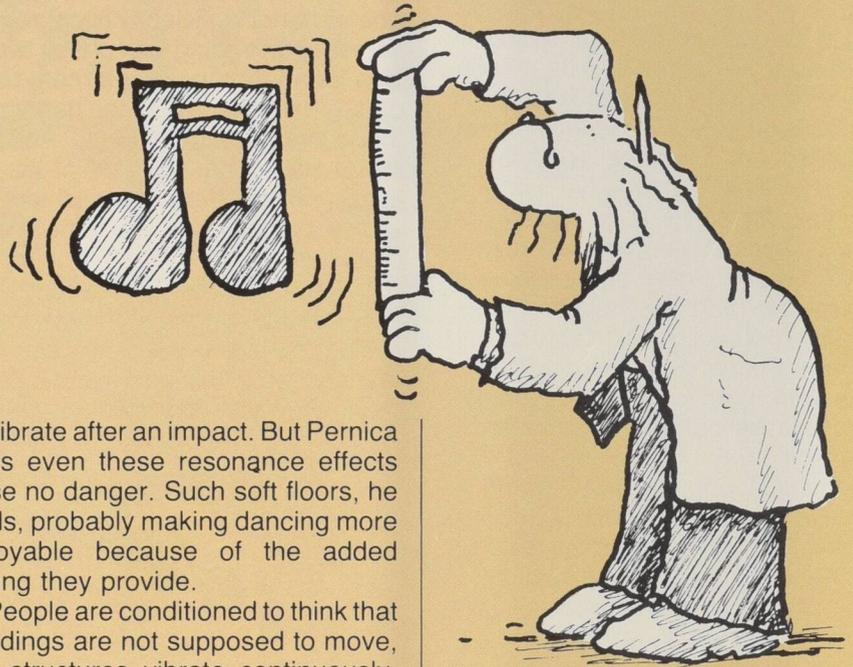
Back at the NRC lab Pernica analyzed his recorded data and got the information he needed. Using floor displacements and the physical dimensions of the arena beams, he calculated the amount of vertical load the structure was being subjected to. Vertical load includes two elements: the static load, or the weight of the spectators sitting on the stands, and the dynamic load, which is the force

produced by the enthusiastic up and down movements of the audience.

In designing buildings, engineers have always taken into account the capacity to withstand static load, but up until about ten years ago little consideration was given to dynamic load. Buildings do not normally have to resist the force caused by thousands of people hopping up and down to the same beat.

Despite the fears and the fact that the arena's beam supports are far apart which makes it a so-called soft floor, Pernica found that the static and dynamic loads produced during the rock concert were well within the safety limits of the design loads set by the National Building Code.

He also figured out that the ideal dance tune for audience participation (not too fast, not too slow) has about 2½ beats per second, otherwise known as 2½ Hz. This happens to match a natural resonance frequency of the arena floor — that is, the rate at which the floor most easily continues



to vibrate after an impact. But Pernica says even these resonance effects pose no danger. Such soft floors, he adds, probably making dancing more enjoyable because of the added spring they provide.

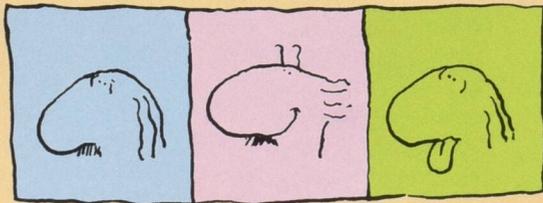
People are conditioned to think that buildings are not supposed to move, but structures vibrate continuously, most of the movement so minute that it goes unnoticed. It is only when such vibrations become visibly evident that people tend to worry. However, Pernica reaffirms that even during a rock

concert when the floors can be seen vibrating, typical arenas are structurally secure.

*Melanie Hudson is a freelance writer in Ottawa*

## Colour, Lighting, and Health

Emotions are often described in terms of colour: "feeling blue," or "seeing red." Colour does have an impact on human physiology but it is a great deal more complex than the idea that blue is a "sad" colour and red



is an "angry" one. A University of Alberta Visual Arts professor has just completed a study on the effects of both colour and lighting on the staff and students of four Edmonton-area elementary schools. He has found that "beneficial" colour schemes need to be complemented by "good" lighting in order to achieve the greatest effects on people.

With the help of a grant from the Alberta Department of Education, Dr. Harry Wohlfarth was able to design different lighting and colour schemes in four schools with the same type of architecture and student populations.

The control school kept the colour scheme of whites, beiges, browns, and oranges, as well as the fluorescent lighting common to many Canadian schools. Of the three other schools, one was painted with a specially designed colour scheme based on the results of previous colour stud-

ies, the second school had full-spectrum lighting (the closest to natural daylight) installed, and the third school had both the colour and lighting changed.

Wohlfarth then monitored the IQs, academic performance, attitudes, moods, noise levels, disciplinary and attendance records of the students, as well as the blood pressure of both students and staff.

Some of the preliminary results of the study show that in the school where both colour and lighting were changed, blood pressure was significantly lower than in the control

school. In fact, one staff member's blood pressure was lowered so much he was able to cease taking medication for high blood pressure. Background noise levels were 12 per cent lower in the completely changed school. Wohlfarth attributes this to increased concentration by the students on their schoolwork.

Comparison between the two schools where only colour or only lighting was changed showed that the improved lighting benefitted blood pressure and mood while the improved colour scheme benefitted attendance and reduced disciplinary incidents.

Wohlfarth feels that without proper lighting the effects of harmonious colour schemes are sharply decreased. This could be because shades of colours are altered by fluorescent lighting. For instance, yellow is considered a far more aggressive colour than blue, but each colour has both disturbing as well as calming shades. Therefore poor lighting might assist those staring at blue walls to "see red."

*Melissa Todd Anderson is a freelance writer in Ottawa*

## Coal-diesel Fuels

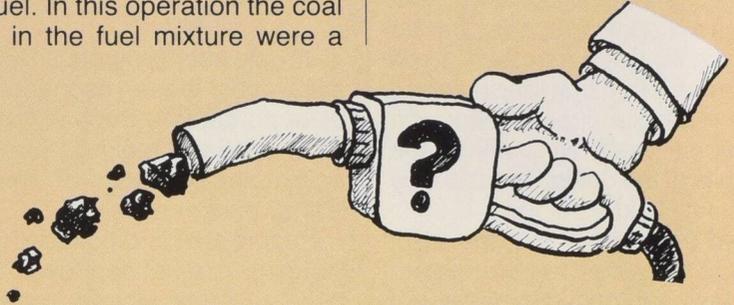
Since the embargoes of the early seventies oil's reputation as a "wonder fuel" has gone steadily downhill. Increasing costs and unreliable supply has sent countries scurrying to find feasible alternative energy sources. Windmills, solar power, tidal power, nuclear energy, and fusion, among others, have been looked at as possible petroleum replacements.

Work has also been done to try and find ways of squeezing energy out of abundant but so far undeveloped domestic resources. For instance, engineer Ray Billingham, at the Mechanical Engineering Division of the National Research Council in Ottawa, recently carried out tests on the implications of using a coal/diesel fuel mixture in a diesel locomotive engine. (Specifically a compression ignition engine, so called because ignition of the fuel occurs through compression rather than by a spark plug.) The purpose was twofold: decrease the amount of diesel fuel required to run the engine, and find a productive use for the mountains of coal "fines" (tiny, unusable particles of coal) discarded around mining sites.

Initially Billingham's work was designed in two phases. The first would determine if the system was able to deliver fuel to the engine, the second would examine the degree to which the fuel could be burned in the engine.

Unfortunately the results in phase one were not sufficiently encouraging to merit proceeding with phase two. It was found that the 25 per cent coal/diesel fuel mixture was too damaging to the injection components. According to Billingham, erosion of the injector orifices and wear of critical sliding components were the major problems.

Diesel injection equipment has very fine tolerances. Furthermore its sliding surfaces are lubricated by leaded fuel. In this operation the coal particles in the fuel mixture were a



definite disadvantage because they acted as an abrasive, causing wear on the injection components.

For instance, in the pump, after 113 h of operation the leading edge of the plunger had worn down to the point where it was seriously affecting the rate at which the fuel was being injected. At the 200 h mark the damage was so severe that the pump ceased working completely.

In the same amount of time the valve seat on the injector stem, which

controls the flow of fuel, was also showing signs of wear and this, combined with the orifice erosion, was causing an unwanted increase in the fuel injection rate.

Erosion of fuel injection components is especially critical in compression ignition engines which require an accurate and steady control of injected fuel. The coal mixture caused changes in the injection parts that rendered this fuel control impossible.

Billingham admitted that in order for a coal/diesel mixture to work in locomotive and other diesel engines extensive research would have to be done to develop injection components capable of withstanding such conditions.

Although the experiment did not result in complete success its value lies in the information it uncovered — information which will become part of an ever expanding pool of knowledge that will aid researchers in the future.

*Ed Bianchi is a freelance writer in Ottawa*

## Robot Vision

NRC engineers are working on a cure for an affliction suffered by industrial robots — poor vision. A new, three-dimensional vision system has been developed and demonstrated to Canadian industry. Combining a laser beam and a rotating mirror, the system uses triangulation (two or more bearings to determine the location of a distant point) to form the image. An accompanying computer can then "turn" the image to provide various angles of view. Smaller and more flexible than other systems available and with only a single scan needed to form an image, it is faster than its competitors.

Industrial robots have always been plagued by inadequate vision because they must rely on two-dimensional imaging methods. When

you watch television (the basis for many machine vision systems) the images appear "real" to you because your brain has accumulated memories of how things should look. Properly illuminated, a cylinder looks round because we are familiar with its shape and can distinguish it from a rectangular carton. Machine vision systems cannot perform this feat — to them a box of tissues and a roll of paper towels look alike from the side; both are rectangles. Consequently, industrial robots that assemble parts (of a small motor, for example) must have the supplied parts oriented so that the vision system can recognize them. Alternatively, the machine must be programmed to recognize a limited number of possible orientations of the part — an involved and costly process. A three-dimensional vision system enables the robot to

select the correct part from several alternatives, orient it correctly, and assemble it with other parts. Because of its speed of operation the new system also permits rapid, accurate inspection of parts, both before and after assembly.

Machine vision is a growing industry. Sales in the North American market reached nearly \$20 million last year and that figure is expected to increase more than ten times by the end of the 1980's. Several systems are under development in various industrial nations. Canadian manufacturers can both produce and utilize these vision systems, improving productivity and entering the export market, an arena long dominated by Japan and the United States.

# Watch On The Rain

## The atmosphere's acid toll

by Bruce Henry

*Canada has mobilized a considerable corps of scientists to develop data on the causes, consequences, and correction of acidic precipitation. Science Dimension presents a review of some of the scientific activity underway to stop this "scourge from the skies."*

**A**cid rain — more accurately, the wet and dry deposition of sulphur and nitrogen compounds from the atmosphere — is blamed for severe damage to aquatic and terrestrial ecosystems. It is primarily the result of by-products from the burning of high-sulphur coal, which may take place hundreds or even thousands of kilometres away from problem sites. Reduced or, in some cases, eliminated fish populations present unambiguous evidence of acid rain damage in Canada, the United States, and other countries. And now it is not just fishermen and cottagers who are concerned: there is growing suspicion that acid rain may stress forest and agricultural lands as well.

### *The Distant Early Warning — aquatic ecosystems*

In the mid-1960's University of Toronto zoologists Dr. Harold Harvey and Richard Beamish wondered why fish in two lakes in Ontario's Killarney district were growing at dramatically different rates. In addition, there were missing age classes in some fish — that is, certain age groups in the population were significantly depleted. These were effects whose cause was unknown, and the scientists began to look for the reason why.

"The Swedish soil scientist Svante Odén was really the first to blow the whistle on what was happening," says Dr. Harvey. In 1968, Odén published data indicating that some lakes and rivers in Sweden were becoming more and more acid. He also published maps of the pH of precipitation and drew

attention to the spread of very acid precipitation in northern Europe during the 1950's and 1960's. (The degree of acidity of a liquid is measured on what scientists call a 'pH' scale, which reflects the concentration of hydrogen ion present. pH 7 is neutral. As the pH moves below 7, acidity increases; as it moves above 7 alkalinity increases.)

About the same time, Americans were discovering similar problems in lakes in the northeastern U.S. "For example, fish populations might not be reproducing," explains Harvey, "or larval fish would be observed to die and create a blank year class. In certain other cases, older fish have been affected, leaving populations of young animals."

In fact, until the late 1970's there were few concerted scientific studies that could be used to help explain these apparent ecological anomalies, explains Dr. Ron Pierce, an atmospheric chemist with NRC's Environmental Secretariat. "Then, we began one of the first Canadian attempts to compile and evaluate the scientific information. Under the auspices of NRC's Associate Committee on Scientific Criteria for Environmental Quality, a panel headed by Dr. Harvey looked into the interrelations between acid rain and the observed effects on the aquatic environment."

The report, *Acidification in the Canadian Aquatic Environment: Scientific Criteria for Assessing the Effects of Acidic Deposition on Aquatic Ecosystems*, was published in 1981. Says Ron Pierce: "A major conclusion was that acidic deposition posed a serious threat to aquatic ecosystems in Canada. However, given the information available at the time, we realized that the geographic extent and severity of the threat could not be accurately determined. The panel's state-of-the-art review stimulated a major research effort here to identify and quantify the relationships among sources of emissions, atmospheric transport, deposition, and effects of this rain on aquatic and terrestrial biota, materials, and people."

Acid precipitation (along with the organic acids of decomposing humus) is a more powerful weathering agent than normal rain, which is

a dilute carbonic acid. It may be neutralized by carbonate rocks or soils; it may undergo ion-exchange in the lattices of minerals, thereby releasing ions such as calcium, aluminum, and manganese; or, it may pass through the soil unreacted and depress the pH in streams. The solubility of metals such as aluminum, manganese, and iron is pH dependent; thus, their levels become elevated in acid lakes, and precipitate out of solution in alkaline waters.

Acidification, through a variety of chemical processes, may kill nearly all life forms in a lake, except for certain algae and sphagnum moss, which thrive on the lake bottom. "Perhaps the most bizarre effect," says Dr. Harvey, "is the formation of the so-called 'felt-mat' on the lake bottom." This mat, a mixture of algae, leaf detritus, and moss, can reach half a metre in thickness, and in some Swedish lakes, it lifts and literally burps out a gas mixture.

The effects of acid rain are not uniform over time, but occur in pulses, such as the spring runoff, which in addition to depressing the pH can release high concentrations of aluminum and other toxic metals into streams and lakes. Fish die coincident with high levels of aluminum in their gills and much reduced concentrations of chloride and sodium in their blood and muscle. Healthy fish put into such waters in Ontario were observed to die very soon after entry. "A question yet to be answered," says Harvey, "is the extent

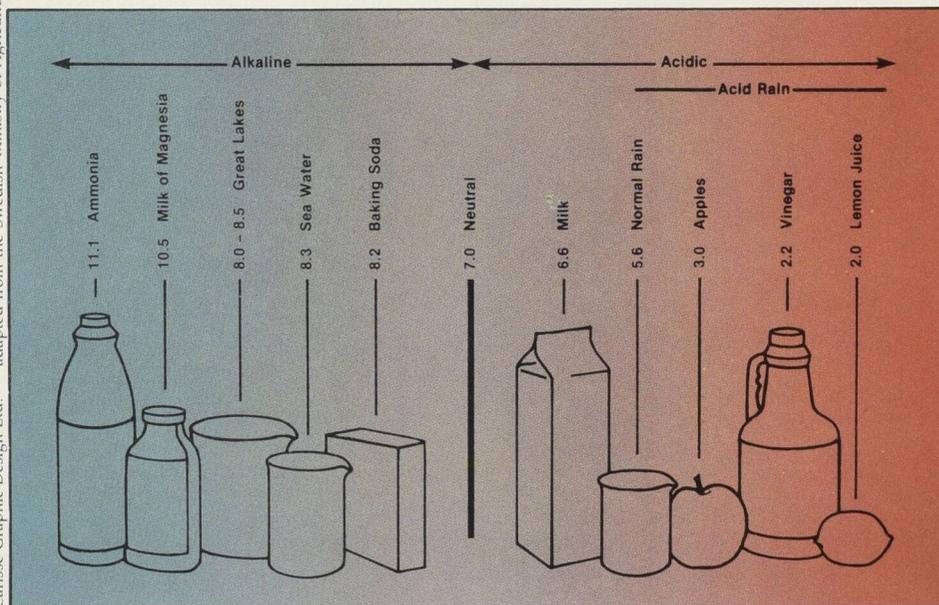
of the toxic-aluminum phenomenon in North American streams and lakes." In addition to other metals, manganese also increases in concentration as lakes acidify. While it is not considered very toxic, evidence is mounting that it is associated with spinal deformities in fish.

Besides these toxicity studies, aquatic scientists in Canada are looking into the problem in other ways. Since watersheds are considered the best collectors of atmospheric deposition, and therefore prime sources of information on acid precipitation, some of these have been calibrated and are now being intensively measured. Work is also underway at a number of sites, particularly at the Ontario Ministry of the Environment's Dorset station, in which water quality is changed under controlled conditions to obtain better definition of biological effects.

There is now no question that fish populations are suffering acid rain's ill effects in Canada. These aquatic changes were the initial warning of the problem and remain our primary evidence of injury to the biosphere.

"It is apparent," states Harvey, that the current level of acid loading in eastern North America (25 to 45 kg/ha/year of sulfate) is similar to the loading which so profoundly altered the environment in Norway and Sweden, killing many life forms in thousands of lakes.

"The question for North Americans: Is this our fate?"



What is "acidity"? Scientists use a "pH" scale running from 0 to 14 to indicate the level of acidity or hydrogen ion concentration; 0 is the most acid part of the scale and 14 the least (or most alkaline). Each whole number on the scale represents a tenfold change in the hydrogen ion concentration. A value of 7 is neutral, but normal rainwater is not "neutral"; it is slightly acidic with a pH of 5.6, due to dissolved carbon dioxide from the atmosphere.

## CLOUDWATCH: NRC's National Aeronautical Establishment and Acid Rain

Airborne research, a specialty of the National Aeronautical Establishment's Flight Research Laboratory, is critical to the understanding of acid precipitation. The atmosphere, after all, is the medium for the long range transportation of air pollutants; clouds can "pump" pollutants into higher levels of the atmosphere, and it is in the clouds that the complex transformations occur which make precipitation acidic. Without a better understanding of cloud-pollutant interactions, long range transport models will remain incomplete. And accurate computer modelling is one of the major steps in developing effective acid rain control.

Atmospheric motion includes not only broad horizontal movements of air masses but complex vertical dynamics as well. For example, the air at 3000 m over a given area may come from an entirely different source than the air at 1500 m. Pollutants are transported horizontally, vertically and at the same time may be scavenged by cloud particles and precipitation.

The main objective of the Laboratory in its joint programs with the Atmospheric Environment Service is to look into cloud dynamics and the microphysical processes taking place in clouds to determine their role in the long range transportation of air pollutants, and also to investigate the chemical processes occurring within clouds. For this, the two agencies have developed an

effective, sophisticated flying laboratory, the Twin Otter C-FPOK.

Since 1974, the Twin Otter has carried increasingly refined and expanded instrumentation systems to explore the dynamics, microphysics and chemistry of the atmosphere. It has, for example, real time computation and display of



atmospheric motion and four laser particle spectrometers capable of "imaging" thousands of snowflakes and millions of droplets; these data are providing more detailed knowledge of exactly what happens inside clouds. The Laboratory's most recent and "home-built" instrument is the Cyclone Snow Collector, which separates air from snow by centrifugal force, probably a world "first" for use in the air.

Several acid precipitation field studies have involved two other Canadian aircraft as well. The Laboratory's Beech 18 has carried instruments to measure gaseous and particulate pollutants as well as precipitation; and the Canada Centre for Remote Sensing's DC-3, a larger aircraft capable of carrying an expanded array of atmospheric research equipment, has also been pressed into acid rain service.

From 1981 to the present, the Laboratory has flown four acid rain experiments, including last year's CAPTEX-83 plume tracer study (see text, page 13). The latest and longest operation was carried out in January and February of this year called the Acid Snow Experiment. The six-week, intensive field operation in the northern Algonquin Park-Parry Sound area is a prime example of the sharing of resources and expertise which is required to meet the acid rain challenge. Besides the Atmospheric Environment Service and the Flight Research Laboratory the program also involved the U.S. Brookhaven National Laboratory, the Ontario Ministry of the Environment, the Canada Centre for Remote Sensing, York University and Ontario Hydro.

Airborne research was launched from the airport at the Canadian Forces Base in North Bay, Ontario. Several ground monitoring stations and a mobile monitoring van were integrated into the data gathering, providing a profile of what was happening in the region between the Earth's surface and an altitude to 6000 metres. The weather cooperated by providing not only several major pollution episodes, precipitation, and clear weather periods but also the bonus of a thaw which allowed the ground research team to sample spring-type meltwater run-off. The analyses of this new data should provide answers to some of the many questions surrounding acid precipitation.

Michal Crosley is a freelance writer in Ottawa.

## The Forest Outlook

Trees, like all forms of life, are subject to assaults from disease, insects, inclement weather, poor nutrition, and poisons such as toxic metals from the soil. The big challenge posed by acid rain research, therefore, is to discern its true impact in the light of these other natural stresses on the forest ecosystem.

"Tree growth is the most important parameter," explains Dr. Peter Rennie of the Canadian Forestry Service. "Except around point sources like Flin Flon, Manitoba, Trail, B.C., and Sudbury, Ontario, we don't feel that there is a problem with tree growth. This is also the case for Norway and Sweden, which experience about the same acid rain loadings as we do; they too have not been able to identify an acid rain

effect by examinations of the yearly growth rings of trees. But there could be trouble sooner or later, because our forest soils are basically nutrient poor, very acid, and not highly buffered with reserves of nutrients. To get forest harvests from these soils at all is quite demanding and calls for an absence of external stresses like those associated with acid rain.

"Heavy metals like lead, cadmium, arsenic, and mercury are being deposited in increasing amounts by acid rain. These metals are tenaciously held by humic materials, and can affect fungi and bacteria, which dictate the rate of decomposition of humus and the release of nutrients. If that process is upset," warns Rennie, "we're in trouble."

He points out that Canada derives about 23 billion dollars a year in economic benefits from its forests,

and that we invest considerable sums to meet the increasing demand for their products. We cannot afford to have forest yields decline. Potentially toxic elements such as aluminum and manganese, for example, may be taken up in increased quantities as soil acidity intensifies, and this could affect roots and seedlings. It is generally felt, however, that the pH of rain over Canada's forests is not so low as to cause obvious tissue damage, and visual symptoms are not being observed. But there is recent evidence that lowering the average pH of rain may affect the wax of conifers, damage their needles, and leach nutrients from their sap. Tree physiologists and pathologists are looking at trees subjected to acid rain and attempting to assess changes in disease resistance, alterations in insect depredation, and even effects on photosynthesis.

The Canadian Forestry Service is studying the acid rain phenomenon at three main field locations, chosen to reflect the areas of greatest concern in our most productive tracts of forest. One is north of Sault Ste. Marie, Ontario, the second in Laurentide Park, Quebec, and the third in Kejimikujik National Park in Nova Scotia. At these sites, meteorological stations of the Atmospheric Environment Service measure the characteristics of every rain or snow fall. Scientists follow changes in the precipitation from the time it hits the canopy of the trees, to its path through the branches and down the trunk to the soil. Then they study it through the various organic and inorganic soil horizons until it reaches a lake, at which point the aquatic people take over. Explains Rennie: "We want a good average picture of what sulphates and nitrates are being deposited, where they go in the system, how they leave, and what effects they have on other dynamic processes."

These field surveys of chemical element budgets are supplemented by indoor laboratory studies, which indicate that a pH of 3.5 to 4 can distort the growth of seedlings. The natural processes can be speeded up in these indoor experiments to allow a more rapid analysis of what is happening in the soils. In turn, predictions can be made of what changes can be expected under natural conditions.

"Acid rain's potential destructive impact on the forest is largely confined to Eastern Canada," says Peter Rennie. "One of our concerns in the toxic effects of heavy metal uptake, but we're looking at all aspects of acid deposition. In Canada we raise between 300 and 400 million seedlings every year, and we wouldn't want anything to affect the viability of that production."

### Effects on Croplands

"Forests growing on essentially unmanaged lands are more sensitive to problems associated with acidic precipitation than crops grown on managed land," explains Dr. Sam Linzon of the Phytotoxicology Section of Ontario's Ministry of the Environment. "We are not aware that anyone has documented conclusively any visible effects on crops grown in fields exposed to ambient acid rain. Part of the reason is that, in addition to cultivating, watering, and fertilizing soil, farmers also add lime to it where necessary to bring it to the appropriate pH. They are already managing soil acidity."

However, experiments under controlled conditions using simulated acid rain have shown that it has the potential to produce adverse effects on cultivated crops. These include visible lesions on plant tissues, the leaching of nutrients such as calcium, magnesium, and potassium from foliage, and reduction in the growth and yield of harvestable produce. Acid rain may also limit nitrogen fixation because of its effect on bacterial populations, and put stresses on pollination and other reproductive processes.

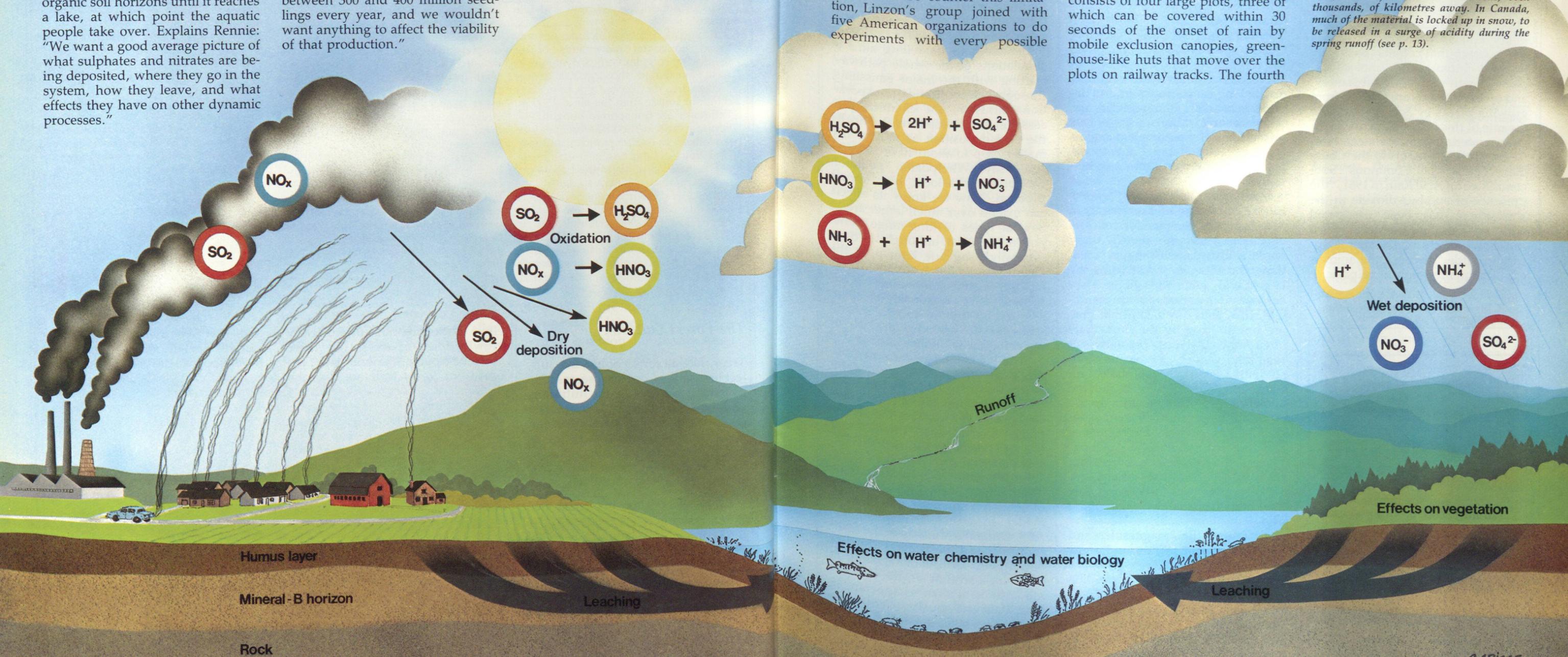
"It is a controversial and ambiguous area," says Linzon. "The results of experiments are quite variable, depending on the methodology used." To counter this limitation, Linzon's group joined with five American organizations to do experiments with every possible

variable standardized, including soil composition, types of plants, and the composition and frequency of spraying. "The results were fairly uniform," says Linson, "because we used the same soil mix, rain recipe, duration, and number of treatments, as well as the same species and cultivar of crop — in this case the Bell Cherry radish. Our sunlight is different from that farther south, which probably introduced a variable that affected the crop we harvested to compare with the American results."

The work was done in a controlled environment facility at Brampton, Ontario, used to study the effects of air pollutants on crops and trees. It consists of four large plots, three of which can be covered within 30 seconds of the onset of rain by mobile exclusion canopies, greenhouse-like huts that move over the plots on railway tracks. The fourth

*How is acid rain created? Smoke emissions from industry and urban centres carry sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>) and nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) into the atmosphere. If these compounds reach the ground before they are oxidized, we call it "dry deposition," which may occur close to the source or at a great distance, depending on conditions. If they remain suspended in the atmosphere long enough, solar energy oxidizes them, forming sulphuric acid and nitric acid (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and HNO<sub>3</sub>). These acids dissolve in rain and snow, forming sulphate ions (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), nitrate ions (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) and hydrogen ions (H<sup>+</sup>). (Some of the H<sup>+</sup> encounter atmospheric ammonia (NH<sub>3</sub>) and are neutralized, producing ammonium ions (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)). Rain and snow bearing these ions are referred to as wet depositions — "acid rain."*

*Borne by rain or snow to forests, lakes, and croplands, the ions influence the chemical activity of the soil and water, changing natural balances. The effect is immediately observable only near the emission source, but, over time, will influence areas hundreds, even thousands, of kilometres away. In Canada, much of the material is locked up in snow, to be released in a surge of acidity during the spring runoff (see p. 13).*



CARISSE

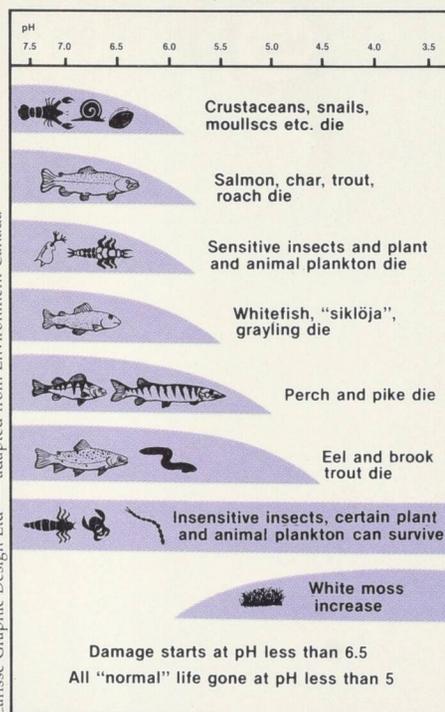
growth area on which the rains fall is the outdoor control plot. The computer-controlled huts have nozzle systems which permit spraying with various mixtures of water, from a height sufficient to get proper drop-let velocity.

The work at Brampton is providing information on the sensitivity and resistance of various crop species and cultivars, as well as effects of pollutants on growth and yield.

But, far too little is known yet of the effects of acid rain on crops. For some sulphur-deficient soils in Western Canada, the addition of atmospheric sulphur dioxide can actually help increase plant productivity but high exposures cause injury and eventual death. It has been shown that cations (positively charged atoms and molecules), plant growth-regulating substances, and other materials are leached from growing plants by acid rainfall, and the rate of this removal increases for many materials as the pH decreases.

"In Alberta," reported the Canadian House of Commons Subcommittee on Acid Rain in 1981, "the presence of sulphur dioxide in the atmosphere has been associated with selenium deficiencies, which can cause severe physiological disease in cattle," because the animals eat plant matter high in sulphur.

The sensitivity of aquatic organisms to a lowered pH in fresh water



## Scrutinizing the Atmosphere

No one suggests that acidic materials are likely to change the weather, but major research is underway because the atmosphere is acid rain's transport medium. "This work is really in three main areas," explains Dr. Doug Whelpdale of Environment Canada's Atmospheric Environment Service. "About one-third relates to the activity of monitoring networks, about a third to the creation of atmospheric models, and the remaining third involves research into the processes that go on in the atmosphere."

In 1982, the National Research Council's Associate Committee on Scientific Criteria for Environmental Quality sponsored a symposium on the monitoring and assessment of airborne pollutants with emphasis on the long-range transport and deposition of acidic materials. The aim of the meeting was to exchange ideas on methods of sampling and analysing airborne pollutants and to improve the national monitoring networks.

Monitoring is basically a procedure of routine measurement, in this case the composition of precipitation. There are about 20 networks in Canada, with about 150 stations, the network of AES being the largest with some 50 stations. They are located in regionally representative sites, with care taken that they are not affected by the immediate environment of cities. The networks regularly sample for acidic constituents, primarily sulphate, nitrate, and hydrogen ions, and the analytical data are used to map the scope and geographical extent of deposition, as well as the frequency and time trends of the phenomenon. "We extract as much meaning from the data as we can," says Whelpdale.

"We started back in 1976 and now have a good spatial definition of the acid deposition problem. We pretty well know the magnitude and amounts of acid in rain and snow falling over Canada, as well as the seasonal variability and composition in terms of the proportion of sulphates and nitrates. Now, the main question we're looking at is the change with time. Definitive answers are difficult because meteorological observations are quite 'noisy'

due to the natural or background variability. Hard though it may be, it is very important because we want to compare the deposition changes with changes in emissions."

Whelpdale estimates that about two-thirds of what is emitted in eastern North America, the main problem area, returns to the surface in eastern North America. The rest, presumably, is dissipated over the Atlantic Ocean. "So far, we're only measuring wet acid depositions, actual acid rain," he says, "but about half the material deposited in eastern North America does so as dry deposition. This is hard to measure routinely, and has to be estimated on the basis of air concentration measurements in a few, select places."

The work in modelling aims at simulations of the whole pathway, starting with the major emissions, through atmospheric transportation, diffusion, the chemical processes in the atmosphere, and finally the acid deposition as rain or dry matter. "Up to about 10 or 15 years ago," says Whelpdale, "pollution was primarily a local, high impact problem. Now we know its effects can extend over much larger areas. Several types of long-range transport model exist, although we have primarily used one known as the Lagrangian model. It simply follows a parcel of air as it moves across the continent. It is reasonably inexpensive to run on the computer, and tends to do an adequate job of matching up with observations."

"The big challenge is to continue this work with models to the point where we can use them to predict as well as interpret. Most people feel we haven't yet reached this prediction level, and we have to be careful before calling for control scenarios that could cost many millions of dollars."

Work is about half way toward the development of the next generation of model, known as the Eulerian model, in a project involving the AES, Ontario's Ministry of the Environment, and the Federal Republic of Germany. Instead of focussing on a moving parcel of air, the Eulerian model looks at what is happening in individual grid squares over the entire domain being modelled.

Making the calculations in each "square" is time consuming, but the model gives a more accurate repre-

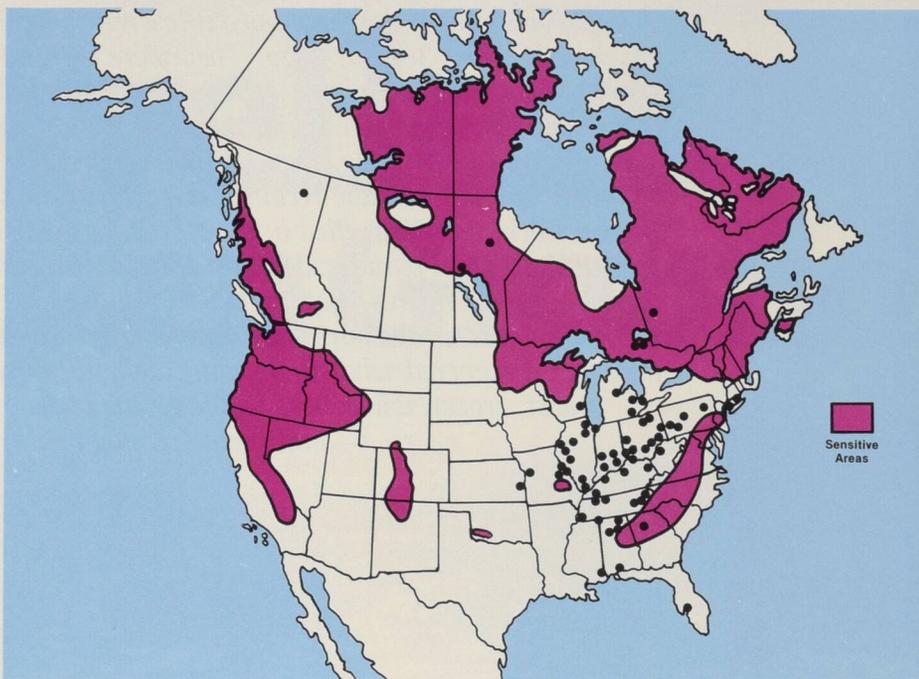
sensation of processes that go on in the atmosphere. It can also be used over shorter time periods than other models, and scientists hope to use it to look at individual acid deposition episodes.

The third thrust of atmospheric work, the study of chemical processes, is the one "where we have to choose the areas of greatest need carefully and combine these choices with our available resources, because it is here that we are most limited," explains Whelpdale.

CAPTEX is the acronym for the Cross-Appalachian Tracer Experiment, a large-scale project that uses a unique atmospheric tracer to follow transport and dispersion over distances ranging up to hundreds and thousands of kilometres. The tracer used in this joint Canada-U.S. project is a compound known as PMCH, perfluoro-monomethyl-cyclohexane, which doesn't react or deposit in the atmosphere. It is non-toxic, does not occur in the natural background, and can be detected in extremely small quantities. During the fall of 1983, there were seven releases: five at Columbus, Ohio, and two at Sudbury, Ontario. Altogether, more than 4600 samples were taken from the ground and in the air, between 300 and 1100 km from the release site.

"We don't know a great deal about what goes on inside clouds in terms of chemistry, nor how chemistry and cloud dynamics relate," says Doug Whelpdale. For several years, AES has used two aircraft from NRC's National Aeronautical Establishment to make physical and chemical measurements below, in, and above clouds. A major field study took place this winter (1983-84) using the North Bay, Ontario, airport as a base for making measurements of clean air from the North and more polluted air from the South over Algonquin Park.

Another program that will add to our knowledge of the acid rain phenomenon is called the "Western Atlantic Ocean Experiment," a cooperative venture involving AES and the U.S. National Oceanographic and Atmospheric Administration as well as NASA and the Universities of Virginia and Delaware. Its goal is to look at the North American problem in a hemispheric context, by measur-



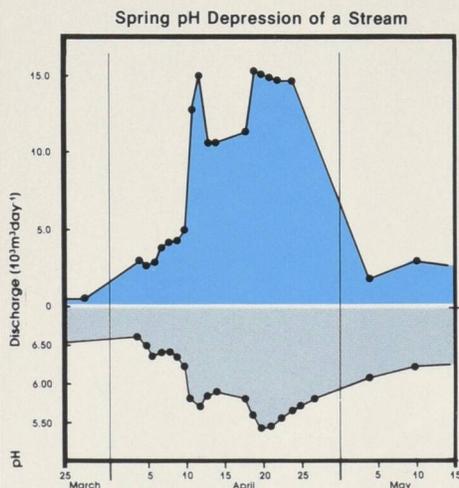
ing the amount of pollutant material that leaves North America and moves eastward, and by measuring how much goes into the ocean. Scientists including Whelpdale will make measurements of air chemistry and precipitation composition at Bermuda and on board ship in the Western Atlantic, supplemented by some aircraft measurements. This work may indicate whether North American pollution reaches Europe.

Certain areas in North America are deficient in natural buffers and are therefore particularly sensitive to the impact of acid rain. Shown in colour on this map, these areas include much of Canada's important forest and fishing zones. The black dots indicate main sources of sulphur dioxide emissions.

### Historical Perspective

Scientists agree that their work would be easier if there were more historical data to help in assessing the relative health of the environment and to make prognoses. There are, however, several indirect ways of deriving information on the environment in past decades. Examination of sediment cores from lake bottoms, of the chemical composition of tree rings, and of core samples from glaciers provides a year-by-year record of the past that scientists can "read." Information from these sources indicates clearly that there has been a substantial change in the chemistry of the aquatic and terrestrial environment since about 1920. ☾

Bruce Henry is a freelance writer in Toronto.



Springtime runoff of melting snow brings a fresh infusion of acidic materials into streams and lakes, sharply lowering pH for days or even weeks. This is a crucial period for much of the aquatic life present in the watercourses: eggs are being deposited and hatchlings are beginning life in the face of this chemical shock.

Carisse Graphic Design Ltd. — adapted from Environment Canada

*The two young men were crammed into a tent, pitched on the Delta of the Mackenzie River 30 years ago. They were both tall but their tent was short. They were not alone: a throng of bloodthirsty mosquitoes was crammed in with them. During the short, bright, Arctic night, cursing and spraying insecticide, they killed like berserkers.*

*When Hank Johnston recalls the early years when he and Roger Brown worked and travelled in the North, he describes many scenes like this. It may seem paradoxical, but despite the uncomfortable and even dangerous adventures that the two young men had when they first worked together in the north, for them its appeal only grew stronger. For they had discovered what to do with their lives: from that time on the vast, frozen wilderness would be the focus of their careers  
— and their friendship.*



# Travellers On Frozen Ground

Roger Brown and Hank Johnston

## The early days of permafrost research in Canada

by Séan McCutcheon

**W**hile still a geography student at the University of Toronto, Roger Brown had his first real taste of the north — a cruise on board the United States icebreaker *Eastwind* carrying supplies to Arctic weather stations. Later, when he went job hunting with his first degree in 1953, he was hired by the National Research Council's Division of Building Research, joining its new Northern Research Group. Hank Johnston, who had studied civil engineering at the University of Manitoba and worked on northern construction projects for several years, had been hired a month or two before Roger. Though in some respects opposites — Roger, for instance, being vigorous and vivid in speech while Hank was quiet and dry — they shared a fascination with the north and soon became fast friends.

Little construction was going on in the north in the early 1950's, but if in the future there was to be any, and

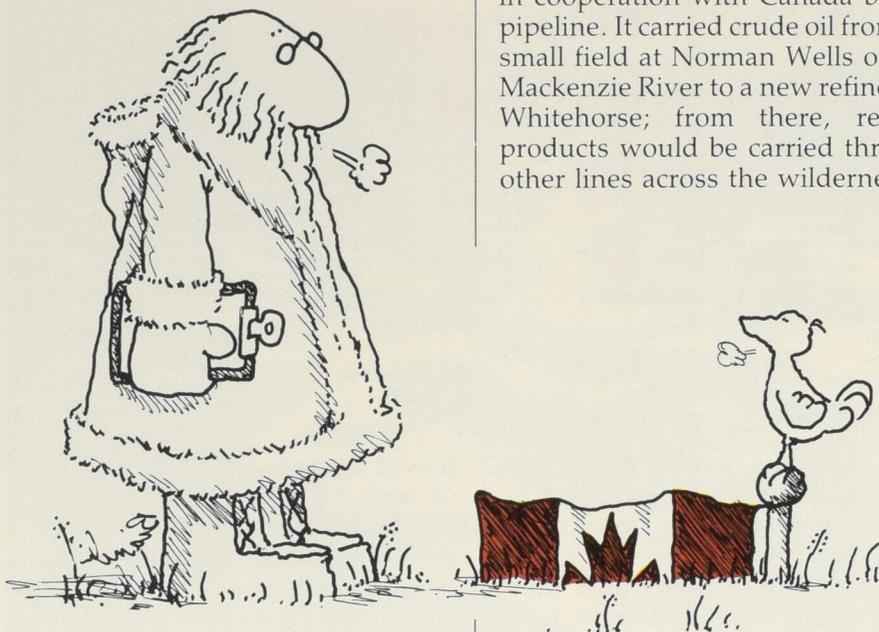
R.F. Legget, the first director of the Division of Building Research, anticipated there would be a good deal, then people would need to know about the ground on which they were building. Early on Legget, who had been a professor of civil engineering at the University of Toronto, recognized the enormous economic potential of the North and saw Canada's future in the development of that vast, inhospitable land. To live and work there, however, dwellings, roads, and other structures would have to be built, and that meant dealing with one of the peculiarities of much of the northern terrain — perennially frozen ground, or permafrost as it has come to be known. So, in forming the Northern Research Group, Legget chose permafrost as its primary research subject. (R.F. Legget's career is quite another story, to be covered in a future issue of *Science Dimension*.) Roger Brown was hired to find out where permafrost occurred,

how it formed, and the effects on it of such factors as climate, snow, vegetation, geology, and terrain relief; Hank Johnston would work on methods of northern site investigation and study design and construction techniques for building houses, roads, airfields, and later pipelines on permafrost. The first records of permafrost in Canada are in narratives of the early explorers. If, as the English explorer Martin Frobisher found in the 1570's, you dig anywhere above the Arctic Circle, and in a good many places to the south of it, you will strike frozen ground. Even though the topmost layer of this ground may thaw in summer, it freezes again in winter, and what lies below is always frozen solid.

Permafrost lies beneath more than half of Canada's land — and beneath one-fifth of all the land on our planet. Northern Canada is awash with bogs, ponds, streams, and lakes because, in part, water cannot

drain down through the underlying frozen ground. Trees that grow here cannot sink deep tap roots and so they lean and fall like drunkards, unsteadily supported by their shallow roots. Permafrost, in other words, gives northern lands their special character.

To the builder, permafrost is rife with potential catastrophe. Cemented by ice, even fine-grained earth materials such as sand or silt



John Bianchi

are stable and strong as rock. If the ice melts, however, they turn to muddy porridge, and *very* small disturbances can melt the ice.

When (as has happened) a bulldozer passes over tundra in summer, it crushes the thin cover of moss and lichen that insulates the ground. Heat from the sun can then penetrate and melt the top of the permafrost, causing the ground to settle and water to pond and run in the resulting depression. The track marks left by the bulldozer then widen to become a ditch, a gully, and finally a major scar on the landscape that can endure for centuries.

To place a building directly on the ground as we do in the south causes trouble in the north, for heat from within will pass to the earth below. If there is ice below, it may melt to form a watery slurry on which the building above totters and collapses.

For the indigenous nomads of the north, whose shelters were light and

temporary, permafrost was never a problem. Miners and fur traders built structures that were more permanent, but still relatively light by Southern standards. If a log cabin at a Hudson Bay Company post slumped, it was an easy task to shim it level again. It wasn't until the Second World War, when industrial technology invaded the Canadian North, that serious permafrost problems arose.

To counter the Japanese threat of attack on Alaska, the American army in cooperation with Canada built a pipeline. It carried crude oil from the small field at Norman Wells on the Mackenzie River to a new refinery at Whitehorse; from there, refined products would be carried through other lines across the wilderness to

bases in Alaska and on the west coast. It was built in a rush, and as might be expected, was not without problems. For example, at its Norman Wells terminus, houses, garages, warehouses, and other buildings began to settle as the permafrost below thawed. The pipeline operated for only a few months, since shortly after it was finished the war ended and its military justification vanished. A lot of work on building structures on frozen soil was carried out by the Americans during this early phase, however, and Legget credits this effort and later research by the United States Army in Alaska with providing the Canadian researchers with a valuable starting point for their own work.

Anticipating coming resource developments in the North after the war, the Canadian government decided to build a new town to become the administrative, education, medical, and transportation centre for the

Northwest Arctic. The plan, at first, was to expand the lonely little community of Aklavik, a former fur trade post in the middle of the Mackenzie Delta. But, as a 1953 report by the Division of Building Research made clear, Aklavik was not the place to build. The mighty river that had dumped the silt on which the community sat tended to flood it every spring and erode the banks. The site's drainage was poor or nonexistent, there was little room for needed expansion and there was no gravel in the vicinity. And, underfoot there lay what civil engineers consider the worst possible kind of permafrost — ice-rich, silty soil in which the volume of ice was equal to the volume of soil.

That report marks the opening of a new, permafrost-conscious era in Northern Canada. Its co-author, on his first assignment with the Northern Research Group, was Hank Johnston.

## Looking for Inuvik

In December 1953 the government decided to abandon the Aklavik project and form a team to search the Mackenzie Delta for a better townsite. The team of five engineers and three specialists in geography and geology included people from the Department of Transport to worry about where the airport would go, from Public Works to worry about the wharf and roads, from Health and Welfare to worry about the water supply — and two young men from the Division of Building Research to worry about the ground on which the new town would be founded.

Early in March 1954, after hasty preparations, after poring over air photos in Ottawa, assembling and shipping equipment and supplies, Roger Brown and Hank Johnston flew north. They met the other team members in Aklavik, and a few days later set up a tent camp in the Delta. It was still winter, the thermometer hovering around 40 below.

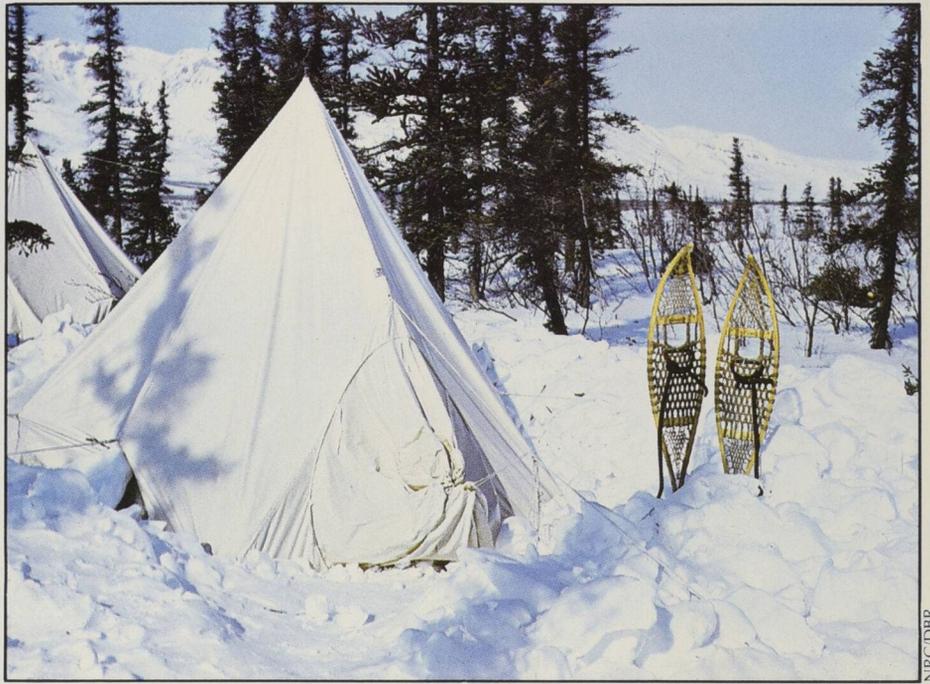
For the next eight months, through the spring breakup, the summer and early part of the following winter, a tent was home for

Brown and Johnston. From their camp, they roamed the vast expanse of the MacKenzie Delta and surrounding areas. They explored the maze of shifting channels, the drowning and emerging islands, the muskrat and mosquito country through which the seventh largest river in the world (in terms of flow) empties into the Beaufort Sea. They saw pingos, the most spectacular of permafrost's manifestations; more than 1 000 of these hills with cores of solid ice rise from the flood plain of the Mackenzie. But what they were looking for was not so visible. To probe the frozen ground on which foundations could be reliably constructed, they had to drill or dig test pits into the rock-hard, frozen soil.

It is not easy to load a drill rig, even a small, portable one, and all its equipment neatly on a dog-sled. "Dogs are good movers," Johnston says, "but they can be frustrating. They're so eager to pull it's hard to stop them when things get snagged on willows and start falling off."

When the ice broke up in early June, the site selection team could travel by water, using a tug and small barge, or canoes. More than once fog rolled in and the channel on which Hank and Roger were canoeing disappeared. Then they would pull to shore, make supper, and contend with the bugs in their tent.

Their most powerful though not most reliable mode of transport was a helicopter — the first ever flown during winter in the Canadian north. It was ferried up from Edmonton, stopping for fuel at every post and cache along its route. At Aklavik, a large cache of gas had been stashed during the war by the Air Force. But, fuel deteriorates when it is left standing in the Arctic for a number of years and many of the drums contained a lot of water. Though the chopper pilot experimented with many fuel mixtures and refuelled with great care, his spark plugs still had a disconcerting tendency to foul. At the team's base camp, he always took off and landed from a nice, deep snow bank — to soften the bump if his engine failed. Three times it failed in mid-air, away from camp, and he and his passengers had to crash land, the autorotating blades cushioning the descent



NRC/DBR

to earth. Grounded, the pilot would fiddle with spark plugs, drain and strain gas while the others cut willows, clearing room for taking off again.

In their field work, the members of the site selection team were looking critically at possible townsites, narrowing the number of candidates until only one remained. This was a spot on the edge of the Delta some 50 km east of Aklavik. It was on a navigable waterway, had local sources for gravel, and stood on good ground. It has to be remembered that all types of soil, when frozen, are as hard as rock as long as they are *solidly frozen*. It is only after they thaw that these differences in soil type and water content become critical. What Brown and Johnston wanted to avoid were the fine-grained soils like clays and river silts which are high in water content (up to 60 per cent by volume at Aklavik) and turn into soft, unstable mud on warming. They searched for coarser grained soil types, which contain less ice, and hence are much more stable on thawing. And, they were on the lookout for convenient sources of gravel, widely used in construction to guard against the effects of seasonal freeze-thaw cycles in the upper soil layers.

In 1955, construction began on the town called Inuvik, "the place of man."

Hank Johnston, Roger Brown, and others in the group looking for the new townsite of Inuvik spent a lot of time in tents. This is the Husky site on the western side of the Mackenzie Delta, at the foot of the Richardson Mountains.

## Travels in the Frozen North

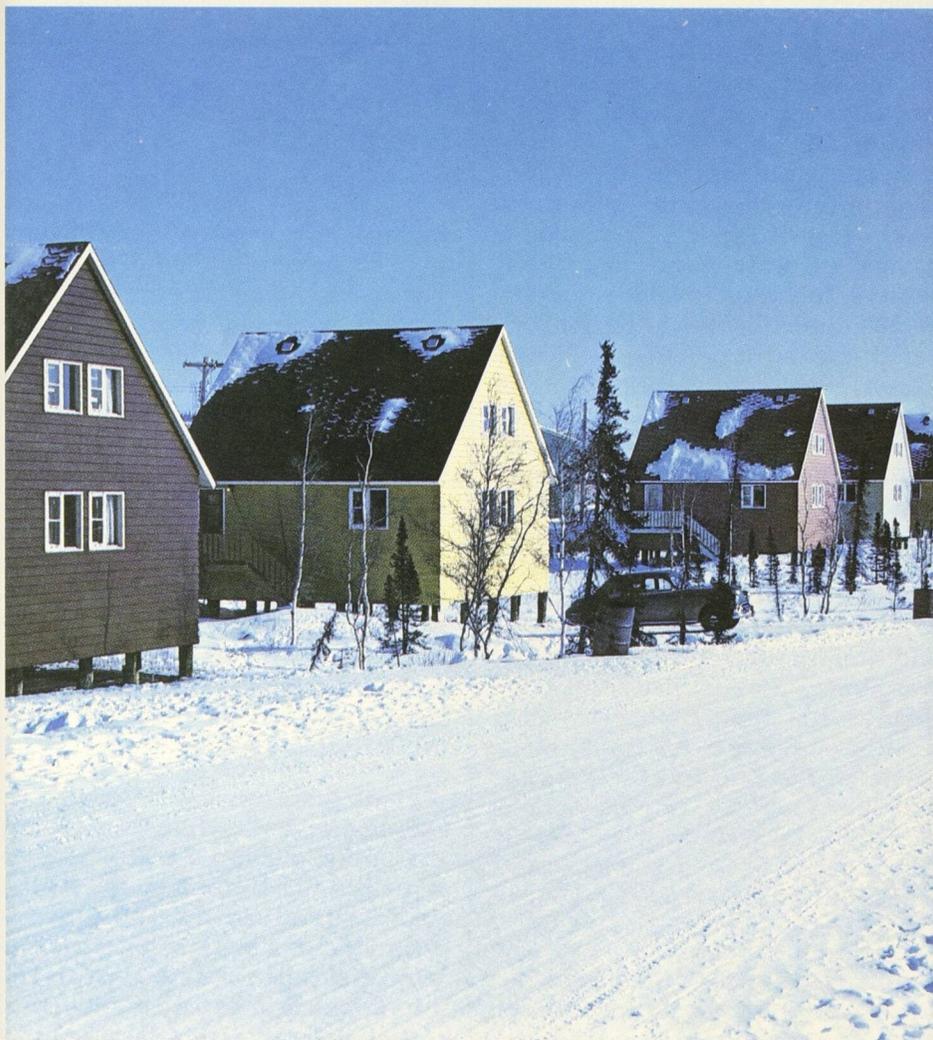
Inuvik is an exemplary model of how to build successfully on permafrost. The essence of the construction techniques pioneered here, and now used throughout the north, is to keep the ground frozen. For example, most of Inuvik stands on pilings. In the early years, the pilings were placed in holes thawed by steam jets, but since the late 1950's the holes have been drilled. Because the buildings are raised, heat from within them is dissipated to the air flowing below and not passed to the ground. Water and sewage pipes are raised aboveground too; they are enclosed in heated and insulated ducts called "utilidors."

Hank Johnston spent a good deal of time in Inuvik while it was being developed. He has studied the performance of its buildings, roads, wharves, and airfield, and through such studies has become expert in making detailed site surveys, and in appropriately tailoring foundations to building sites. In 1981, he pub-



NRC/DBR

*The airstrip at Inuvik, shown here under construction in 1956.*



NRC/DBR

lished a book entitled *Permafrost: Engineering Design and Construction*, which details what engineers should know about construction on permafrost.

His advice is often sought. Usually he helps people avoid problems; sometimes he is consulted after problems have arisen, as they have in several northern areas. For example, in Thompson, the Northern Manitoba mining town that INCO built in the late 1950's, the townsite was located in an area sitting on top of small permafrost patches. The frozen soil contained large quantities of ice and, because it was at a temperature just below  $0^{\circ}\text{C}$ , could not be kept frozen as in the case of Inuvik. For buildings and other structures, the site could hardly have been worse: within months of being built, occupied, and heated, many houses that had been built on top of such islands began to settle and fall apart as the permafrost melted. Hank's advice helped in

*Like other heated buildings in Inuvik, these houses on the main street are built on wooden piles.*

making building rules for Thompson. Now, no person can build on a lot until it has been well-probed, to determine whether or not permafrost is present, and lots where it does occur are left vacant.

Hank has shared and developed his expertise on many construction projects in the North. For the first 20 years, he spent more than half of every year in the field studying mine sites, road projects, hydro power, and other northern developments. Even now, he spends several weeks every spring, fall, and winter in the Arctic despite the fact that the kinds of studies he pioneered are now carried out routinely by large firms of consulting engineers.

Like Johnston, Roger Brown fell in love with northern field work, and in his subsequent travels often crossed paths with his colleague and friend. His biggest project was to map the distribution of permafrost in Canada.

He began by tracing its southernmost limit. Starting in the west he made surveys each fall and, year by year, he worked his way east. In British Columbia and in the Yukon he travelled by car, along any road that provided access, stopping at likely bogs to drill and probe to see what lay below. He mapped in Saskatchewan and western Manitoba by road too, but when it came time to follow the permafrost boundary across northeast Manitoba and Ontario, he had to use a helicopter, often in the company of Hank Johnston. He mapped on through Quebec and Labrador, using helicopters and bush planes.

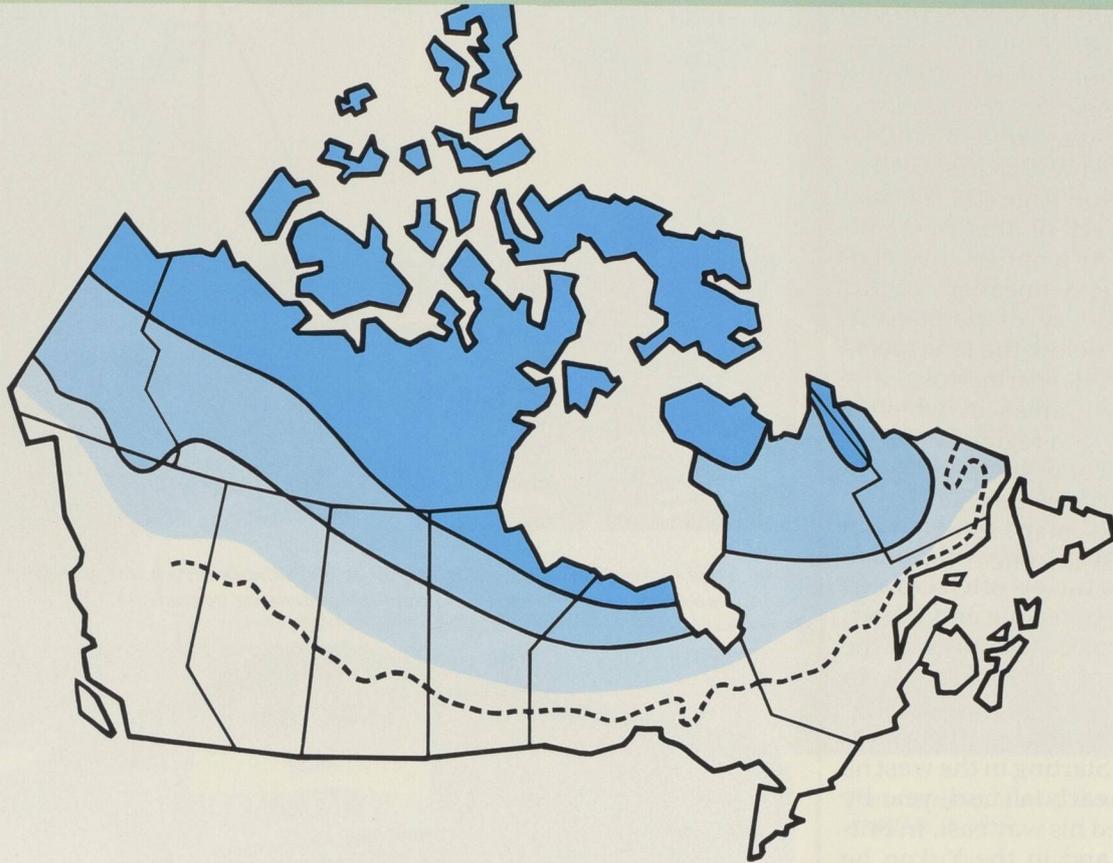
To fill in details of the frozen zones north of the line he had mapped, Brown travelled extensively into the Keewatin Barrens, up to the islands of the High Arctic, over to Baffin Island, and up the mountains on Canada's east and west coasts (to probe the Alpine permafrost).



*Brown and Johnston often used a helicopter in the Aklavik survey (the search for Inuvik). To the right, a portable core drill used to sample the underlying permafrost.*



*NRC's Field Station at Norman Wells, N.W.T. This 1956 photo shows, clockwise from the bottom: Joe Plunkett, DBR Technical Officer; Chris English, summer student; Roger Brown, and John Pihlainen. Pihlainen, who died in 1964, worked with Hank Johnston during the first years of the Northern Research Group, and co-authored a 1953 report with him on permafrost at the town of Aklavik, in the Mackenzie Delta. The report led to the search for a new townsite, Inuvik.*



The distribution of permafrost in Canada, as rendered from a map produced by the National Hydrological Atlas of Canada. The map, drawn from data collected by Roger Brown, displays the two permafrost zones: continuous — dark blue; discontinuous, but widespread — middle blue; discontinuous, scattered — light blue. The broken line running from the Rocky Mountains to Labrador is the 0°C isotherm, that is, the line at which the mean annual temperature is 0°C.

Carisse Graphic Design Ltd.

## Permafrost Primer

The term permafrost, an abbreviation of "permanently frozen ground," describes any kind of earth material, such as sand, clay, gravel, or rock, whose temperature stays below the freezing point of water for more than a year. Thus, ground that freezes during one winter and remains frozen during the following summer and into the following winter qualifies as permafrost. Some of the ground in Canada has been frozen for tens of thousands of years; in other cases permafrost is in the process of forming under today's climate and terrain conditions.

The term is slightly misleading; permafrost is not necessarily permanent. It forms under the dynamic influence of climate and terrain and changes in these can cause it to thaw. This possibility is reflected by the term now preferred: "perennially frozen ground." In his book *Permafrost in Canada: Its influence on*

*Northern Development* (University of Toronto Press, Toronto, 1970), Roger Brown points out that Russian usage also reflects this possibility: the Russian equivalent for "perennially frozen ground" is replacing "vechnaya merzlota" which means "eternal frost."

The energy exchanges that control the formation and existence of permafrost are complex. Simplifying them, we can say that to freeze, the ground must lose to the air the heat it gains from sunshine and from the Earth's interior. This, in turn, means that permafrost should form wherever the air temperature is less than 0°C.

In fact, as the map shows, the southern limit of the permafrost region in Canada roughly follows the minus 1°C isotherm (mean annual air temperature). Along this boundary permafrost occurs in patches a few centimetres thick scattered through unfrozen ground. Moving

northward, the size (area and thickness) of these frozen patches increases until they combine and all the subsoil is frozen. This is the zone of continuous permafrost. In parts of it the ground is frozen to depths of one kilometre and even more.

A thin layer of soil or rock that thaws in summer and freezes in winter lies above the permafrost. This is known as the active layer.

Why do the permafrost zones that Roger Brown mapped not sweep across Canada in concentric bands? Why are they displaced northwards as they cross to the east of Hudson Bay? Because, it seems, the main weather fronts move from west to east across that large body of water, and consequently more snow falls to the east of Hudson Bay than to the west, and snow insulates. A blanket of snow slows the loss of heat from the tundra to the air. Thus in the West and the far north, where snowfalls are light, continuous permafrost is more extensive.

The data gathered on these travels are synthesized in a map whose first edition was published in 1967 and immediately became a standard reference. (The latest edition is published as a sheet in the National Hydrological Atlas of Canada. A redrawn version of this is shown in the illustration on page 20.) A vitally important aspect of this map, especially to town planners and contractors, is its delineation of the southern boundary of permafrost. Within a band below the lands locked in continuous permafrost, and above southerly areas in which it does not occur, is a region called the discontinuous zone in which permafrost is found in patches, or 'islands.' Brown's map also contains information on thickness and temperature of permafrost at selected locations, and mean annual air temperature lines or 'isotherms.'

Permafrost not only lured Brown and Johnston to most corners of Canada's North but across the Pole to the northern reaches of the USSR as well. In the fall of 1966 they travelled to the Soviet Union where they spent two months visiting construction projects in Eastern Siberia.

The Russians have developed their north far more intensively than have Canadians. They began research into permafrost in the 1930's, and have become a source of information so important that Roger Brown learned Russian so that he could read their research papers. They have built hydro dams, mines, roads, airfields, and cities in their frozen zones and many millions live and work there (compared to the 100 000 or so people who live and work in Canada's permafrost regions). The two Canadians learned a lot on their first trip there. ("The Russians know a good deal about building on permafrost," Hank Johnston says, "but they don't always appear to apply that knowledge. Most of our northern construction is of better quality than their's.") They learned even more when, seven years later, after travelling with their wives north by train through China and Mongolia and into Siberia, they arrived at Yakutsk for the Second International Conference on Permafrost.

The work of Brown and Johnston, in the final analysis, was aimed at



*In 1966, Hank Johnston and Roger Brown visited the U.S.S.R. Here, they are shown touring the Chernyshevskiy Hydro Dam site in Siberia. Left to right: G.B. Biyanov, Chief Engineer, Johnston, Brown, and S.E. Grechishchev of the Permafrost Research Institute, Academy of Sciences, Yakutsk, U.S.S.R.*

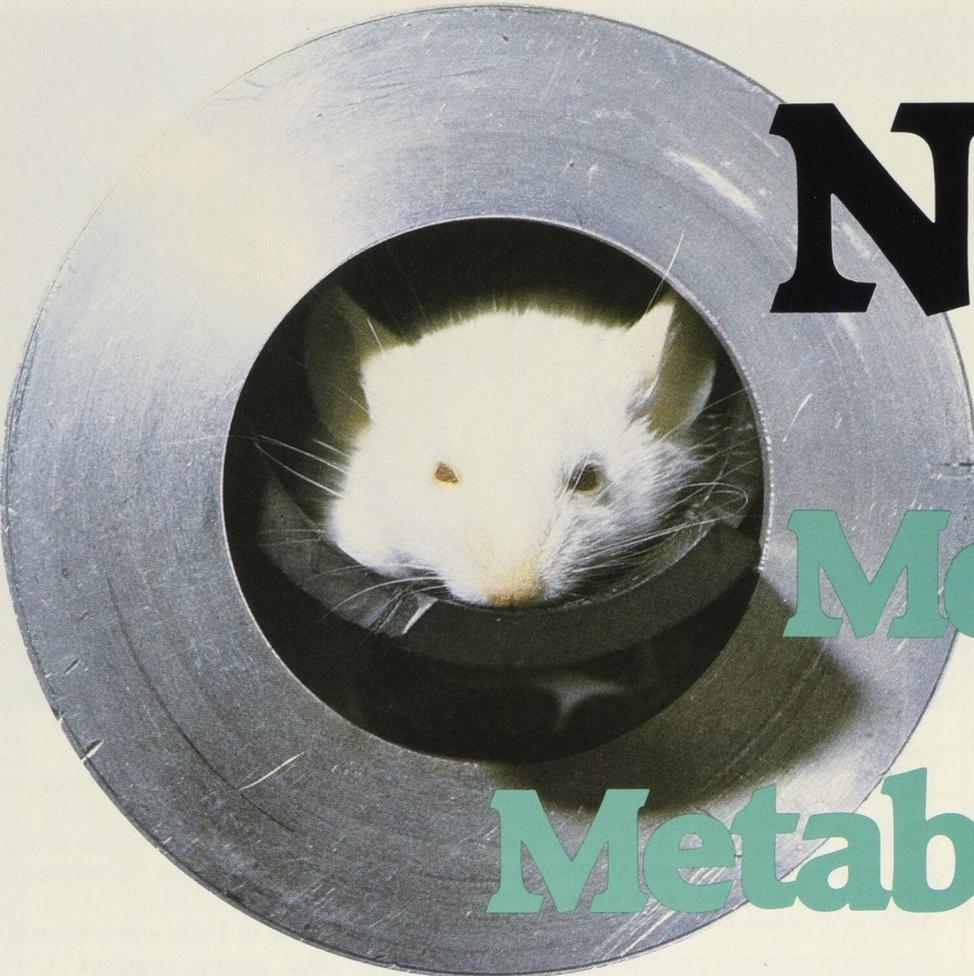
R.F. Legget's original goal: to pave the way for construction in the Canadian north. As vital as the field work they did on the nature and distribution of permafrost and how to build on it, the dissemination of this new knowledge to those who could use it was also an important part of their professional lives. Architects, engineers, town planners, building contractors, and the like all benefitted from the numerous research articles the two men published and the series of seminars, symposia, workshops, and conferences set up by NRC's Associate Committee on Geotechnical Research. And, of course, there is Brown's book, *Permafrost in Canada* (published in 1970), and Johnston's book on permafrost engineering. The mass of research data collected by the men has been enormously important, particularly in the development of northern communities, oil and mineral resources, and other facilities.

In 1972 Roger Brown learned that he had cancer but he continued working indefatigably for almost a decade. He was, for instance, a guiding force in the organization of the

Third International Conference on Permafrost which was held in Edmonton in 1978, and of the fourth Canadian Permafrost Conference held in Calgary in 1981.

He died late in 1980, a few months before this last Canadian Conference opened. Its proceedings were published recently and take the form of a memorial volume honoring Roger. Hank Johnston wrote the obituary which prefaces this volume. "One could not wish," he writes of his friend, "for a more personable, interesting, and entertaining travelling companion." ☺

*Séan McCutcheon is a freelance writer working in Montreal.*



# NMR

## New Monitor of Metabolism

by Madeleine Vaillancourt

**U**ntil recently, it hasn't been possible to follow the metabolic changes which take place in cells and tissues without disrupting the living system in the process. In fact, most of our knowledge of this 'living chemistry,' the way in which cells process the myriad molecules that make them up, comes from earlier studies that involved killing the cells to examine their remains. Now, however, we have a means of studying these metabolic processes as they occur, in a non-invasive manner that preserves the living system intact.

The technique is called nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy, and in recent years its usefulness has extended beyond biological research to medicine, in particular to making images of the body similar to those provided by X-rays. According to American research scientist Dr. David Damadian, who pioneered its medical applications, NMR represents "the most dramatic change to occur in medicine in more than 40 years,

*Like an astronaut in a space capsule, a mouse peers out from an NMR probe.*

possibly even the most startling revolution in medical history." In the molecular biophysics laboratories of the National Research Council of Canada in Ottawa, NMR spectroscopy is the main concern of a multidisciplinary team which includes a biophysicist, a chemist, two physiologists, a veterinarian, a physicist, and several visiting researchers and students under Dr. Ian Smith, himself a physical chemist. Before describing their work in detail, let us first focus on the range of their research. It encompasses the sum total of the complex, unceasing processes of chemical change within the cells — that is, their metabolism.

We deal here at the level of the infinitesimal. The cell, though minute, is still large enough to be seen through a light microscope, but the millions of molecules of varying nature and function enclosed within it are not. Some of these molecular

structures can be seen with more powerful magnifying instruments like the electron microscope, but below this, at the level of the atom, other means must be used. At such small dimensions, it is no longer possible to actually 'see' things, but the atom's central nucleus, composed of protons and neutrons, can be detected with a technique like NMR; it is from such studies that we can derive information on the form and function of cellular processes.

The advent of NMR can be traced back to the early 1950's when two American researchers, Felix Bloch of Stanford University and Edward Purcell of Harvard University, won the Nobel Prize in Physics for their discovery that the nuclei of atoms having an odd number of protons and neutrons spin, behaving like tiny bar magnets. They went on to show that, when such nuclei were placed in a magnetic field and then bathed in a second, electromagnetic field in the radiofrequency range, it was possible to identify each nucleus on the basis of what frequency

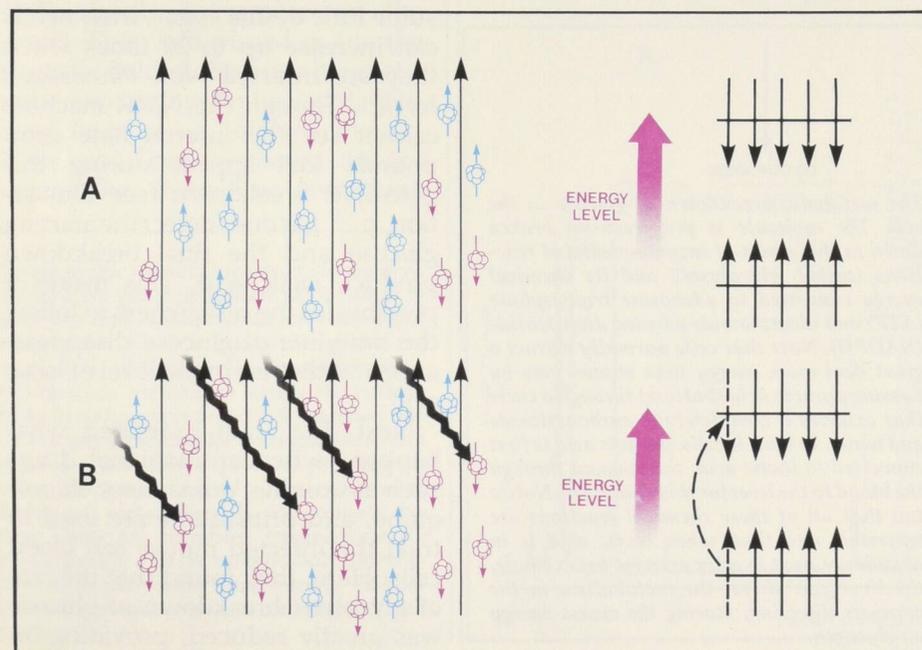
caused it to 'resonate' and absorb energy from the field. In fact, these absorption lines endow the element with an electromagnetic 'signature' which is as unique to it as fingerprints are to humans (see illustration, p.23). There have been two important consequences of this development for the biological sciences: first, certain elements such as hydrogen-1, carbon-13, and phosphorus-31, which play important roles in the structures and chemistry of living systems, are 'sensed' by NMR, and second, the absorption frequencies of these nuclei are altered by the chemical environment that surrounds them. Thus, NMR can tell the researcher what kind of organic molecule the 'sensed' nucleus is a part of, and, equally important, the technique can be used to follow dynamic chemical processes like those of cell metabolism in real time, as they happen.

The NMR apparatus used in experiments at NRC's molecular biophysics laboratory is shaped like a huge bell of polished metal. It contains a giant magnet connected to a console which includes instruments used to generate the signals transmitted to the computer. Large metal cylinders lined up on a shelf are the probes in which biological preparations (living tissues) are positioned before being placed in the device. The size of the probe determines and limits the size of the specimen that can be studied.

Researchers who join the ever-changing team working under Dr. Smith must familiarize themselves with biology and NMR spectroscopy in terms of their own speciality, whether physics, chemistry, or medicine. According to the team's biophysicist, Dr. Roxanne Deslauriers, "it takes years to train a spectroscopist, and from two to four researchers are needed to complete one experiment in physiology. Since we are working with living tissue, time is a major factor; thus, we need many people. We try to answer fundamental questions about the nature of metabolic systems using NMR techniques."

Metabolism. Though the word refers to the entire tapestry of the cell's chemical activities, it can nonetheless be described in fairly simple terms. Food molecules like

*How NMR spectroscopy works. Atomic nuclei with an odd number of protons and neutrons, such as hydrogen-1, carbon-13, and phosphorus-31, behave like tiny bar magnets and, when placed in a magnetic field (black arrows at left), they line up like soldiers on parade, either with the field (blue) or against it (red). As A indicates, the energy level of parallel alignment is slightly lower than antiparallel alignment. When radio waves of varying frequency bathe the field (B), each element will have a characteristic frequency (almost as unique as a human fingerprint) at which it 'resonates,' thereby absorbing energy and 'flipping over' (broken arrow, right) to the antiparallel state. This flip-over registers as an absorption peak on an NMR spectrum, identifying the presence of the element.*

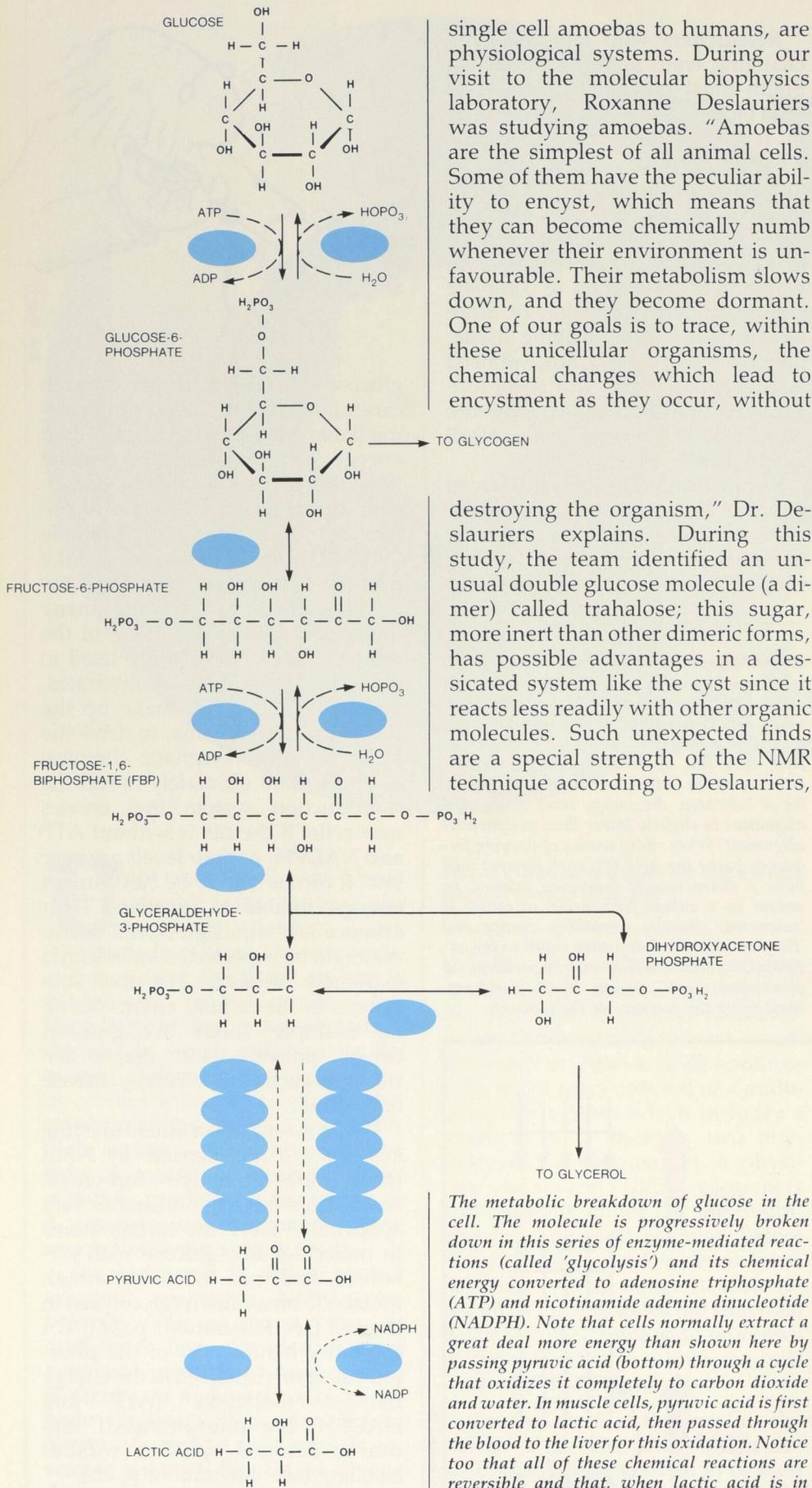


John Bianchi

glucose are broken down through carefully controlled, enzyme-mediated pathways and their energy is converted to so-called 'high energy' molecules of adenosine triphosphate (ATP) and nicotinamide adenine dinucleotide (NADPH). These molecules are the common energy currency of all living systems and fuel the many molecular construction tasks of the cell. ATP and NADPH are used to build the proteins, carbohydrates, and lipids (fats) that make up the cell's struts and beams, to drive the welter of other synthetic chemical reactions, and ultimately to run the reproduction system that creates new cells. If the cell is without ATP and NADPH, or their levels are very low, it can be said to be bankrupt of energy, unable to function. Their absence is a sure sign of cell death. As might be expected, metabolism is extremely sensitive to the substances in the cellular environment: for example, foods like glucose, drugs, poisons, and major disruptions such as invasion by disease organisms.

While most carbon atoms in living systems are not 'sensed' by NMR (they are mainly carbon-12) researchers have the means to very specifically 'label' the carbon atoms in molecules like glucose with carbon-13, and then follow it through metabolic breakdown (glycolysis) in the cell (see illustration, p. 24). On the other hand, most of the phosphorus atoms involved in the energy transfer molecules (ATP and NADPH) are phosphorus-31 and can be detected by NMR without labelling (see illustration, p. 25).

For the last six years, Deslauriers and her colleagues have been studying living physiological systems using NMR. All living beings, from



single cell amoebas to humans, are physiological systems. During our visit to the molecular biophysics laboratory, Roxanne Deslauriers was studying amoebas. "Amoebas are the simplest of all animal cells. Some of them have the peculiar ability to encyst, which means that they can become chemically numb whenever their environment is unfavourable. Their metabolism slows down, and they become dormant. One of our goals is to trace, within these unicellular organisms, the chemical changes which lead to encystment as they occur, without

destroying the organism," Dr. Deslauriers explains. During this study, the team identified an unusual double glucose molecule (a dimer) called trahalose; this sugar, more inert than other dimeric forms, has possible advantages in a desiccated system like the cyst since it reacts less readily with other organic molecules. Such unexpected finds are a special strength of the NMR technique according to Deslauriers,

since it often reveals unexpected biochemicals in living systems.

Roxanne Deslauriers, a biophysicist, always says "we" when she talks about research work. She emphasizes the teamwork involved. "In biology, the questions being raised are increasingly complex. Every member of a multidisciplinary team like ours works on the basis of a given specialty, so everyone can benefit from his or her knowledge and expertise. There is constant interaction. That's the creative aspect of our work. We clarify and sharpen our ideas from group discussions."

Along with other members of Ian Smith's team, she is working on a number of programs based on the NMR analysis of physiological systems. Some of the more basic research deals with the molecular structures of cell membranes, their lipid components, and the effects of proteins on these molecules. Other programs have a more specific purpose. Malaria, for example, has received a great deal of attention in NRC's molecular biophysics lab, and Dr. Deslauriers and her colleagues have investigated aspects of the metabolism of mice suffering from the disease, as well as the effects of antimalarial medication.

*Plasmodium berghei* is the malarial parasite of rodents, a single-cell protozoan which can invade up to 90 per cent of the animal's red blood cells. Using glucose labelled with carbon-13, the NRC group showed that, while healthy red blood cells consume little of this sugar, their needs can increase up to 20 times when they are infected with *Plasmodium berghei*. Though the NMR machine cannot see the intermediate compounds that appear during this glycolytic breakdown (see illustration, p. ), it does detect the starting glucose and the final breakdown product, lactic acid. This makes it possible for the researchers to follow the time line of glucose disappearance and the rise in the level of lactic acid.

Next, the team examined what happens when anti-malarial drugs such as quinine, quinacrine, chloroquine, and primaquine are used to treat the infected mouse red blood cells. Here, they found that the rate of glycolytic breakdown of glucose was greatly reduced, providing an

The metabolic breakdown of glucose in the cell. The molecule is progressively broken down in this series of enzyme-mediated reactions (called 'glycolysis') and its chemical energy converted to adenosine triphosphate (ATP) and nicotinamide adenine dinucleotide (NADPH). Note that cells normally extract a great deal more energy than shown here by passing pyruvic acid (bottom) through a cycle that oxidizes it completely to carbon dioxide and water. In muscle cells, pyruvic acid is first converted to lactic acid, then passed through the blood to the liver for this oxidation. Notice too that all of these chemical reactions are reversible and that, when lactic acid is in abundance as it is after exercise for example, the liver can 'drive' the metabolism in the opposite direction, storing the excess energy as glycogen.

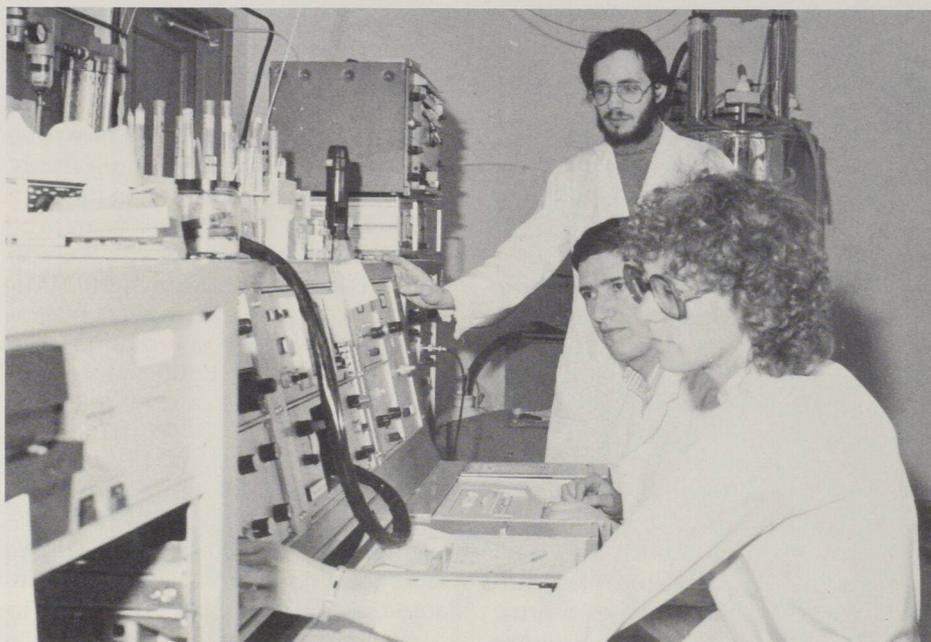
indication of how these drugs act in alleviating the symptoms of the disease.

Another problem the NRC researchers have looked into is the capacity of the mouse's liver to handle the flood of lactic acid into the blood stream which normally results from malarial infection. To do this, they again used a carbon-13 label, and followed the course of lactic acid as the liver cells converted it back into glucose, a metabolic pathway called 'gluconeogenesis'; this is the reverse of sugar breakdown, or glycolysis, and is the liver's way of handling lactic acid excess. Deslauriers explains that isolated livers perfused with needed nutrients were used in these studies and that "... while both normal and diseased livers produce glucose, the malarial organs appear to be less efficient at the job."

Here, the results of basic research have an immediate application. Dr. William Jeanes, an expert in the health sciences with the Canadian International Development Agency (CIDA), has said of malaria that "it is the most serious disease in the world at the present time." There are 600 million people suffering from malaria, and while it is seldom fatal, it is a debilitating disease.

We witnessed a phase of the research work involving *Plasmodium berghei*. Four investigators, including biophysicist Roxanne Deslauriers, were watching the screen of the terminal closely, waiting for the NMR signals to appear on the screen. They had placed inside the magnetic field of the huge magnet a probe containing the isolated, perfused liver of an infected mouse. Peaks and lines appeared on the screen. But there was something

The reversible chemical reaction shown here, in which inorganic phosphate (A) is joined to adenosine diphosphate (B) to form adenosine triphosphate (C), is a crucial energy-storing reaction in all living cells. From experience, biophysicists are able to assign the various peaks in a phosphorus-31 NMR spectrum (below) to specific molecules in the magnetic field as shown. Thus, it is possible for them to follow the changes in level of these compounds during cell metabolism. If, for example, the three peaks for adenosine triphosphate (C) were absent in a tissue sample under observation, it would mean that normal cellular metabolism had ceased, a sure sign of cell death.



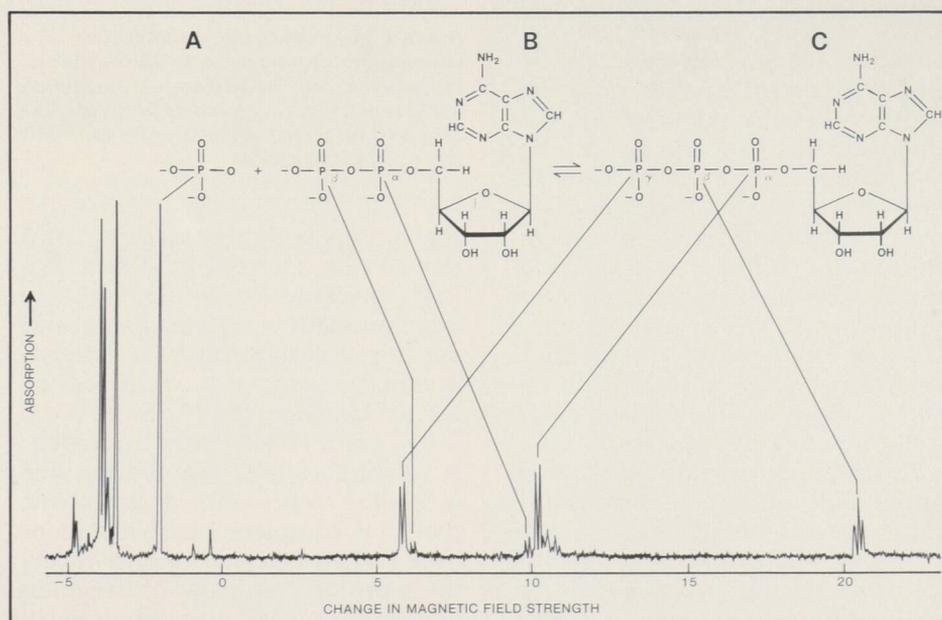
Doctors Roxanne Deslauriers and Yves Geoffrion in front of the computer. Standing: a student researcher, Sylvain Lareau. Behind him is the top of the polished metal bell which houses the giant magnet. It is connected to a console which contains the NMR spectroscopic analysis instrumentation used to transmit signals to the computer.

wrong. Someone indicated a position near the starting point on the graph. The four experts knew the meaning of the telltale line. In spite of the very careful removal and perfusion of the organ (with all the necessary nutrients), it had not survived: there was no peak for ATP; its level was zero. Since the typical ATP resonance did not show up on the

screen, the organ under study was no longer alive!

Director Ian Smith pointed to a practical application of this observation. Surgeons who transplant human organs invariably face a dilemma: how can they be sure that the heart or kidney they wish to transplant, however healthy and intact it appears, is in fact alive? At Oxford University in Britain, researchers have developed a technique which, through NMR analysis of ATP levels, quickly indicates whether or not an organ is viable.

As for the experiment at NRC's molecular biophysics laboratory,



Roxanne Deslauriers replaced the liver with an infected mouse under slight anaesthesia to calm it down, and the research continued. Thanks to the ability to 'focus' the machine, the group can zero in on the animal's liver and follow metabolic processes in the organ as they occur.

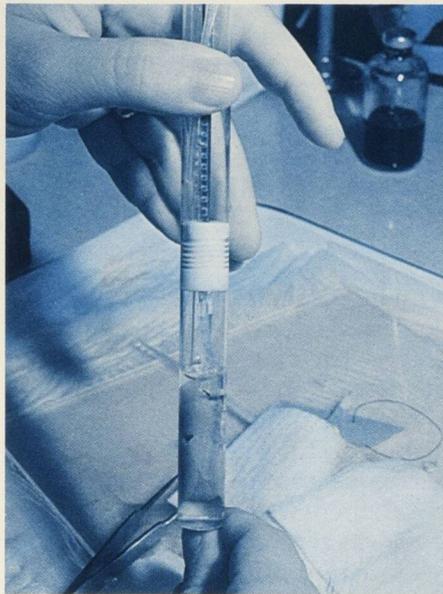
Investigations of other phenomena are under way, including the effects of toxins like trimethyl tin,  $(\text{CH}_3)_3\text{Sn}$ , on the metabolism of livers studied in vivo, in collaboration with Dr. Ken Reubl, a specialist in environmental toxicology. The group also looks at the metabolic adaptation of intertidal organisms that are periodically deprived of oxygen (at low tide), with the collaboration of Dr. Ken Storey of Carleton University. In addition, Storey and the NRC researchers are interested in the adaptation of organisms to cold and frost conditions. A number of insect species, for example, are able to survive prolonged exposure to cold winter temperatures.

"Dr. Storey was looking at goldenrod gallfly larvae, concentrating on their tolerance to freezing," says Deslauriers. "We measured ATP levels and acidity or pH for him as the temperature lowered." The group found that, as might be expected, ATP molecules became sluggish as the temperature dropped, possibly due to binding with larger molecules in the system. Acidity, as measured by the amount of free, inorganic phosphate in the system, decreased as the temperature went down. This pH change in response to cold is called the 'alphastat regulation,' and serves to maintain the vital acid-base balance with the cell. Another remarkable feature of the larva's metabolic response to lowering temperatures, says Deslauriers, is its ability to produce a glycerol-like antifreeze, much like that in an automobile. Explains Deslauriers: "How else but with NMR could scientists examine a cell chilled to  $-20^\circ\text{C}$ ? Is everything really frozen inside the cell? Without NMR, we would still be formulating hypotheses."

This ability to quantify substances within cells, and to determine chemical changes without destroying or otherwise affecting an organism is the true revolutionary feature of NMR spectroscopy, and the reason

for medical researcher David Damadian's enthusiasm. He feels that nuclear magnetic resonance spectroscopy will help transform medicine into a much more quantitative discipline, to establish it more firmly as a branch of science in its own right. During the last few years, the international press has played up the medical applications of NMR spectroscopy, in particular its capacity to do whole-body imaging.

In 1973, Paul C. Lauterbur, a professor of chemistry and radiology at the University of New York in Stony Brook, showed that NMR could be used to provide images of biological samples when properly complemented by computer analysis. The technique relies on the fact that the amount and 'mobility' of water in



*Inside a glass tube, the perfused liver of a mouse suffering from malaria. The bubbles at the top of the tube indicate normal circulation of the constantly reoxygenated perfusate. The tube will be placed inside a probe for NMR spectroscopic analysis.*

the various body tissues differ, and this can be detected by NMR. The first machine large enough to accommodate a human being and developed sufficiently to analyze individual organs was designed by David Damadian in 1977. Since then, it has been consistently upgraded. According to Dr. Ian Smith, this technique represents a diagnostic tool that complements X-ray scanning. Where X-rays can only reveal the more opaque parts of the body like bones, NMR can be used to

observe the soft tissues. Most of the human body's organs fall into this category. For example, NMR can give detailed images of brain configuration, with very sharp resolution. It is also possible to identify the exact location of aneurysms (dilations of artery walls whose breakdown leads to cerebral hemorrhage), the exact shape and location of small tumours, or various forms of abnormal cerebral metabolism.

In essence, NMR imaging provides an outline of the quantity and chemical nature of the hydrogen atoms in tissues. It can therefore be used to distinguish between normal and abnormal brain configurations, and it should some day be possible to detect forms of mental disease which are grounded in the brain chemistry, as well as to monitor and regulate the effects of medication. Several Canadian hospitals already have NMR imaging equipment. The main problem is not to find the huge sums needed to finance the equipment, however, but to recruit spectroscopists to run it. This is still an experimental technique which is quite expensive, and which many feel duplicates in part existing technologies such as ultrasound and X-rays.

We asked Dr. Smith how information transfer was being achieved in this area. "Through the literature for a start," he answered. "That's the least efficient method. Another source is cooperation among institutions of applied research."

The Heritage foundation of Alberta will be financing similar research in an Edmonton hospital. As far as is known, NMR techniques do not represent any threat to animal or human health. No side effects have as yet been observed in researchers or patients exposed to the strong magnetic fields generated by NMR equipment. The situation is being monitored very carefully by experts, however, since long term effects are unpredictable.

Developments in computer science and nuclear physics have led to nuclear magnetic resonance spectroscopy. As a tool for research and medical diagnosis, NMR is raising high hopes, and could in turn lead to new breakthroughs in other fields of science and technology. ☺



# A Spot Check

Does the sun  
change its spots?

**S**olar astronomers have detected something new and unsuspected in the behaviour of the sun. Sunspots were once thought to appear randomly. Now, it seems they are driven by a repetitive pattern of magnetic activity that causes them to form in the same locale over extended periods of time. The discovery was made by a team of astronomers from Canada, the Netherlands, and the United States, and is expected to have a strong impact on theories of solar magnetism.

Says NRC's Dr. Vic Gaizauskas, a senior member of the team: "We weren't looking for this — it was the perfect serendipitous find. Almost as an exercise, we decided to put together some synoptic maps of the sun's magnetic disturbances. These

---

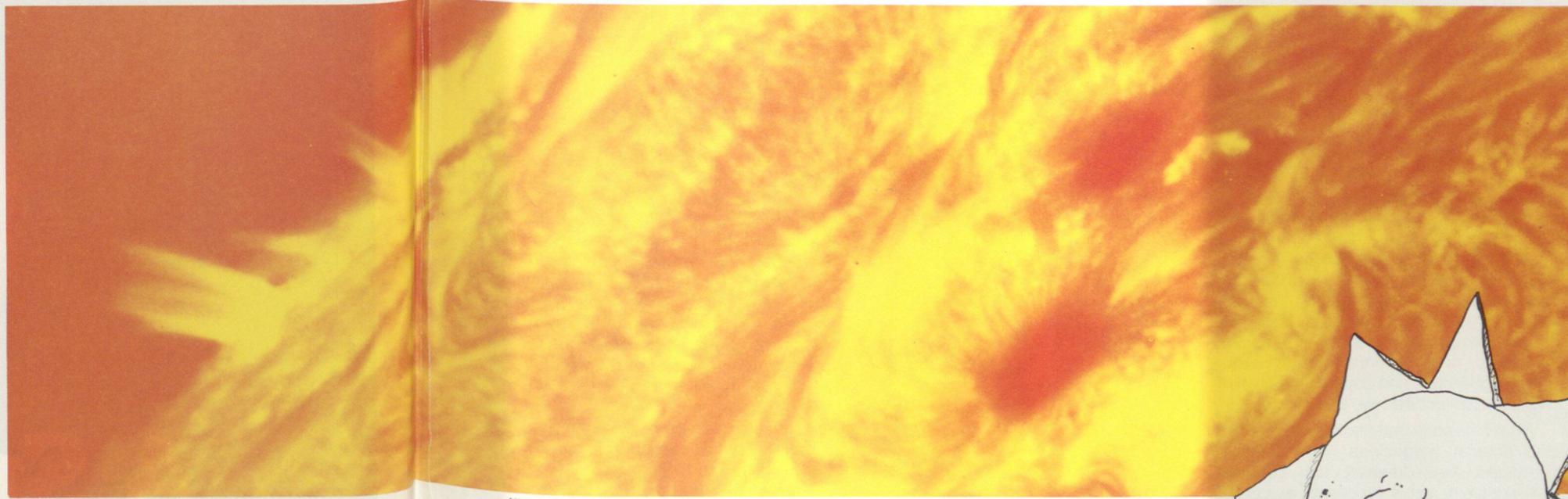
*by Stephen A. Haines*



*Vic Gaizauskas examines the data from Kitt Peak. "This find is going to make a lot of solar astronomers review their thinking on solar physics."*

maps are rather like the weather maps published in your daily newspaper. By fixing a point on the sun as a base line, we can map changing conditions over long timespans. With the new instruments and techniques available at the Kitt Peak National Observatory in Arizona, our team assembled maps depicting 27 solar rotations — covering a period of about 2 years — which recorded the strength and polarity of the magnetic fields associated with sunspots."

Gaizauskas explains that the records of strength and polarity are then used to make a photograph-like image of either pattern. Polarity is indicated by black or white (for positive or negative polarity) and field strength also is indicated by gradations of black and white. The resulting image looks like coal dust and sugar scattered over a grey tablecloth, with concentrations of black and white which indicate the locations of magnetic activity. Sunspots, when they appear, occur in association with these magnetically active regions. The team's pictures of these regions demonstrated that an unusual process must be occurring below the sun's surface — a process totally new to theories of solar mechanisms. "After so many years of studying the sun," says Vic Gaizauskas, "these images indicate that we still don't know very much about what's going on under its surface."

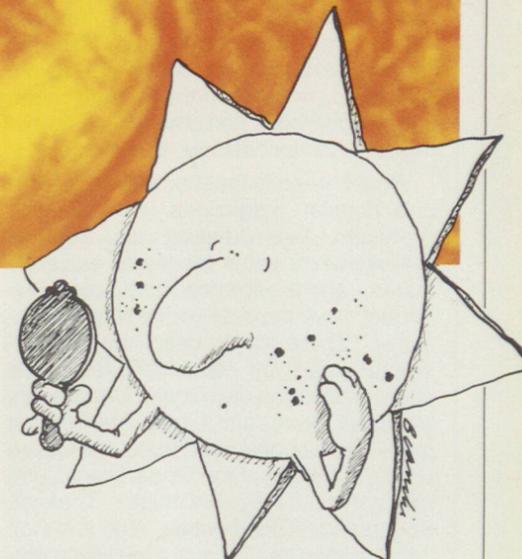
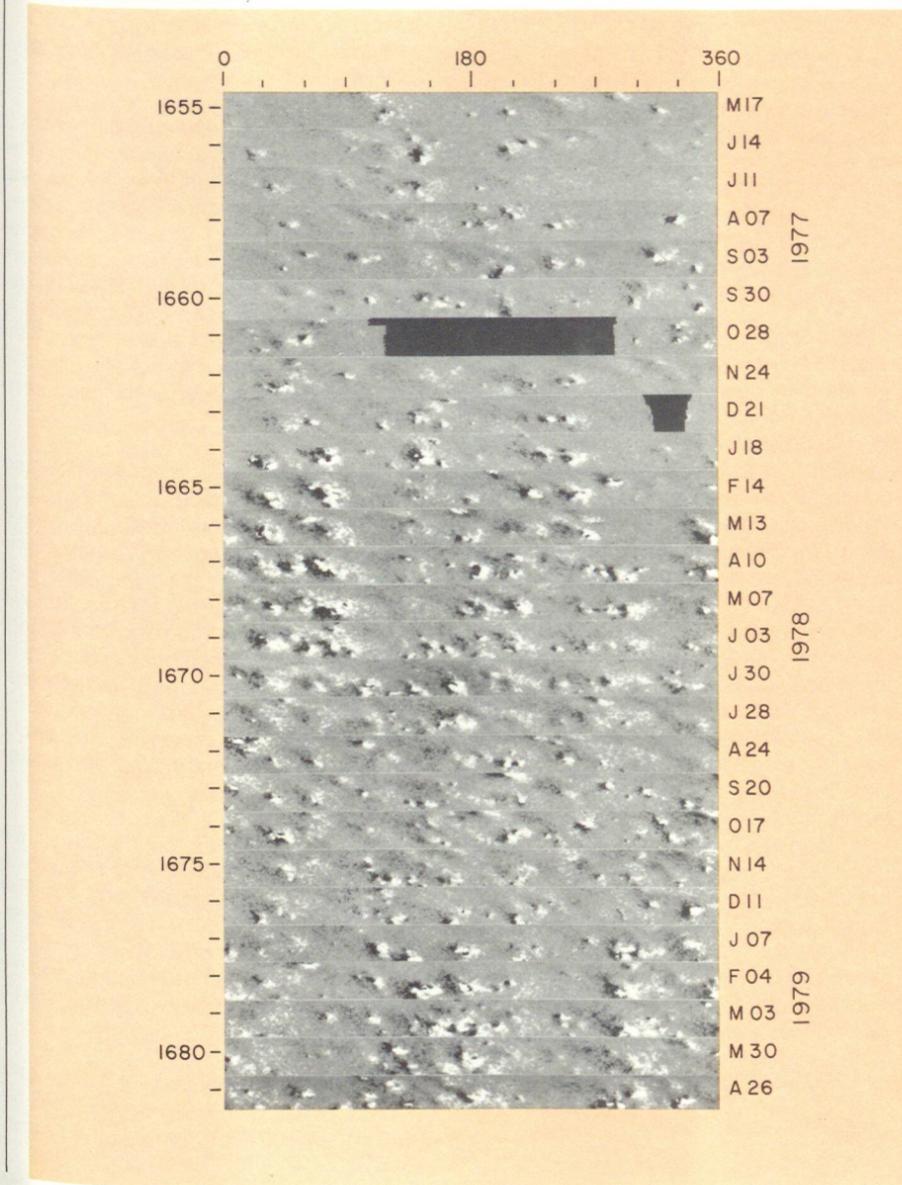


*The nearest star, the sun, has been studied for almost four centuries, but still produces surprises.*

Galileo's discovery of sunspots in 1611 began the science of solar physics — the understanding of the workings of our stellar host. Thought by the ancients to be a ball of molten iron, the sun was considered to be pure and unblemished until Galileo's announcement that he had observed "spots" on the surface. Nearly 250 years passed before a regular variation in spot population — the 22-year "sunspot cycle" — was deduced by Heinrich Schwabe, an amateur astronomer. Later, the discovery that sunspots possessed a magnetic field led scientists to associate them with local eruptions of distorted field lines.

"Unlike the earth," says Gaizauskas, "the sun doesn't rotate rigidly about its axis." Instead, the equator completes a circuit well ahead of the high latitudes. Most solar astronomers believe this "differential rotation" twists the magnetic field lines beneath the surface. Some also think the core spins faster than the outer layers, compounding the stress on the field lines. This model suggests the twisted field lines form "buoyant knots" deep in the convection layer near the sun's core. When their buoyancy raises them to the solar surface we see them as sunspots. Because new spots may emerge while old ones are dying away, the two

Kitt Peak National Observatory



*Each strip in this diagram is an image of the sun's magnetic flux from 10° to 40° N latitude. The patchy areas are sunspots, both emerging and developed, and the similarity of position is readily apparent.*

were considered independent of each other. But now that this new pattern of local repetition has come to light, the old theories of the mechanics of the magnetic loops will have to be reconsidered.

Gaizauskas says they were staggered to realize that the sun somehow remembers to keep forming these active regions at practically the same location for months on end. Great areas of magnetic stress appear to be sustained in a wave-like pattern, with about eight crest points on the solar surface. These patterns suggest the sun is sending a message of fundamental importance about long-duration circulation systems in its interior. "We hope to learn more about this by extending the time span of our study and accumulating more information covering the peak of the sunspot cycle, as well as the period of 'the quiet sun.'" ☾

# SUZUKI

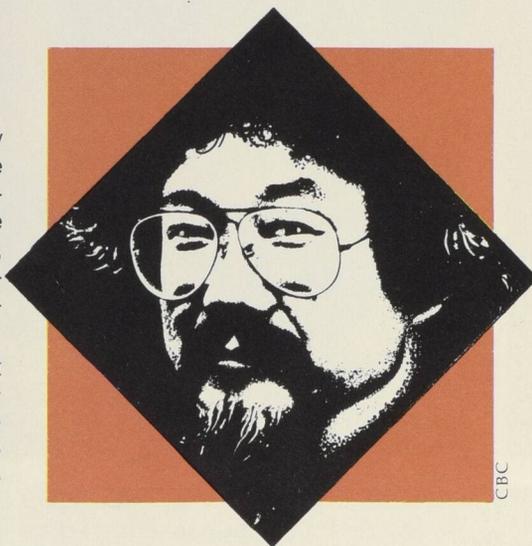
## Science Communication — too little signal, too much noise

One of the puzzling paradoxes of society is that, in all of human history, today we have the highest level of literacy, the largest number of university graduates, the greatest exposure to books, television, and radio, and yet there remains widespread ignorance and superstition involving science, technology, and medicine.

What I mean is that there are excellent and popular magazines like *Scientific American*, *New Scientist*, and *Science '84* available, yet a far larger audience learns about science and medicine through newspapers like *The National Enquirer*. There have been many best-selling books by established scientists such as Stephen Jay Gould, Carl Sagan, Margaret Mead, and Lewis Thomas, yet many more people read about Uri Geller, UFO's, Chariots of the Gods, Plant Communication, the Bermuda Triangle, Spontaneous Combustion, Worlds in Collision, and so on. There are television programs like *Nova*, *Horizon*, and *The Nature of Things*, yet far larger audiences watch *That's Incredible*, *In Search of*, and *What Will They Think of Next*.

I began appearing on television and radio 21 years ago in the belief that, by informing people about science, by providing them with more information, I could help them to deal with the powerful forces of science and technology. Today, I am far less sure of this as I realize that we are *awash* in information. We have information coming out of our ears; we are hooked on information. The problem is that there is an enormous amount of "noise" in this information, by which I mean "junk" or "garbage."

In science, we know that most of what is published will be considered insignificant, irrelevant, or incorrect in five years. The problem for scientists is to decide what, in that huge pool of published data, is worth remembering or doing something about. Of course, we do have a number of clues to follow here: some journals are better than others; some authors are better; some research institutions are better; and, oh yes, some of the experiments performed are better. I can't imagine a more critical and skeptical (some say cynical) group than scientists — we want to see the data ourselves, we want to decide



what conclusions are valid, and we are very quick to dump all over a poorly conceived and executed experiment. That, to me, is the great strength of scientific activity — we demand *evidence* and we evaluate it. And that attitude is the most important gift we in science can provide to the general public.

As a teacher, I encounter a lot of students who tell me about a new "breakthrough" in cancer, life extension, alternate energy, and so on. And often, when I ask how they know, they'll reply that they saw it on TV or read it somewhere. What concerns me is the ease with which a report is accepted and repeated as a truth simply *because it exists* as a statement in the electronic or print media. Indeed, we often pass on, as if it were true, the latest diet, jogging trick, or vitamin therapy that someone else tells us about. I find that a lot of people take massive doses of vitamin C when a cold threatens, but few have ever read an article on the pros or cons of Linus Pauling's ideas. (Pauling considers vitamin C to be a wonder drug.) I find, in groups that I speak to, virtually everyone has heard and believes that we only use a part of our brains (anywhere from 20 to 80 per cent). The implication here is that, over a million years ago, our ancestors evolved this organ with vast empty spaces to be filled at a much later date. But the brain only makes up about 2 per cent of body weight, yet consumes 20 per cent of its energy, which is quite a burden to carry around for future generations. Yet, this is a widely accepted social "truth."

During discussions with friends, I have been shocked to be told that I'm being "too scientific" when I ask them "what are the numbers?" or "what's your evidence?" to back up a statement. It's as if the demand for quantitative evidence is not relevant in day-to-day conversation. And so people feel free to cite anecdotes as corroboration for sweeping generalizations. I've heard such things as:

"Marijuana is safe. I've smoked three joints a day for years and it hasn't affected my grades."

"If you believe scientists, to get cancer from saccharine we'd have to drink 10 000 bottles of Tab a day."

"Edgar Mitchell, the astronaut, says ESP is a fact."

It's hard to avoid extrapolating from a personal experience to a conclusion (I've been doing it myself in this column), yet that's the basis for many of our prejudices about racial groups, the sexes, or socio-economic groups. And it leads us, without any evaluation to try the latest fads: to get rid of cellulite, to slim, or stay young. It becomes far more critical, however, when we must decide on matters like nuclear energy, defense policy, or pollution control.

I have come to the unhappy conclusion that my efforts to convey more information through the electronic media may have simply exacerbated society's problems by adding to the morass of available information. I hope in the future that educators will distinguish between informing youngsters about the body of techniques and ideas in science, and the much more relevant lesson for daily life in our information society: namely, the critical scientific approach, the demand for primary data and quantification.

But that's not easy. In our daily lives, we only have our personal experiences on which to draw conclusions about the world around us. Valid generalizations require a larger body of experience and a critical assessment of its contents, and for anyone not familiar with science, that's not always easy.

I think the biggest challenge — and hope — rest with the way science will be taught in the grade schools in the future. 

Continued from page 2

described before. I call it "folding." The Inuit were able to hot-hammer small fines of native copper into thin sheets about the size of a large postage stamp, fold them over as if they were paper, then hot-hammer them again to make them into tangs (tips) for projectiles. We could follow the process in the microstructure, and see how people who probably did not know what metal was, at least in our conceptual sense, use native copper as if it were a very soft stone. They combined stone techniques and leather techniques in a most admirable way to make use of specific properties of the metal without going through a smelting or melting process.

**Science Dimension:** What was it that first drew you toward the study of ancient materials?

**Franklin:** I got interested quite a long time ago when people at the Royal Ontario Museum asked for my help in authenticating objects. My colleagues at the University of Toronto and I became more involved in the study during the 1960's. I began a systematic study on the materials in the Museum's Chinese collection. As a metallurgist, of course, I was most interested in the beginning of Chinese bronze casting, and in metallurgy generally.

In the beginning, we were providing supplementary services to archaeologists. But, an increase in our usefulness came when I began to collaborate with Dr. R.G.V. Hancock at the "Slowpoke" facility, doing neutron activation analysis of ancient pottery excavated by ROM staff members. Linking up interested colleagues and the various facilities of the University has allowed us to make a real contribution on an international level. We have built up an interdisciplinary group which can bring the scientific tools together in a coordinated way. Now, we have a number of joint research projects, looking at the technology of metals and pottery.

Our formal group is called "Collegium archaeometricum," a name I coined as an analogy to the chamber music groups called "Collegium musicum," which were based on collaboration of highly skilled players. We are now one of the top half-dozen groups in the world, and hope to host an international symposium on archaeometry in Toronto in 1987.

**Science Dimension:** What specific projects are you working on now?

**Franklin:** We have been doing a fair amount of work on historic and prehistoric slags, because the by-products of metal production, like the waste from ceramic kilns, can tell us much about processes and the ingenuity of the artisans.

One of my associates is deeply concerned with the statistics of materials evaluation. As the new discipline matures, questions of standardizing and clarifying methods are becoming more urgent and absorbing.

**Science Dimension:** Apart from expanding our appreciation of the skills of our ancestors, what do you think archaeometry will contribute to the collective wisdom of contemporary humanity?

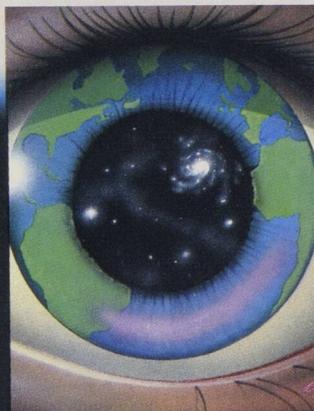
**Franklin:** We are gaining a vastly enhanced understanding of economic and social processes. In many ancient societies, for instance, the division of labour was, basically, according to product. Some people made the utilitarian pots, others made the good pots; some made the pins, others the needles. Very early, between 1500 and 1200 B.C., it appears that the roots of a different division of labour were laid down in China. It was a division according to process. The way bronze was cast directly into piece molds meant that the division of labour was according to the phase of a process. In the West, this only came around the beginning of the industrial revolution, although the Romans had similar methods of organization which got lost in the intervening centuries.

For the Chinese, this meant a high degree of prescriptiveness. People had to work to specifications because they had to hand things on to the next person in the phase. This put two things into the social pattern. One, it was considered normal for a task to be broken up among people, and two, it was considered normal to comply with control and direction. When I began to understand Chinese bronze technology, my conclusion was that it could only flourish in the way that it did when there was a milieu that accepted a high degree of planning and direction. I think that such considerations can illuminate why Chinese society remained so stable for such a long time, and, perhaps, how in the end it got strangled by its own bureaucracy and control, which left too little room for innovation. Our compliance with a certain technology, not only with what it does, but also with what it prevents, is a consideration that we must address ourselves to today. As our own technology grows more specialized and prescribed, and cuts out improvisation and tinkering at the workplace, it eliminates a lot of new thoughts and ways of doing things.

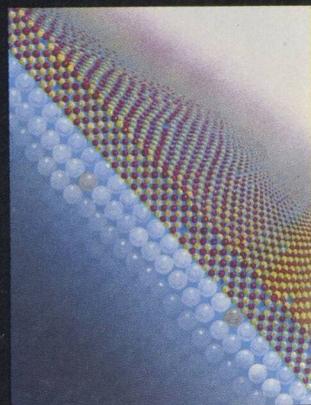
When one studies ancient artifacts, at times there is the sensation of looking over the shoulders of people who were often superbly good artisans and one can almost sense what was on their minds. It is perhaps ironic that science, which is sometimes said to be dehumanizing, is bringing the human considerations of ordinary people's abilities and imagination back into history — a record so long dominated by the actions of the high and the mighty. ☾

Canada

# GRAB A FREE YEAR OF SCIENCE DIMENSION



Send in the  
reply card on  
the inside and  
get six free issues  
of the best  
and newest in  
Canadian research.



Canada Post	Postes Canada
Bulk Third Class	En nombre Troisième classe
K1A 0R6 Canada	

Changing your address?  
We need the number  
printed on the upper right  
of your mailing address  
label to make the  
change on our  
computer.

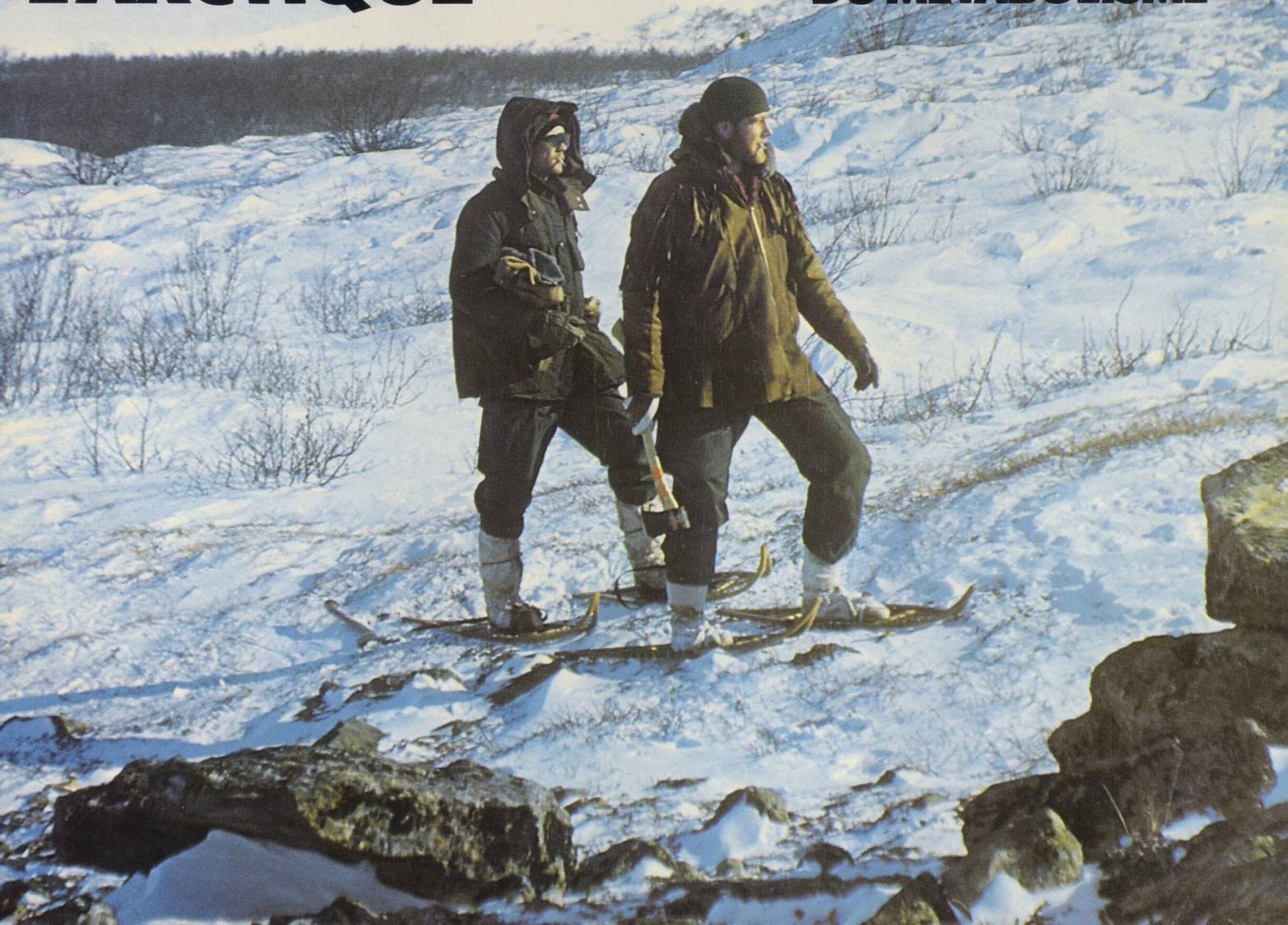
# DIMENSION SCIENCE

1984/2

**L'ODYSSÉE  
CANADIENNE  
DE  
L'ARCTIQUE**

**GARE À LA PLUIE  
RÉCURRENCE DES  
TACHES SOLAIRES**

**L'EXPLORATION  
DU MÉTABOLISME**



## URSULA FRANKLIN: REGARD SUR LE TRAVAIL DES ARTISANS DE L'ANTIQUITÉ

Les artefacts que les sociétés antiques nous ont légués recèlent des secrets d'autant plus fascinants pour les scientifiques d'aujourd'hui que la science moderne des matériaux leur fournit des techniques perfectionnées pour satisfaire leur curiosité. Ces techniques leur permettent de dater les objets anciens, de déterminer leur composition et leur méthode de fabrication et de reconstituer les circonstances qui ont entouré leur production et leur commerce. Cette activité a pris tellement d'ampleur qu'elle est en train de donner naissance à un nouveau domaine de spécialisation: l'"archéométrie", ou "la science qui s'intéresse à tout ce qui est mesurable en archéologie".

Le Dr Ursula Martius Franklin, qui s'intéresse depuis toujours à la nature des matériaux, est l'un des pionniers du Canada dans cette nouvelle discipline et ses travaux bénéficient d'un appui financier du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie. Après avoir obtenu son doctorat en physique expérimentale à l'Université de Berlin en 1948, elle vient au Canada et travaille à l'Université de Toronto où elle détermine l'âge des roches par leur teneur relative en thorium et en uranium.

Elle entre ensuite à l'Ontario Research Foundation, où elle se consacre pendant plusieurs années à l'organisation de services de radiographie et de cristallographie pour l'étude des propriétés des matériaux industriels.

À partir de 1967, elle enseigne au département de métallurgie et de science des matériaux de l'Université de Toronto, d'abord à titre de professeur adjoint, puis de professeur titulaire. Nommée attachée de recherche au Royal Ontario Museum (ROM), elle applique les techniques modernes à des matériaux aussi anciens que les bronzes chinois du musée et commence à s'intéresser sérieusement au passé.

Honneur qui échoit pour la première fois à une femme, le Dr Franklin est invitée à donner la conférence 1982-83 de l'Institut canadien des mines et de la métallurgie. Mariée et mère de deux enfants, elle participe activement à des mouvements en faveur de la femme, de la paix et de la protection de l'environnement. Elle a été membre du Conseil des sciences du Canada, assurant la présidence de son comité sur les implications d'une société de conservation, et a fait partie du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie. En 1982, elle a été nommée Compagnon de l'Ordre du Canada et sert actuellement au sein du Conseil national de recherches.

**Dimension Science:** En appliquant les techniques d'analyse de la technologie moderne aux objets anciens, vous avez sans doute aidé les archéologues et les historiens à raffiner leur interprétation du passé.

**Franklin:** Au cours des trois dernières décennies, l'impact des sciences exactes sur l'étude des matériaux antiques est



Steve Behal

allé en s'accroissant et le Canada a joué un rôle significatif dans cette évolution. Nous disposons aujourd'hui d'excellentes techniques d'analyse des objets précieux qui ne requièrent qu'une infime partie de la matière qui les compose, et ne les défigurent pas, et il existe beaucoup de méthodes d'investigation qui n'ont aucun effet destructif.

Nous découvrons ce que les gens *faisaient*, ce qui contraste souvent avec ce qu'ils ont *dit* d'eux-mêmes ou ce que l'on a dit d'eux. Jusqu'à tout récemment, on se préoccupait très peu d'extraire des matériaux leur contenu historique. En revanche, nous avons soigneusement conservé et interprété les témoignages écrits tout en sachant qu'ils sont sélectifs. Les livres sont écrits pour des raisons particulières. Ils peuvent être révisés ou même brûlés. Mais des matériaux comme les métaux, la céramique, le verre et même les textiles, le papier, le bois et la pierre nous livrent un contenu historique bien moins censuré.

Ce nouveau domaine de recherche mobilise les meilleures ressources offertes par la science moderne des

matériaux, la physique, la géologie et la chimie analytique pour nous aider à trouver une réponse aux questions que nous nous posons sur l'histoire de la technologie et son impact social; il nous permet d'examiner notre mode de vie sous un angle différent.

**Dimension Science:** Pouvez-vous nous donner un exemple de l'application de ces techniques?

**Franklin:** Nous avons eu l'occasion de voir comment on travaillait le métal au Pérou, il y a 1000 ans, lors de l'exposition "L'or des dieux" présentée au Canada il y a plusieurs années. Nous avons examiné des pendentifs et d'autres objets décoratifs en métal originaires du nord du Pérou pour essayer de retracer le développement de la métallurgie et des procédés de fabrication. À part les observations traditionnelles sur le type et le style des objets, nous avons mesuré l'épaisseur du métal au moyen d'un micromètre. Pour protéger les objets étudiés contre les égratignures, nous nous sommes servis du papier utilisé pour le nettoyage des surfaces optiques. Les Péruviens maîtrisaient l'art de produire des feuilles d'épaisseur uniforme. Nous avons examiné des microcoupes d'objets au microscope électronique à balayage et au microscope optique, et nous avons analysé les procédés de fabrication par rayons X.

Les Péruviens excellaient dans la création d'objets dont la surface ressemblait à de l'or pur, mais qui étaient en fait des alliages contenant du cuivre et de l'argent. Ils utilisaient une



Conseil national  
de recherches Canada

National Research  
Council Canada

# DIMENSION SCIENCE

VOLUME 16, N° 2, 1984

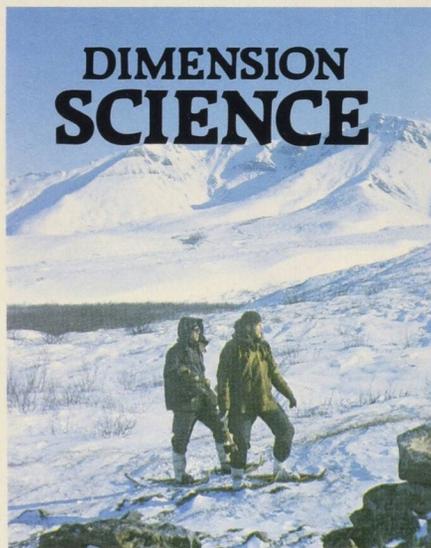
Rédactrice en chef Madeleine Vaillancourt  
Chef de la production Margaret E. Shibley  
Conception graphique Jean L. Richard  
Réalisation graphique Carisse Graphic Design Ltd.  
Coordonnateur de l'impression Robert Rickerd  
Imprimé au Canada par Imprimerie Beauregard Ltée.

31159-2-1019

---

<b>Profil</b>	<b>2</b>
<hr/>	
<b>Capsules</b>	<b>4</b>
<hr/>	
<b>L'épopée du pergélisol</b>	<b>8</b>
Les pionniers de la recherche sur le pergélisol au Canada	
<hr/>	
<b>Scruter la pluie</b>	<b>17</b>
Comment elle s'acidifie dans l'atmosphère	
<hr/>	
<b>La RMN</b>	<b>25</b>
Une technique nouvelle pour l'exploration du métabolisme	
<hr/>	
<b>Lumière sur les taches solaires</b>	<b>31</b>
Des cartes solaires révélatrices	
<hr/>	
<b>Suzuki</b>	<b>34</b>

---



Roger Brown

Notre couverture:

*Chaussés de raquettes, Roger Brown (à gauche) et Hank Johnston, du CNRC, explorent le pergélisol de la région du delta du Mackenzie en 1954, à la recherche de l'emplacement de la future ville d'Inuvik. Pendant les trente années qui ont suivi, Brown et Johnston ont amassé sur la nature du pergélisol une masse de connaissances qui font aujourd'hui autorité dans le domaine. Pour les bâtisseurs du Nord canadien, leurs travaux ont une valeur inestimable. Voir article p. 8 .*

La revue *Dimension Science* (ISSN 0715-7509) est publiée six fois l'an par le Service de l'information et des relations publiques du Conseil national de recherches du Canada. Les textes et les illustrations sont sujets aux droits d'auteur. La reproduction des textes, ainsi que des illustrations qui sont la propriété du Conseil, est permise aussi longtemps que mention est faite de leur origine. Lorsqu'un autre détenteur des droits d'auteur est en cause, la permission de reproduire les illustrations doit être obtenue des organismes ou personnes concernés. Pour tous renseignements, s'adresser au rédacteur en chef, *Dimension Science*, CNRC, Ottawa (Ontario), Canada, K1A 0R6. Téléphone: (613) 993-3045. Cité dans l'Index de périodiques canadiens. Cette publication est également disponible sous forme de microcopies.

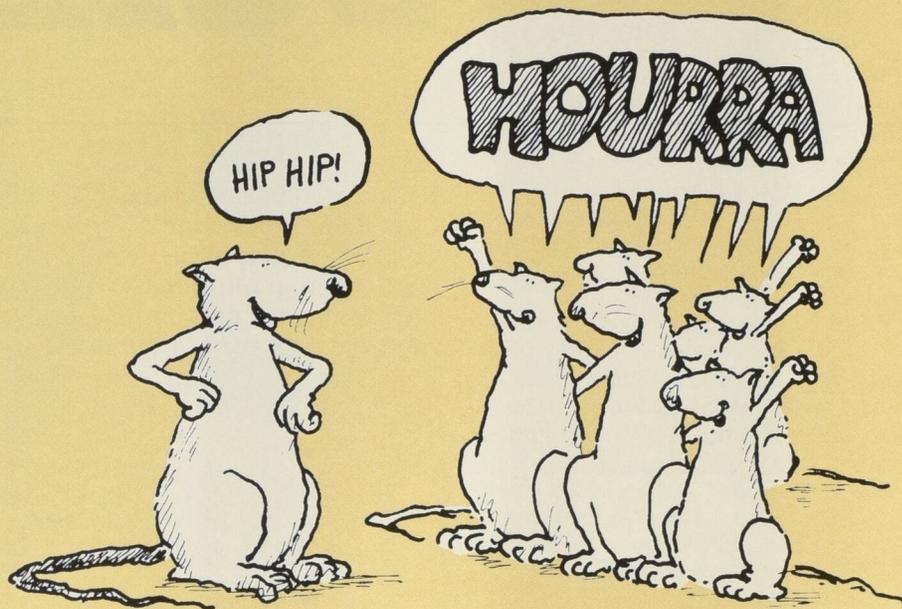
This publication is also available in English, under the name *Science Dimension*.

# Capsules

## À l'affût des promoteurs

Voici de bonnes et de mauvaises nouvelles pour tous ceux qui s'intéressent aux promoteurs tumoraux. D'abord les bonnes nouvelles: les chercheurs du Groupe de physiologie cellulaire de la Division de biologie du CNRC pensent avoir trouvé une méthode rapide et peu coûteuse pour identifier ces agents qui favorisent la formation du cancer dans certaines conditions. Passons maintenant aux mauvaises: ces promoteurs sont peut-être tellement communs, allant de la caféine à certaines hormones de notre organisme, que la méthode ne présenterait finalement que peu d'intérêt.

La mise au point de cette technique ne constitue que la première étape d'une étude plus ambitieuse des mécanismes biochimiques des promoteurs tumoraux entreprise par le Dr Alton Boynton. Selon ce chercheur, qui a procédé aux tests, les substances cancérogènes représentent un problème plus grave. Une substance cancérogène est un produit chimique qui, on l'a démontré, transforme des cellules normales en cellules cancéreuses, mais qui met parfois des années, voire plusieurs dizaines d'années pour induire le cancer, ou se contente d'amorcer au sein de la cellule le processus qui y conduit sans achever son oeuvre. C'est à ce stade que le promoteur tumoral entre en jeu. Il peut accélérer le processus en question ou transformer une cellule "amorcée" en une cellule cancéreuse. Dans les deux cas, comme le fait remarquer le Dr Boynton, pour avoir un effet, le promoteur doit arriver à une étape spécifique du processus cancéreux.



La méthode utilisée pour détecter les promoteurs (également applicable aux substances cancérogènes) se fonde sur le fait que, contrairement aux cellules normales, les cellules cancéreuses prolifèrent dans un milieu pauvre en ions calcium et sur le postulat que seuls les promoteurs peuvent déclencher la multiplication cellulaire. On met donc ledit produit chimique en présence des cellules "amorçées" en milieu hypocalcique.

Les résultats obtenus jusqu'à présent semblent prometteurs. Boynton confie que le groupe a déjà testé environ trente composés et qu'il attend les résultats des tests de trente autres composés. Les vingt-cinq promoteurs déjà identifiés et testés ont tous déclenché une prolifération anarchique des cellules. Parmi ceux-là, citons la caféine, la saccharine et des hormones comme la calcitonine et la parathormone.

Boynton se propose maintenant d'étudier davantage les produits chimiques qui déclenchent la prolifération cellulaire dans l'espoir de découvrir leur mécanisme d'action précis. Quant à la méthode de détection des promoteurs, il soutient que celle-ci nécessitera une recherche plus approfondie avant de pouvoir remplacer les méthodes plus longues et plus coûteuses où l'on expose des animaux vivants aux produits que l'on veut tester. Mais il pense peu probable qu'une telle méthode soit utilisée pour réglementer les promoteurs tumoraux, parce que ceux-ci sont trop communs et qu'ils ne sont pas nocifs en soi. Ce sont les substances cancérogènes, qui amorcent le processus cancéreux et souvent le mènent à terme, qui présentent, selon lui, le plus grand danger.

*Peter Dockrill est un rédacteur indépendant d'Ottawa.*

## Un vibrant concert

Le personnel d'une arène d'Ottawa, qui craignait que les vibrations transmises au plancher lors de concerts rocks n'aient des conséquences fâcheuses, a demandé à un expert de la Division des recherches

en bâtiment du CNRC, Gerry Pernica, de mesurer leur ampleur pour s'assurer que la sécurité des spectateurs des gradins et des techniciens travaillant en dessous n'était pas menacée.

C'était la première fois qu'une telle étude était entreprise au Canada. Seule la Grande-Bretagne a déjà procédé à une étude similaire: un cher-

cheur a mesuré les vibrations provoquées par des spectateurs qui dansaient le "pogo" — forme de danse où les participants sautent sur place au rythme de la musique — lors d'un spectacle des Who, à Édimbourg.

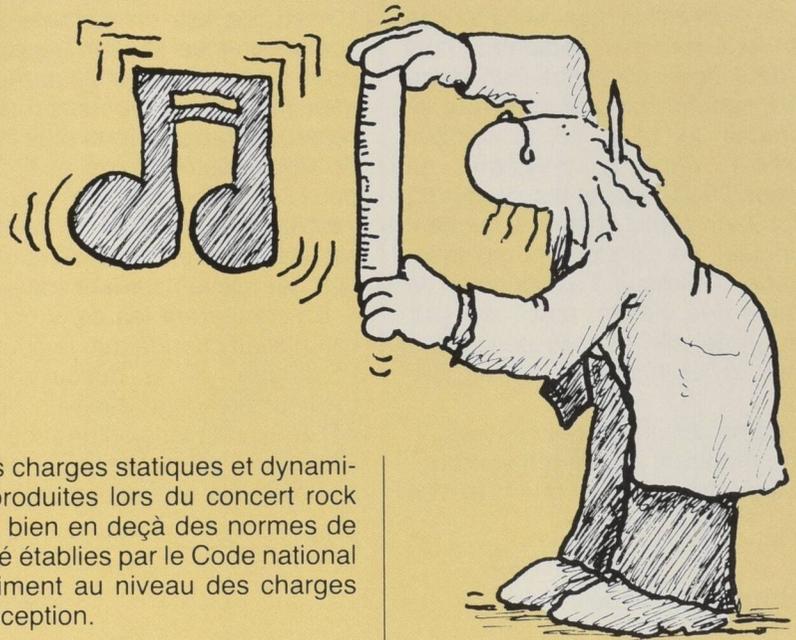
Pernica a profité d'un spectacle de trois heures des Dooby Brothers à Ottawa pour recueillir des données

sur les vibrations du plancher au moyen de capteurs, ou accéléromètres, qu'il avait fixés aux poutres supportant les gradins. On travaillait à guichets fermés ce soir-là et, envoûtés par la musique, les spectateurs se sont mis à danser, à sauter et à battre du pied en cadence, et les fondations ont commencé à vibrer de façon perceptible. Pernica rapporte que, de son poste d'observation sous les gradins, il était plutôt inquiet de voir le plancher vibrer au-dessus de lui au rythme de la musique. . .

De retour dans son laboratoire du CNRC, il s'est empressé de dépouiller ses données et, connaissant les dimensions physiques des poutres de l'arène, de calculer la charge verticale à laquelle la structure avait été soumise. Celle-ci se compose de deux éléments: la charge statique, représentée par le poids des spectateurs assis dans les gradins, et la charge dynamique, qui correspond à la force d'impact résultant des sauts enthousiastes de ceux-ci.

Les ingénieurs ont toujours tenu compte, lors de la conception de bâtiments, de leur capacité à supporter des charges statiques mais, jusqu'à il y a environ dix ans, ils se souciaient peu des charges dynamiques, les bâtiments n'étant normalement pas soumis à la force exercée par des milliers de personnes sautant sur place en cadence.

Malgré les craintes et le fait que les supports des poutres de l'arène sont très espacés, ce qui en fait un plancher "élastique", Pernica a constaté



que les charges statiques et dynamiques produites lors du concert rock étaient bien en deçà des normes de sécurité établies par le Code national du bâtiment au niveau des charges de conception.

Il a également calculé que le rythme idéal pour la participation de l'auditoire (ni trop rapide ni trop lent) était de deux battements et demi par seconde, soit une fréquence de 2,5 Hz. Or, ce rythme coïncide avec la fréquence de résonance naturelle du plancher de l'arène, c'est-à-dire avec la fréquence à laquelle le plancher continuera à vibrer après un impact. Mais Pernica pense que même cet effet de résonance ne présente aucun danger. Ce type de planchers, ajoute-t-il, rend probablement la danse plus agréable à cause de son élasticité accrue.

Les gens ont tendance à croire que les bâtiments ne doivent pas bouger

mais, en fait, les structures vibrent continuellement, et une grande partie de ces vibrations sont si infimes qu'elles passent inaperçues. Ce n'est que lorsque les vibrations deviennent perceptibles que les gens commencent à s'inquiéter. Toutefois, Pernica maintient que, même lors d'un concert rock où l'on peut voir le plancher vibrer, les arènes que l'on trouve généralement dans nos villes ne présentent aucun danger sur le plan structural.

*Melanie Hudson est une rédactrice indépendante d'Ottawa.*

### Couleur, éclairage et santé

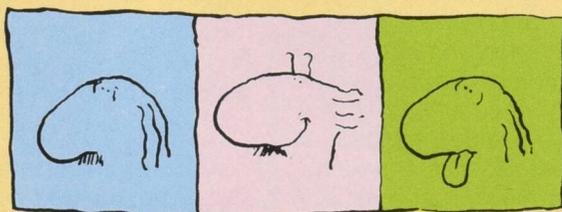
On décrit souvent les émotions en termes de couleurs: "broyer du noir" ou "voir rouge". La couleur exerce un effet sur la physiologie humaine, mais ce phénomène est beaucoup plus

complicé que la simple idée que le noir est une couleur "triste" et que le rouge est une couleur "agressive". Un professeur d'arts visuels de l'Université de l'Alberta vient tout juste de terminer une étude des effets de la couleur et de l'éclairage sur le per-

sonnel et les élèves de quatre écoles primaires de la région d'Edmonton. Il a découvert qu'une combinaison de couleurs "bénéfique" doit être complétée d'un "bon" éclairage pour avoir un effet maximal sur les personnes.

Grâce à une subvention du ministère de l'Éducation de l'Alberta, le Dr Harry Wohlfarth a pu créer différentes combinaisons de couleurs et d'éclairage dans quatre écoles de même type architectural et de populations scolaires semblables.

L'école témoin conserva la combinaison de blanc, beige, brun et orange ainsi que l'éclairage fluorescent, communs à beaucoup d'écoles canadiennes. Des trois autres



écoles, l'une fut peinte avec une combinaison de couleurs spécialement conçue d'après les résultats d'études antérieures sur les couleurs; dans une deuxième, on installa un éclairage à spectre intégral (celui qui se rapproche le plus de la lumière naturelle); dans la troisième, on changea l'éclairage et les couleurs.

Wohlfarth vérifia ensuite le quotient intellectuel, le rendement scolaire, l'attitude, l'humeur, l'assiduité et la conduite des élèves, ainsi que leur tension artérielle et celle des enseignants, et les niveaux de bruit ambiant.

Certains résultats préliminaires de l'étude montrent que la tension artérielle était sensiblement moins élevée

dans l'école où l'on avait changé la couleur et l'éclairage que dans l'école témoin. En fait, un membre du personnel a vu sa tension baisser à tel point qu'il put cesser de prendre ses médicaments hypotenseurs. Le niveau de bruit de fond était inférieur de 12% dans l'école qui avait subi les deux changements par rapport à l'école témoin. Wohlfarth attribue ce résultat à une plus grande concentration des élèves sur leur travail.

En comparant les deux écoles où l'on n'avait changé que la couleur ou l'éclairage, on a découvert qu'un meilleur éclairage avait un effet bénéfique sur la tension artérielle et sur l'humeur, alors qu'une meilleure combinaison de couleurs augmentait

l'assiduité et réduisait les écarts de conduite.

Wohlfarth estime que les effets de combinaisons harmonieuses de couleurs diminuent nettement lorsque l'éclairage fluorescent modifie les tons de couleur. Le jaune, par exemple, est considéré comme une couleur bien plus agressive que le bleu, mais ces couleurs ont toutes deux des nuances tantôt apaisantes, tantôt irritantes. Ainsi, un mauvais éclairage pourrait contribuer à faire "voir rouge" à des personnes qui fixent des murs bleus.

*Melissa Todd Anderson est une rédactrice indépendante d'Ottawa.*

## Carburant hybride

Depuis les embargos pétroliers du début des années 70, la réputation du pétrole comme "carburant miracle" s'est passablement ternie. Son coût croissant et l'incertitude des approvisionnements ont amené bien des pays à se mettre en quête de sources d'énergie de remplacement. Ceux-ci se sont intéressés, entre autres, aux énergies éolienne, solaire, marémotrice, nucléaire ou de fusion thermonucléaire.

On a également cherché des moyens d'utiliser des sources d'énergie locales abondantes mais non exploitées jusqu'ici. Ainsi, à la Division de génie mécanique du Conseil national de recherches, l'ingénieur Ray Billingham a récemment procédé à des essais en vue d'évaluer la performance d'un mélange carburant diesel-charbon dans un moteur de locomotive diesel. (Il s'agissait plus précisément d'un moteur à allumage par compression, ainsi nommé parce que le combustible s'enflamme par suite de l'échauffement produit par la compression plutôt qu'au moyen d'une bougie.) Ces essais visaient un double objectif: premièrement, réduire la quantité de carburant diesel nécessaire pour faire fonctionner le moteur et, deuxièmement, trouver un moyen d'utiliser les montagnes de "fines" (particules de charbon trop petites pour être utilisables) qui s'accumulent autour des sites d'exploitation minière.

Billingham avait prévu d'effectuer ces travaux en deux phases. Premièrement, il lui fallait déterminer si le mélange était accepté par le moteur, puis évaluer la qualité de la combustion.

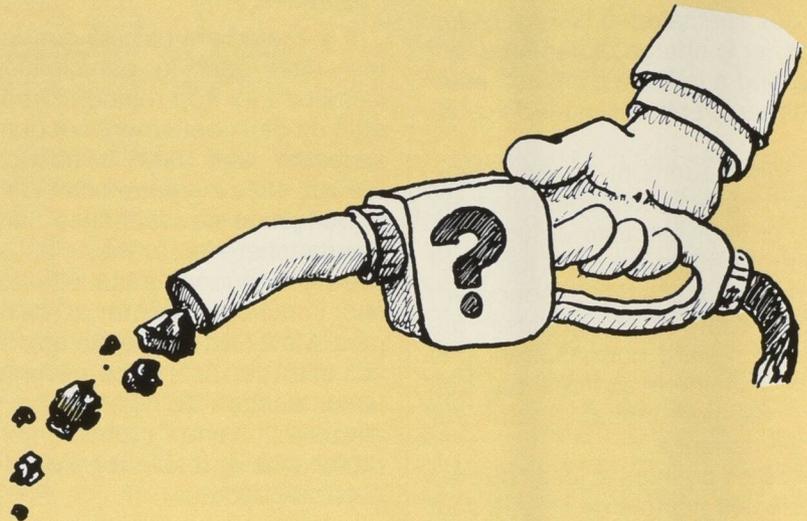
Malheureusement, les résultats de la première phase ne furent pas suffisamment encourageants pour justifier de passer à la deuxième. Billingham a constaté que le mélange, composé à 25% de charbon, endommageait les éléments du système d'injection du moteur. Parmi les plus gros problèmes rencontrés figuraient l'érosion des orifices de l'injecteur et l'usure de pièces mobiles critiques.

Le système d'injection d'un moteur diesel ne tolère que des jeux extrêmement faibles. De plus, ses surfaces de contact doivent être lubri-

fiées au moyen d'un carburant au plomb. Lors des essais, les particules de charbon du carburant hybride constituèrent un inconvénient certain puisqu'elles se comportaient comme des abrasifs, provoquant l'usure des éléments d'injection.

Après 113 heures de fonctionnement, la tête du piston de la pompe d'injection était usée au point où elle affectait sérieusement le taux d'injection du carburant. Au bout de 200 heures, les dommages causés étaient si importants que la pompe a complètement cessé de fonctionner.

Au cours de cette même période, le siège de soupape de l'injecteur, qui règle l'arrivée du carburant, montrait également des signes d'usure qui, combinée à l'érosion des orifices, a



causé un accroissement indésirable du taux d'injection du carburant.

L'érosion des éléments du système d'injection est particulièrement critique dans les moteurs à allumage par compression, qui exigent un réglage précis et uniforme de la quantité de carburant injectée. Le mélange carburant diesel-charbon a entraîné des modifications dans ces éléments

et rendu impossible le réglage précis de l'alimentation.

Billingham admet que pour qu'un tel mélange soit efficace dans un moteur de locomotive diesel, ou dans tout autre moteur diesel, il faudra d'abord mettre au point des éléments d'injection pouvant résister aux conditions imposées.

Même si l'expérience ne s'est pas

avérée un succès complet, sa valeur réside dans l'information qu'elle a permis d'obtenir, information qui ira grossir l'ensemble des connaissances dans ce domaine et qui aidera les chercheurs lors de futures expériences.

*Ed Bianchi est un rédacteur indépendant d'Ottawa.*

### La vision artificielle

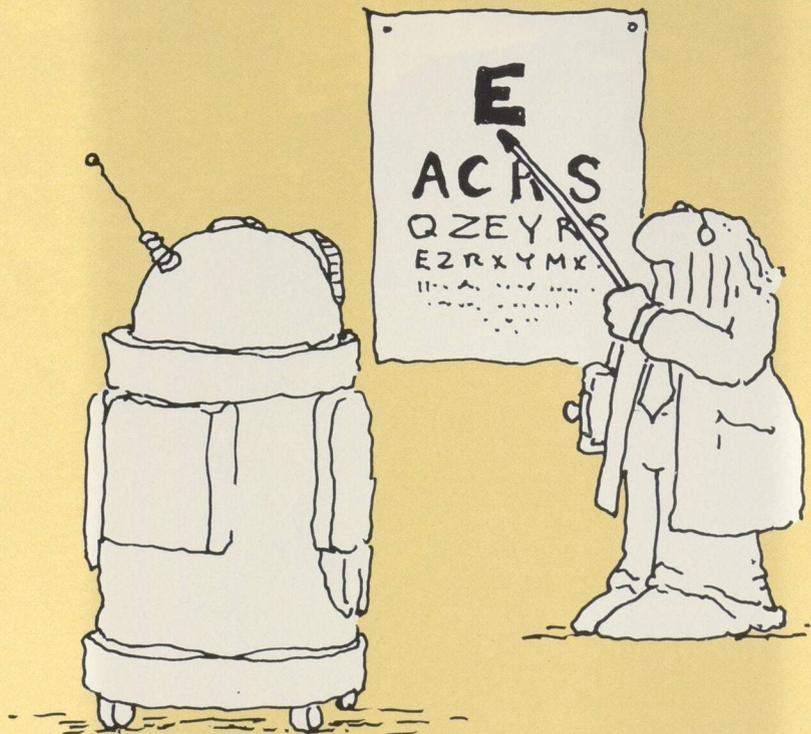
Les ingénieurs du CNRC essaient de guérir les robots industriels de l'infirmité dont ils souffrent: une mauvaise vue. On a en effet mis au point un nouveau système de vision tridimensionnelle, dont la démonstration a été faite à l'industrie canadienne. Combinant un rayon laser et un miroir rotatif, il fait appel à la triangulation (deux relèvements ou plus déterminent la position d'un point éloigné) pour former une image. Un ordinateur fait ensuite "tourner" l'image ainsi obtenue pour avoir divers angles de vue. Plus petit et plus souple que les autres modèles existants et ne nécessitant qu'un seul balayage pour former une image, ce système est plus rapide que ses concurrents.

La vue a toujours été le point faible des robots industriels parce qu'ils doivent utiliser des méthodes d'imagerie bidimensionnelles. Lorsque vous regardez la télévision (qui sert de base à de nombreux systèmes de vision artificielle), les images vous semblent "réelles" parce que votre cerveau a conservé dans sa mémoire les impressions des choses telles qu'elles doivent être. Ainsi, convenablement éclairé, un cylindre nous paraît rond parce que sa forme nous est familière, et ceci nous permet de le distinguer d'une boîte rectangulaire. Les systèmes de vision artificielle en sont incapables car pour eux une boîte de mouchoirs et un rouleau de serviettes en papier vus de côté se ressemblent comme deux gouttes d'eau: ils ont tous deux la forme d'un rectangle. Par conséquent, les pièces (d'un petit moteur, par exemple) qui sont assemblées par des robots industriels doivent leur être présentées de telle façon que leur système de vision puisse les reconnaître.

Une autre solution consiste à programmer la machine pour qu'elle reconnaisse un nombre limité d'orientations possibles de la pièce, mais c'est un processus coûteux et complexe. La vision tridimensionnelle permet au robot de choisir la bonne pièce parmi d'autres, de l'orienter correctement et de l'assembler à d'autres pièces. Grâce à sa vitesse de fonctionnement, le nouveau système permet également l'examen rapide et précis des pièces, avant et après le montage.

La vision artificielle a donné naissance à une industrie en pleine ex-

pansion. L'an dernier, le chiffre d'affaires du marché nord-américain s'est élevé à près de 20 millions de dollars, et l'on prévoit qu'il atteindra au moins dix fois ce montant d'ici la fin des années 1980. Plusieurs systèmes sont actuellement mis au point dans divers pays industriels. Si le Canada entreprend la fabrication de tels systèmes, il pourra améliorer sa productivité et, en même temps, s'ouvrir des marchés dans un domaine que les États-Unis et le Japon dominant depuis longtemps, celui de l'exportation.



*Il y a trente ans de cela, dans la région du delta du fleuve Mackenzie, deux jeunes hommes cherchaient tant bien que mal à faire tenir leurs corps trop grands dans une tente trop petite. Ils n'étaient pas seuls: un essaim de moustiques sanguinaires leur disputait l'espace qui restait. Tout au long de la brève et claire nuit arctique, ils s'aspergèrent de produit antimoustiques et se livrèrent à un massacre en règle, jurant qu'on ne les y reprendrait plus.*

*Lorsque Hank Johnston se remémore l'époque où lui et Roger Brown ont travaillé et voyagé dans le Nord canadien, il évoque de nombreuses scènes semblables à celle que nous venons de décrire. Aussi paradoxal que cela puisse paraître, l'inconfort et même les dangers auxquels les deux hommes s'exposèrent lors de leur première expédition commune dans le Nord ne firent qu'accroître leur attirance pour cette contrée inhospitalière. C'est à cette occasion qu'ils découvrirent ce à quoi ils allaient désormais consacrer leur vie: les vastes étendues arctiques seraient le point de convergence de leurs carrières, et le point de départ de leur amitié.*



# L'épopée du pergélisol

Roger Brown et Hank Johnston:

## Pionniers de la recherche sur le pergélisol au Canada

par Séan McCutcheon

Adaptation française: Line Bastrash

**A** lors qu'il est encore étudiant en géographie à l'Université de Toronto, Roger Brown a un premier contact déterminant avec le Nord: une croisière à bord du brise-glaces américain *Eastwind* transportant des vivres à destination des stations météorologiques de l'Arctique. Plus tard, lorsqu'il se met en quête d'un emploi après avoir obtenu un premier diplôme en 1952, il est embauché par la Division des recherches en bâtiment du Conseil national de recherches et se joint au groupe de recherches nordiques. Hank Johnston, qui a fait des études en génie civil à l'Université du Manitoba et participe à des projets de construction dans le Nord depuis déjà plusieurs années, est arrivé à la Division un mois ou deux avant son collègue. Bien que les deux chercheurs soient, par certains côtés, de tempérament opposé — Roger étant vigoureux et volubile alors que Hank est plutôt paisible et peu loquace —

ils partagent une même fascination pour le Nord et se lient rapidement d'une amitié durable.

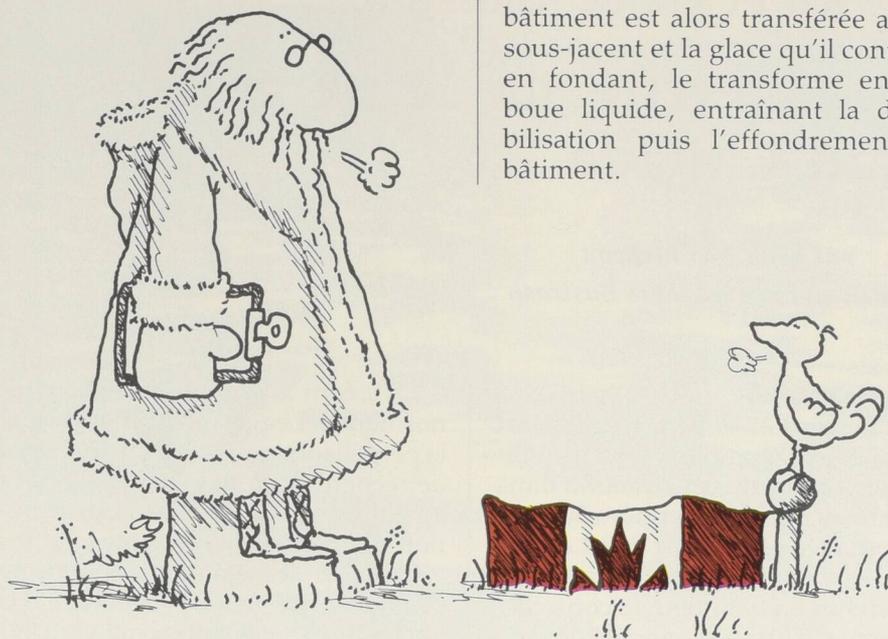
Il se fait peu de construction dans le Nord au début des années 50 mais si, comme le pense le Dr R.F. Legget, premier directeur de la Division des recherches en bâtiment, la construction dans le Nord est appelée à connaître un développement important dans l'avenir, les ingénieurs devront avoir une meilleure connaissance du sol sur lequel ils vont construire des habitations, des routes et d'autres structures nécessaires à la vie et au travail des nouvelles communautés nordiques. Legget, qui avait été professeur de génie civil à l'Université de Toronto (la carrière de M. Legget fera elle-même l'objet d'un article dans un prochain numéro de *Dimension Science*), a réalisé dès le début l'énorme potentiel économique du Nord et prédit que la prospérité future du Canada passerait par la mise en valeur de ces terres immenses et désolées. Il faudrait toutefois tenir compte d'une importante particularité de la majeure partie du territoire nordique, qui est celle d'avoir un sol gelé en permanence, ce que l'on appelle de nos jours le pergélisol.

En créant le groupe de recherches nordiques, Legget a donc décidé que le pergélisol serait son principal sujet de recherche. Roger Brown avait été embauché pour étudier la distribution du pergélisol, sa genèse et les effets que des éléments comme le climat, la neige, la végétation, la géologie et le relief du terrain ont sur lui. Hank Johnston était chargé de mettre au point des méthodes d'investigation des sols nordiques et d'étudier les techniques de conception et de construction d'habitations, de routes, de terrains d'aviation et, plus tard, de pipelines sur le pergélisol.

Les premières observations sur le pergélisol au Canada sont contenues dans les relations des premiers explorateurs. Déjà, vers 1570, l'explorateur anglais Martin Frobisher rapporte qu'en creusant n'importe où au nord du cercle arctique et, en bien des endroits, au sud de celui-ci, on rencontre de la terre gelée. Bien que

la couche supérieure du sol dégèle durant l'été, elle se congèle de nouveau pendant l'hiver et la glace du sol sous-jacent ne fond jamais.

Plus de la moitié du territoire canadien, et le cinquième de toutes les terres de la planète, reposent sur le pergélisol. La partie septentrionale du Canada est couverte d'innombrables marais, étangs, ruisseaux et lacs. Cela est dû, entre autres, au fait que l'eau n'est pas drainée par le sol sous-jacent, gelé en permanence.



Les arbres qui y poussent ne peuvent pas enfoncer leurs racines nourricières profondément dans le sol: n'étant pas supportés par celles-ci, ils s'inclinent et s'affaissent comme des hommes ivres. En d'autres mots, c'est le pergélisol qui donne aux terres nordiques leur caractère si particulier.

Pour le constructeur, le pergélisol abonde en problèmes potentiels. Cimentés par la glace, même les sols à grains fins comme le sable ou le limon deviennent stables et durs comme le roc. Avec la fonte de la glace, ils se transforment toutefois en une mare de boue, et il suffit de très petites perturbations pour faire fondre la glace.

Lorsqu'un bulldozer se déplace sur la toundra en été (comme cela est déjà arrivé), il écrase la mince couche de mousses et de lichens qui isole le sol, permettant à la chaleur du soleil

de pénétrer et de faire fondre le dessus du pergélisol. Le sol aura alors tendance à se tasser et l'eau qui affleure à sa surface formera un étang dans la dépression ainsi produite. Avec le temps, les traces laissées par le bulldozer s'élargiront pour former un fossé, puis une ravine et, finalement, une cicatrice qui marquera le paysage pendant des siècles.

Faire reposer les fondations d'un bâtiment directement sur le sol, comme on le fait dans le Sud, peut s'avérer catastrophique dans le Nord: la chaleur de l'intérieur du bâtiment est alors transférée au sol sous-jacent et la glace qu'il contient, en fondant, le transforme en une boue liquide, entraînant la déstabilisation puis l'effondrement du bâtiment.

Pour les populations nomades autochtones, le pergélisol n'a jamais été un problème, leurs abris étant par définition légers et temporaires. Les bâtiments construits par les prospecteurs et les compagnies de traite des fourrures, même s'ils avaient un caractère plus permanent, étaient encore assez légers, comparativement à ceux rencontrés dans le Sud. De plus, si une des constructions en rondins de la compagnie de la Baie d'Hudson penchait d'un côté, il était relativement facile de la remettre au niveau à l'aide de cales. Ce n'est qu'au moment de la Seconde Guerre mondiale, alors que la technologie industrielle fut exportée dans le Grand Nord, que sont apparus les premiers véritables problèmes dus au pergélisol.

Pour prévenir une éventuelle attaque de l'Alaska par les Japonais, l'armée américaine entreprit de cons-

truire, en collaboration avec le Canada, un pipeline pour acheminer le pétrole brut du champ pétrolifère de Norman Wells, sur la rivière Mackenzie, vers la nouvelle raffinerie de Whitehorse. De là, les produits raffinés devaient être transportés au moyen d'autres pipelines jusqu'aux bases militaires établies en Alaska et sur la côte ouest.

Ces installations furent construites à la hâte et, comme il fallait s'y attendre, des problèmes n'allèrent pas tarder à se manifester. Ainsi, à Norman Wells, le dégel du pergélisol sous-jacent provoqua le tassement du sol, entraînant l'effondrement des maisons, des garages, des entrepôts et des autres bâtiments. Le pipeline ne devait toutefois être utilisé que pendant quelques mois puisque, peu après son achèvement, la guerre prenait fin et sa justification militaire disparaissait. Les Américains avaient toutefois contribué à faire avancer les méthodes de construction sur sol gelé au cours de cette brève période et, au dire de Legget, ces premières tentatives, combinées aux recherches entreprises par la suite par l'armée américaine en Alaska, ont fourni aux chercheurs canadiens un point de départ pour leurs propres travaux.

Prévoyant que l'exploitation des ressources du Nord allait connaître un essor important après la guerre, le gouvernement canadien décida de construire une nouvelle ville qui deviendrait le centre des services administratifs, médicaux, d'éducation et de transport de l'Arctique du Nord-Ouest. Le plan initial proposait d'agrandir la petite communauté isolée d'Aklavik, un ancien poste de traite situé au centre du delta du Mackenzie. Mais, ainsi que le démontra clairement un rapport de la Division des recherches en bâtiment en 1953, Aklavik n'était pas l'emplacement idéal pour un tel projet.

Le puissant fleuve qui, au cours des siècles, avait déposé le limon sur lequel reposait la communauté, avait tendance à inonder chaque printemps, provoquant l'érosion des berges. Le drainage du sol était faible ou inexistant, le site offrait peu de possibilités d'expansion et il n'y avait pas de dépôts de gravier à proximité. En outre, le terrain re-

posait sur ce que les ingénieurs civils considèrent comme étant le pire type de pergélisol: un sol limoneux riche en glace et où le volume de glace est égal au volume de matière terreuse.

Ce rapport marqua le début d'une ère nouvelle axée sur l'étude du pergélisol dans le Nord canadien. Son coauteur, dont c'était la première mission avec le groupe de recherches nordiques, n'était nul autre que Hank Johnston.

## À la recherche d'Inuvik

En décembre 1953, le gouvernement décida d'abandonner le projet d'Aklavik et mit sur pied une équipe de recherche chargée de déterminer un meilleur emplacement dans la région du delta du Mackenzie. L'équipe, formée de cinq ingénieurs et de trois spécialistes en géographie et en géologie, regroupait des représentants du ministère des Transports, intéressé par l'emplacement de l'aéroport, du ministère des Travaux publics, responsable de la construction du quai et des routes, du ministère de la Santé et du Bien-être social, chargé d'assurer la qualité de l'approvisionnement en eau, et deux jeunes hommes de la Division des recherches en bâtiment, qui devaient veiller à ce que le sol du site qu'on allait choisir puisse supporter toutes ces installations.

Au début du mois de mars 1954, après de courts préparatifs et une étude attentive de photographies aériennes à Ottawa, et après avoir rassemblé et expédié équipement et vivres, Roger Brown et Hank Johnston prenaient l'avion pour Aklavik, où ils allaient rejoindre les autres membres de l'équipe. Quelques jours plus tard, ils établissaient leur campement dans la région du delta. L'hiver sévissait toujours, la température oscillant aux alentours de quarante sous zéro.

Au cours des huit mois qui suivirent, tout au long du dégel du printemps, de l'été et pendant une partie de l'hiver suivant, une tente servit d'abri à Brown et à Johnston. De leur campement, ils partirent explorer les vastes étendues du delta du Mackenzie et les régions avoisinantes. Ils remontèrent le labyrinthe de ses che-



CNRC/DRB

naux capricieux, visitèrent ses îles tour à tour émergées ou englouties, parcoururent le royaume du rat musqué et des moustiques à travers lequel le septième fleuve du monde (par l'importance de son débit) va se jeter dans la mer de Beaufort. Ils virent des pingos, l'une des manifestations les plus spectaculaires du pergélisol: ces collines au noyau de glace massif se dressent par milliers dans la plaine d'inondation du Mackenzie. Mais ce qu'ils cherchaient n'était pas aussi visible. Pour localiser le terrain sur lequel des fondations pouvaient être érigées sans danger, ils durent forer ou creuser des trous de sondage dans un sol gelé dur comme de la pierre.

Faire tenir une foreuse, même portable, et tout son équipement sur un traîneau à chiens n'est pas une sinécure. "Les chiens sont excellents pour tirer des charges, explique Johnston, mais ils y mettent parfois tellement d'ardeur qu'il est difficile de les stopper lorsque la charge s'accroche dans les buissons et glisse du traîneau."

Quand arriva la fonte des glaces, au début de juin, les deux hommes purent se déplacer au moyen d'un bateau remorquant une petite barge, ou de canoës. Souvent, le brouillard envahissait la plaine et le chenal sur lequel naviguaient Hank et Roger disparaissait. Ils accostaient alors, préparaient leur repas, et faisaient la

*Hank Johnston, Roger Brown et d'autres membres de l'équipe de recherche chargée de choisir le lieu d'implantation d'Inuvik ont souvent dû s'abriter dans des tentes. On voit ici le campement d'Husky, sur la rive ouest du delta du Mackenzie, au pied des monts Richardson.*

guerre aux moustiques qui s'étaient réfugiés dans leur tente.

Leur moyen de transport le plus puissant, bien que pas toujours fiable, était l'hélicoptère. C'était la première fois qu'un hélicoptère s'aventurait dans le Nord canadien pendant l'hiver. Celui-ci était parti d'Edmonton, se posant pour faire le plein de carburant à tous les postes d'essence situés le long de sa route.

À Aklavik, l'armée de l'air avait caché une réserve importante de carburant pendant la guerre mais l'absence exposée au climat arctique se dégrade au bout d'un certain temps et les barils laissés sur place contenaient souvent autant d'eau que de précieux hydrocarbure. Le pilote dut expérimenter avec de nombreux mélanges et il ne refaisait le plein qu'avec d'innombrables précautions. Malgré tout, ses bougies avaient tendance à s'encrasser. Au campement des chercheurs, il prenait toujours soin de décoller et d'atterrir près d'une butte de neige moelleuse pour amortir le choc au cas où le moteur ferait des siennes. Par trois fois, le moteur cala alors que l'engin avait déjà quitté le sol et s'était éloigné du



CNRC/DRB

*La piste d'atterrissage d'Inuvik, en construction sur cette photo prise en 1956.*



CNRC/DRB

camp: le pilote et ses passagers en furent quitte pour un atterrissage en catastrophe, le rotor en autorotation ralentissant leur descente vers le sol. Une fois à terre, le pilote bricolait les bougies, vidait et filtrait l'essence tandis que ses compagnons coupaient des saules et dégageaient le terrain en vue d'une nouvelle tentative.

Lors de ses excursions, l'équipe de sélection du terrain s'attachait à évaluer les sites potentiels, éliminant ceux qui ne convenaient pas jusqu'à ce qu'il n'en reste plus qu'un. Le site idéal était situé à la limite du delta, à quelque 50 km à l'est d'Aklavik. Il se trouvait à proximité d'une voie d'eau navigable et de dépôts de gravier, et reposait sur le bon type de sol. On doit se rappeler que tous les sols, peu importe leur type, sont aussi durs que le roc aussi longtemps qu'ils sont *congelés*. Ce n'est que lorsque se produit un dégel que le type de sol et sa teneur en eau prennent de l'importance. Brown et Johnston

*À l'instar des autres bâtiments chauffés d'Inuvik, ces maisons donnant sur la rue principale sont construites sur des pieux en bois.*

cherchaient à éviter les sols à grains fins, comme les argiles et les limons fluviaux, qui ont une teneur en eau élevée (jusqu'à 60% du volume à Aklavik) et se transforment en boue molle et instable lors d'un réchauffement. Ils étaient à la recherche de sols à grains plus grossiers, moins riches en glace et, par conséquent, plus stables lors d'un dégel. Le site devait également donner facilement accès à des dépôts de gravier, celui-ci servant à protéger les constructions des effets des cycles de gel et de dégel saisonniers dans les couches superficielles du sol.

En 1955, les travaux de construction commencèrent sur l'emplacement où allait s'élever la ville d'Inuvik, terme inuit qui signifie "la place de l'homme".

## Bâtisseurs du froid

Inuvik est un modèle exemplaire des techniques de construction adaptées au pergélisol. Ces techniques, qui ont été expérimentées à Inuvik mais qui sont maintenant pratique courante dans tout le Grand Nord, ont pour but de maintenir le sol gelé. C'est ainsi que la plupart des constructions d'Inuvik sont supportées par des pieux. Au début, ces pieux étaient fichés dans des trous dégelés à l'aide de jets de vapeur mais, depuis la fin des années 50, les trous sont percés à la foreuse. Comme les constructions sont surélevées, leur chaleur interne est dissipée par l'air qui s'écoule en-dessous sans être transférée au sol. Les tuyaux d'égout et les conduites d'alimentation en eau sont également surélevés; ils sont enfermés dans des gaines chauffées et isolées appelées "utilidors".

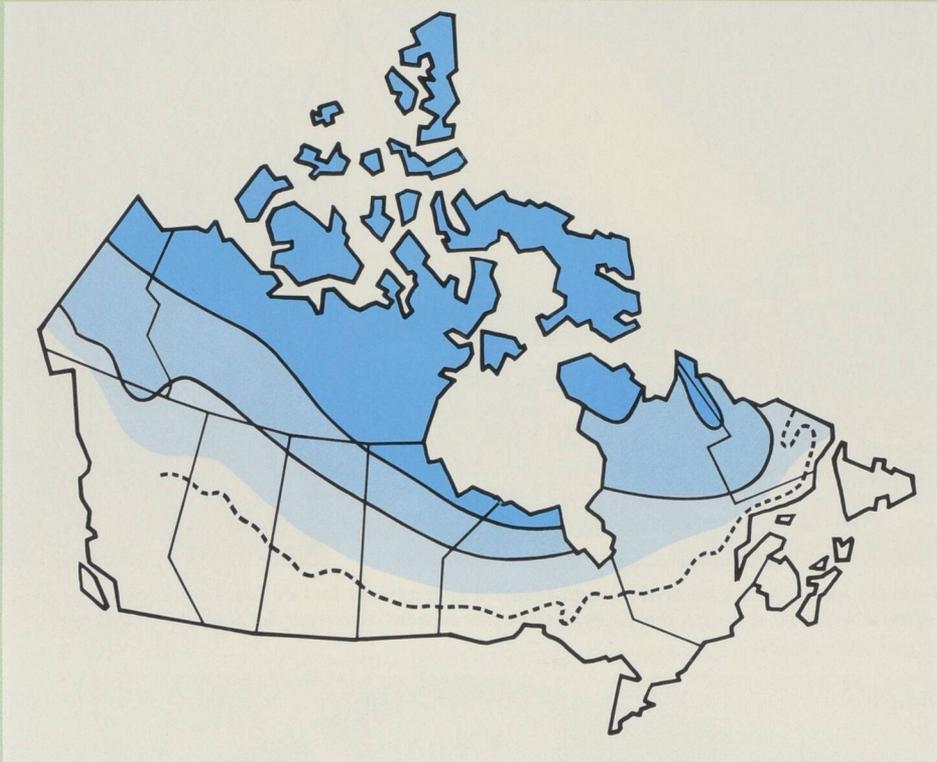
Hank Johnston a passé beaucoup de temps à Inuvik pendant la réalisa-

*La station expérimentale du CNRC, à Norman Wells, T.N.-O. Sur cette photo prise en 1956 on peut voir, dans le sens horaire à partir du bas: Joe Plunkett, agent technique de la DRB, Chris English, adjoint d'été, Roger Brown et John Pihlainen. Pihlainen, qui est décédé en 1964, a travaillé avec Hank Johnston dans les premières années qui ont suivi la création du groupe de recherches nordiques et il est le coauteur, avec ce dernier, d'un rapport publié en 1953 sur le pergélisol d'Aklavik, dans la région du delta du Mackenzie. Ce rapport recommandait d'identifier un meilleur emplacement pour la construction de la ville d'Inuvik.*



*Brown et Johnston ont souvent voyagé à bord d'hélicoptères lors de leurs sondages dans la région d'Aklavik. À droite, une foreuse portable servant à prélever des échantillons du pergélisol sous-jacent.*





La distribution du pergélisol au Canada est ici illustrée par une carte de l'Atlas hydrologique du Canada. La carte, dessinée à partir des données recueillies par Roger Brown, montre les deux zones de pergélisol: celle du continu (en bleu foncé), et celle du discontinu (en bleu clair pour la partie où il est étendu, bleu clair pour la partie où il est dispersé). La ligne brisée qui va des Montagnes Rocheuses au Labrador est l'isotherme 0°C, c'est-à-dire la ligne qui relie les points ayant une température moyenne annuelle de 0°C.

Carisse Graphic Design Ltd

### L'a b c du pergélisol

Le mot pergélisol — de *permanent*, *géli-* et *sol* — décrit toute matière terreuse, comme le sable, l'argile, le gravier ou la pierre, dont la température reste inférieure au point de congélation de l'eau pendant au moins toute une année. Par conséquent, pour faire partie du pergélisol, un sol qui gèle au cours de l'hiver doit demeurer gelé pendant tout l'été et tout au long de l'hiver qui suit. Dans certaines régions du Canada, le sol est gelé depuis des dizaines de milliers d'années; ailleurs, le pergélisol est en voie de se former sous l'action des conditions climatiques et édaphiques (facteurs liés à la nature du sol) régnantes.

Ce terme est toutefois trompeur: le pergélisol n'est pas nécessairement permanent. Sa présence est liée à l'influence dynamique du climat et du terrain et une modification de l'un ou l'autre de ces facteurs peut provoquer son dégel. Pour mieux refléter cette réalité, on préfère aujourd'hui utiliser l'expression "gélisol pérenne", qui signifie "sol gelé toute l'année". Dans son livre, *Permafrost in Canada: Its influence on Northern Development* (University of Toronto Press, Toronto, 1970), Roger Brown note que l'usage russe re-

flète également cette nouvelle préoccupation: l'équivalent russe de "gélisol pérenne" tend à remplacer *vechnaya merzlota*, qui signifie "gel éternel".

Les échanges thermiques qui président à la formation et à l'existence du pergélisol sont complexes. Pour simplifier, disons que la terre doit, pour geler, évacuer dans l'air ambiant la chaleur qu'elle acquiert du rayonnement solaire et celle qui lui est transmise par le flux de chaleur s'échappant de l'intérieur de la Terre vers la surface. Pour que cet échange se produise, et que se forme le pergélisol, la température ambiante doit être inférieure à 0°C.

De fait, ainsi que le montre la carte, la limite sud du pergélisol au Canada correspond grossièrement à l'isotherme -1°C (température moyenne annuelle de l'air). À sa limite méridionale, le pergélisol est présent sous forme d'îlots de quelques centimètres d'épaisseur dispersés à travers le territoire non gelé. À mesure qu'on remonte vers le nord, les dimensions (superficie et épaisseur) de ces îlots gelés augmentent jusqu'à ce que ceux-ci se touchent et c'est alors tout le sous-sol qui est gelé. C'est ce que l'on

appelle la zone de pergélisol continu. Dans certaines parties de cette zone, le sol est parfois gelé sur un kilomètre et plus de profondeur.

Finalement, le pergélisol est recouvert d'une mince couche de terre ou de pierre qui dégèle en été et regèle pendant l'hiver. Cette couche est dite "active".

Pourquoi les zones du pergélisol identifiées par Roger Brown ne couvrent-elles pas le Canada en bandes concentriques? Pourquoi, dès que nous passons à l'est de la baie d'Hudson, la ligne délimitant la zone de pergélisol continu remonte-t-elle vers le nord, pour ne couvrir que l'extrémité septentrionale du Nouveau-Québec? Il semble que les principaux fronts météorologiques se déplacent d'ouest en est au-dessus de l'immense baie, apportant des précipitations de neige plus abondantes aux régions situées à l'est de la baie qu'à l'ouest. Comme la neige est un isolant naturel, cette épaisse couverture neigeuse ralentit la perte de chaleur de la toundra dans l'air ambiant. Par conséquent, dans l'ouest et dans le Grand Nord, où les chutes de neige sont moins abondantes, la zone de pergélisol continu est plus étendue.

tion du projet. Il a étudié la performance des bâtiments, des routes, des quais et de la piste d'atterrissage, et est ainsi devenu un expert dans l'art de faire des relevés détaillés de terrain et de concevoir des fondations appropriées à chaque type de sol. En 1981, il publiait un livre intitulé *Permafrost: Engineering Design and Construction*, où il explique en détail les techniques de construction sur le pergélisol à l'intention des ingénieurs.

On a souvent recours à ses conseils. Généralement, on le consulte pour éviter des problèmes; parfois, ce n'est qu'après que des problèmes sont apparus — comme ce fut le cas dans plusieurs régions nordiques — qu'on a recours à ses services. Ainsi à Thompson, ville minière construite dans le nord du Manitoba par la firme INCO à la fin des années 50, l'agglomération était située dans une région reposant sur des îlots de pergélisol. Ces îlots renfermaient de grandes quantités de glace et, parce que leur température n'était que de quelques degrés inférieure à 0°C, on ne pouvait les maintenir gelés, comme c'était le cas à Inuvik.

L'emplacement ne pouvait être moins approprié: dans les mois qui suivirent la construction, l'occupation et le chauffage des maisons qui avaient été construites sur de tels îlots, le sol commença à se tasser par suite du dégel du pergélisol, et les maisons ne tardèrent pas à s'écrouler. Les conseils de Hank ont permis d'établir des règles de construction pour la ville de Thompson. Désormais, personne ne peut construire sur un terrain avant que celui-ci ait fait l'objet d'un sondage pour déterminer s'il repose ou non sur un îlot de pergélisol, et les lots où le pergélisol est présent sont laissés vacants.

Hank devait partager ses connaissances et améliorer ses compétences en participant à de nombreux projets de construction dans le Nord. Au cours des vingt années qui suivirent, il passa plus de six mois par année sur le terrain, étudiant des sites d'exploitation minière, des tracés de route, des aménagements hydro-électriques et de nombreux autres travaux de mise en valeur du Nord. Même aujourd'hui, il passe plusieurs semaines dans l'Arctique,



au printemps, à l'automne et à l'hiver, bien que le genre d'études dont il a été l'initiateur soient maintenant effectuées par d'importantes firmes d'ingénieurs-conseils.

## Sur la piste du pergélisol

À l'instar de Johnston, Roger Brown se prit de passion pour le Nord et ses voyages subséquents devaient l'amener à croiser la route de son collègue à plus d'une reprise. Brown entreprit le projet ambitieux d'établir la carte de distribution du pergélisol au Canada.

Il commença par tracer la limite méridionale de celui-ci. Parti de l'ouest du pays, il fit des sondages chaque automne et, se déplaçant vers l'est d'année en année, il couvrit ainsi l'ensemble du pays. En Colombie-Britannique et au Yukon, il emprunta toutes les routes d'accès à sa disposition, arrêtant sa voiture lorsqu'il voyait un marais intéressant pour forer et sonder le sol afin de découvrir ce qui se cachait en dessous. C'est également en voiture qu'il établit la carte de la Saskatchewan et de l'ouest du Manitoba. Mais, lorsque vint le temps de suivre la piste du pergélisol à travers le nord-est du Manitoba et l'Ontario, il dut se déplacer en hélicoptère, souvent en compagnie de Hank Johnston. Il cartographia également le

En 1966, Hank Johnston et Roger Brown ont visité l'U.R.S.S. On les voit ici lors d'une visite du barrage hydroélectrique de Chernyshevskiy, en Sibérie. De gauche à droite: G.B. Biyanov, ingénieur en chef, Johnston, Brown et S.E. Grechishchev, de l'Institut de recherche sur le pergélisol de l'Académie des sciences de l'U.R.S.S., à Iakoutsk.

Québec et le Labrador, se déplaçant au moyen d'hélicoptères et d'avions de brousse.

Pour compléter la carte des zones pergélisolées au nord de la limite qu'il avait ainsi établie, Brown se rendit dans le district de Keewatin, visita les îles de l'Arctique septentrional et explora la terre de Baffin; il investiga également les montagnes de la côte est et de la côte ouest du Canada pour sonder le pergélisol alpin.

Les données recueillies lors de ces voyages sont synthétisées dans une carte dont la première édition a été publiée en 1967 et qui est immédiatement devenue une norme de référence. (La dernière édition a été publiée sous forme d'encart dans l'Atlas hydrologique du Canada. Une version redessinée de cette carte figure à la page ). Celle-ci présente la caractéristique importante, particulièrement pour les urbanistes et les entrepreneurs, de définir la limite méridionale du pergélisol. Entre la ligne qui marque le début de la zone de pergélisol continu et celle qui dé-

limite les terres du sud qui en sont exemptes se trouve une région appelée "zone de pergélisol discontinu" où le pergélisol ne se rencontre qu'en nappes dispersées ou "îlots". La carte de Brown fournit également des renseignements sur l'épaisseur et la température du pergélisol à certains endroits précis et indique les moyennes de température annuelle à l'aide de lignes reliant les points ayant la même température ou "isothermes".

La passion du pergélisol a non seulement amené Brown et Johnston à visiter tous les coins du Grand Nord canadien mais également, de l'autre côté du pôle, les espaces glacés de l'U.R.S.S. À l'automne de 1966, ils se rendirent en Union soviétique où, pendant deux mois, ils visitèrent des projets de construction en Sibérie orientale.

Les Russes exploitent leurs territoires nordiques de façon beaucoup plus intensive que les Canadiens. Leurs premiers travaux sur le pergélisol remontent aux années 30. Leurs connaissances dans ce domaine sont tellement avancées que Roger Brown a étudié le russe afin d'être en mesure de lire leurs communications scientifiques. Ils ont construit des barrages hydroélectriques, exploité des mines, construit des routes, aménagé des terrains d'aviation et bâti, dans leurs régions froides, des villes où vivent et travaillent des millions de personnes (alors qu'au Canada seulement une centaine de milliers de personnes habitent dans les zones pergélisolées).

En 1972, Brown apprit qu'il était atteint du cancer mais il n'en continua pas moins à travailler, infatigablement, pendant presque une décennie. Il fut, par exemple, l'un des principaux organisateurs de la Troisième conférence internationale sur le pergélisol, qui s'est tenue à Edmonton en 1978, et de la Quatrième conférence canadienne sur le pergélisol, à Calgary en 1981.

Roger Brown est décédé à la fin de 1980, cinq mois à peine avant l'ouverture de la conférence canadienne. Le compte rendu de cette conférence a été publié récemment sous forme d'un volume dédié à sa mémoire. Dans la préface du volume, Hank Johnston écrit à pro-

pos de son ancien collègue: "Nul ne pourrait souhaiter un compagnon de voyage plus agréable, plus intéressant et plus divertissant."

Les deux chercheurs canadiens rapportèrent de leur voyage un bagage de nouvelles connaissances. ("Les Russes en savent peut-être long sur la construction sur le pergélisol, confie Hank Johnston, mais ils ne semblent pas toujours mettre ces connaissances en pratique. La plupart de nos constructions nordiques sont de qualité supérieure aux leurs.") Ils apprirent encore davantage lorsque, sept ans plus tard, ils traversèrent en compagnie de leurs épouses la Chine et la Mongolie en train pour se rendre à Iakoutsk, où se tenait la Deuxième conférence internationale sur le pergélisol.

Les travaux de Brown et Johnston visaient au fond à réaliser l'objectif fixé par R.F. Legget: préparer le terrain pour l'aménagement du Nord canadien. Aussi essentiels que pouvaient l'être leurs travaux sur la nature et la distribution du pergélisol et sur les techniques de construction adaptées à celui-ci, ils n'étaient d'aucune utilité s'ils restaient inconnus des milieux auxquels ils étaient destinés. La diffusion de ces nouvelles connaissances constituait donc une part importante de leur vie professionnelle.

Des architectes, des ingénieurs, des urbanistes, des entrepreneurs en construction et des gens de toutes les professions ont profité des nombreuses communications publiées par les deux chercheurs — et de la série de séminaires, de symposiums, d'ateliers et de conférences organisés par le Comité associé de recherches géotechniques du CNRC — pour élargir leurs connaissances dans ce domaine et, bien sûr, du livre de Brown, *Permafrost in Canada* (publié en 1970), et de celui de Johnston sur les techniques de construction sur le pergélisol. La masse des données recueillies par les deux chercheurs est énorme et d'une importance primordiale pour l'aménagement des communautés et des installations nordiques et pour l'exploitation des ressources minières et pétrolières du Nord. ☾

# Scruter la pluie

Comment elle s'acidifie dans l'atmosphère

par Bruce Henry

Adaptation française: Colette Guay

*Le Canada a mobilisé un corps important de scientifiques pour réunir des données sur les causes et les conséquences des précipitations acides et sur les moyens à utiliser pour les combattre. Dimension Science passe en revue quelques-unes des activités scientifiques mises en oeuvre pour arrêter ce "fléau du ciel".*

**L**es graves dommages subis par les écosystèmes aquatiques et terrestres seraient attribuables aux pluies acides ou, plus exactement, aux dépôts secs et humides de composés de soufre et d'azote véhiculés par l'atmosphère. Ce sont des sous-produits de la combustion de charbon à haute teneur en soufre que l'on fait brûler à des centaines, voire des milliers de kilomètres des endroits touchés. La réduction ou, dans certains cas, la disparition de populations de poissons constituent une preuve sans équivoque des dégâts causés par les pluies acides au Canada, aux États-

Unis et dans d'autres pays. Désormais, ce ne sont plus seulement les pêcheurs et les propriétaires de chalets qui s'en inquiètent: en effet, on soupçonne de plus en plus les pluies acides d'endommager également les forêts et les terres agricoles.

*Écosystèmes aquatiques: un système de détection avancée*

Au milieu des années 1960, deux zoologistes de l'Université de Toronto, les docteurs Harold Harvey et Richard Beamish, se demandaient pourquoi les taux de croissance des poissons de deux lacs du district Killarney, en Ontario, présentaient une différence frappante. De plus, ils remarquaient l'absence de catégories d'âge chez certaines espèces ou, plus précisément, une nette réduction de certains groupes d'âge

de la population. C'étaient là les effets d'une cause encore inconnue qu'il s'agissait de trouver. Les chercheurs se mirent à l'oeuvre.

"C'est le Suédois Svante Odén, spécialiste des sols, qui fut vraiment le premier à donner l'alarme, déclare le Dr Harvey. Il me dit, en effet, que les branchies de nos poissons étaient recouvertes de ce qu'il appelle "l'horizon-B". Les chercheurs suédois avaient déjà remarqué que l'atmosphère était capable de transporter des polluants sur de grandes distances puis de libérer des substances susceptibles de causer des problèmes dans l'environnement.

En 1968, Odén publiait des données indiquant que les précipitations de plus en plus acides sur la Scandinavie libéraient dans le sous-sol ("l'horizon-B" du sol) des métaux toxiques qui se répandaient dans les bassins et les lacs, et faisaient tomber le pH de leurs eaux à des niveaux peut-être toxiques pour les poissons et la végétation lacustre. (Le degré d'acidité d'un liquide se mesure d'après ce que les scientifiques appellent une échelle de "pH", qui reflète la concentration en ions hydrogène présents. Le pH 7 est neutre. À mesure que le pH descend au-dessous de 7, l'acidité augmente; à mesure qu'il s'élève au-dessus de 7, l'alcalinité augmente.)

À la même époque, les Américains découvraient des problèmes semblables dans les lacs du nord-est des États-Unis. "On pouvait remarquer par exemple, explique Harvey, l'absence de reproduction chez certaines populations de poissons ou la mort de poissons à l'état larvaire, causant ainsi la disparition d'une catégorie d'âge. Dans d'autres cas, des poissons plus âgés étaient touchés. Ainsi, en Scandinavie, on a observé avec surprise des populations plus jeunes que la normale. Mais au début, notre travail était difficile parce que nous n'avions presque pas de données sur lesquelles nous appuyer."

"En fait, jusqu'au début de la présente décennie, il y avait peu d'études scientifiques concertées qui pouvaient nous être utiles pour découvrir l'origine de semblables ano-

malies écologiques, d'expliquer le Dr Ron Pierce, spécialiste en chimie atmosphérique au Secrétariat de l'environnement du CNRC. C'est alors que nous nous sommes lancés, parmi les premiers au Canada, dans la compilation et l'évaluation de l'information scientifique. Sous les auspices du Comité associé sur les critères scientifiques concernant l'état de l'environnement du CNRC, une équipe dirigée par le Dr Harvey étudia les relations entre les pluies acides et les effets observés sur l'environnement aquatique."

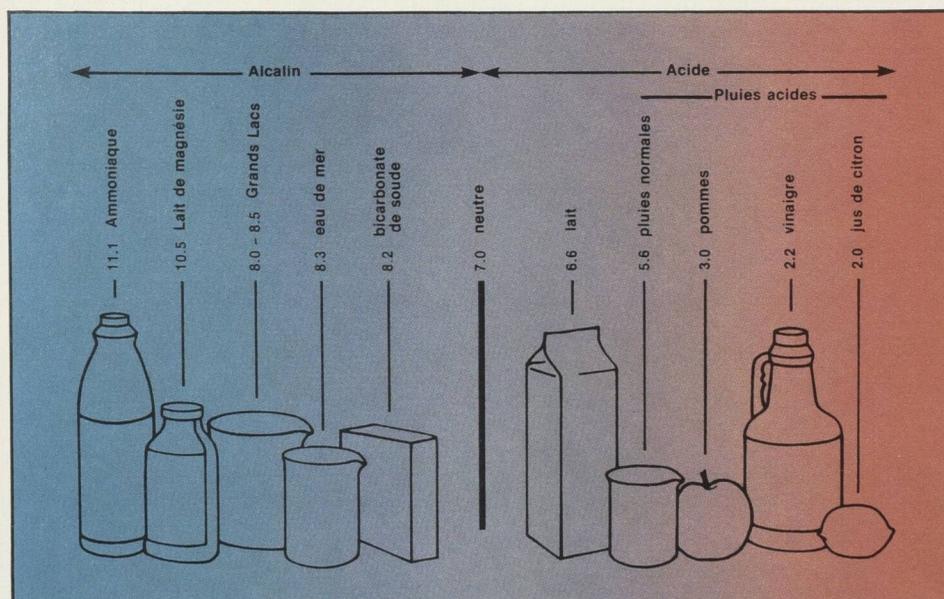
Leur rapport, *Acidification dans l'environnement aquatique au Canada: critères scientifiques pour évaluer les effets du dépôt acide sur les écosystèmes aquatiques*, fut publié en 1981. De dire Ron Pierce: "L'une des plus importantes conclusions de ce rapport est que le dépôt acide représente une menace grave pour les écosystèmes aquatiques canadiens. Toutefois, étant donné le peu de renseignements disponibles à l'époque, nous avons compris qu'il n'était pas possible de déterminer exactement l'extension géographique et la gravité de cette menace. Cette mise à jour des données du problème a suscité au Canada un effort de recherche important visant à identifier et quantifier les rapports entre les sources d'émission, le transport atmosphérique, le dépôt et les effets des pluies acides sur le biote aquatique et terrestre, les matériaux et les êtres humains."

Les précipitations acides (ainsi que les acides organiques de l'hu-

mus en décomposition) sont un agent d'érosion plus puissant que la pluie normale, qui est en fait une solution diluée d'acide carbonique. Elles peuvent être neutralisées par les roches et les sols calcaires; elles peuvent subir des échanges d'ions dans les réseaux des minéraux, libérant ainsi des ions comme le calcium, l'aluminium et le manganèse; elles peuvent également filtrer intactes à travers le sol et abaisser le pH des cours d'eau. La solubilité des métaux tels que l'aluminium, le manganèse et le fer dépend du pH; ainsi, leurs niveaux s'élèvent dans les lacs acides alors qu'ils diminuent dans les eaux alcalines, résultat de la précipitation des métaux.

L'acidification, par des réactions chimiques variées, peut tuer presque toute forme de vie lacustre, sauf les algues et la sphaigne qui prolifèrent au fond des lacs. "L'effet peut-être le plus bizarre, confie le Dr Harvey, est la formation d'un "tapis de feutre" au fond des lacs." Ce tapis, mélange d'algues, de détritrus de feuilles et de mousse, peut atteindre un demi-mètre d'épaisseur, et dans au moins un lac suédois, on a constaté qu'il se soulevait pour faciliter ce qu'il convient d'appeler des "éruptions" de mélanges gazeux.

Les effets des pluies acides ne sont pas uniformes dans le temps, mais se produisent par accès, comme la fonte des neiges au printemps qui, en plus de provoquer une chute du pH, peut déverser dans les cours d'eau et les lacs de l'aluminium et d'autres métaux toxiques en con-



Qu'est-ce que l'"acidité"? Les scientifiques utilisent une échelle de "pH" allant de 0 à 14 pour indiquer le niveau d'acidité ou la concentration en ions hydrogène; 0 correspond à l'acidité la plus forte et 14, à l'acidité la plus faible (ou l'alcalinité la plus forte). Chaque nombre entier de l'échelle correspond à une concentration donnée en ions hydrogène, qui est multipliée par dix à chaque fois qu'on passe au nombre entier inférieur. Une valeur de 7 est neutre, mais l'eau de pluie normale n'est pas "neutre", elle est légèrement acide. Son pH de 5,6 est dû à la dissolution de gaz carbonique atmosphérique.

## AUSCULTER LES NUAGES: L'Établissement aéronautique national du CNRC et les pluies acides

La recherche en vol, spécialité du laboratoire de recherche en vol de l'Établissement aéronautique national, est indispensable à la compréhension du phénomène des précipitations acides. Après tout, c'est par l'atmosphère que s'effectue le transport sur de longues distances des polluants de l'air. Quant aux nuages, ils peuvent "pomper" les polluants jusqu'aux couches plus élevées de l'atmosphère, et c'est au sein des nuages que se produisent les transformations complexes qui rendent les précipitations acides. Sans une meilleure compréhension des interactions entre nuages et polluants, les modèles de transport sur de grandes distances resteront incomplets. Et une modélisation informatique précise constitue une des étapes majeures dans la mise au point de méthodes efficaces de lutte contre les pluies acides.

Les mouvements atmosphériques comprennent non seulement les grands déplacements horizontaux de masses d'air mais aussi une dynamique verticale complexe. C'est ainsi que l'origine de l'air à 3 000 m au-dessus d'une région donnée peut être totalement différente de celle de l'air que l'on trouve à 1 500 m. Les polluants sont transportés horizontalement, verticalement et, en même temps, peuvent être récupérés par des particules en suspension dans les nuages et par les précipitations.

L'objectif principal des programmes menés conjointement par le laboratoire et le Service de l'environnement atmosphérique est d'étudier la dynamique des nuages et les processus microphysiques qui s'y déroulent

en vue de déterminer leur rôle dans le transport à grande distance des polluants atmosphériques, et aussi d'examiner les phénomènes chimiques qui s'opèrent dans les nuages. Les deux groupes ont mis au point à cet effet un laboratoire volant perfectionné: le Twin Otter C-FPOK.



Depuis 1974, le Twin Otter transporte des appareils de plus en plus perfectionnés et nombreux pour explorer la dynamique, la microphysique et la chimie de l'atmosphère. Il est équipé entre autres d'un dispositif de calcul et de visualisation en temps réel des mouvements atmosphériques et de quatre spectromètres laser de particules capables de produire une image de milliers de flocons de neige et de millions de gouttelettes; ces données détaillées nous permettent de mieux comprendre ce qui se passe à l'intérieur des nuages. Le plus récent instrument mis au point au laboratoire est le "Cyclon Snow Collector", dans lequel la séparation de l'air de la neige s'opère par la force centrifuge. C'est probablement la première fois dans le monde qu'un instrument de ce type est utilisé en vol.

Plusieurs études en milieu naturel sur les précipitations acides ont mobilisé également deux autres avions canadiens: le Beech 18 du laboratoire, équipé d'instruments pour mesurer les polluants sous formes gazeuse et particulaire ainsi que les précipitations, et le DC-3 du Centre canadien de la télédétection, appareil plus gros capable de transporter un appareillage de recherche impressionnant.

cettes du problème. Les bassins étant considérés comme les meilleurs collecteurs de dépôts atmosphériques, et donc d'excellentes sources de renseignements sur les précipitations acides, on a jaugé certains d'entre eux et ils font présentement l'objet d'une investigation intensive. Des travaux sont également en cours à plusieurs endroits, notamment à la station Dorset du ministère de l'Environnement de l'Ontario, où l'on surveille les changements intervenant dans la qualité de l'eau, sous conditions contrôlées, dans le but d'arriver à une meilleure définition des effets biologiques.

Il n'est plus à démontrer qu'au Canada les populations de poissons subissent les effets désastreux des pluies acides. Ce sont ces variations aquatiques qui ont attiré notre attention sur le problème et elles de-

Depuis 1981, le laboratoire a procédé à quatre expériences en vol sur les pluies acides, dont l'étude CAPTEX-83 de l'an dernier, qui faisait appel à un traceur (voir page ). L'opération la plus récente, et la plus prolongée, a eu lieu en janvier et février derniers et portait le nom d'"expérience sur la neige acide". Cette opération intensive de six semaines sur le terrain, dans la région nord du parc Algonquin et de Parry Sound, est un excellent exemple du partage des ressources et des compétences qui s'impose pour résoudre le problème des pluies acides. En plus du Service de l'environnement atmosphérique et du laboratoire de recherche en vol, ont également participé à ce programme l'U.S. Brookhaven National Laboratory, le ministère de l'Environnement de l'Ontario, le Centre canadien de la télédétection, l'Université York et l'Ontario Hydro.

Les opérations de recherche en vol ont été lancées à partir de la base des Forces canadiennes de North Bay (Ontario). Plusieurs stations terrestres et une camionnette de surveillance furent également mobilisées pour recueillir les données qui ont permis d'établir un profil de ce qui se passe dans cette portion de l'atmosphère comprise entre la surface de la Terre et une altitude de 6 000 mètres. Les conditions météorologiques nous ont aidés, puisque nous avons non seulement bénéficié de précipitations, de plusieurs épisodes importants de pollution et de périodes de temps clair, mais aussi d'un dégel qui a permis à l'équipe au sol d'échantillonner le ruissellement typique d'une fonte des neiges. L'analyse de ces nouvelles données devrait apporter des réponses à quelques-unes des nombreuses questions que l'on se pose sur les précipitations acides.

Michal Crosley est un rédacteur indépendant d'Ottawa.

centrations élevées. La mortalité chez les poissons coïncide avec des niveaux branchiaux d'aluminium élevés et des concentrations sanguines de chlore et de sodium de beaucoup réduites. On a observé, en Ontario, que lorsqu'on plaçait des poissons sains dans de telles eaux, ils mouraient très rapidement. "On n'a pas encore résolu la question, dit Harvey, de l'étendue du phénomène de toxicité de l'aluminium dans les cours d'eau et les lacs nord-américains." Un autre métal qui voit sa concentration augmenter avec l'acidité des lacs est le manganèse. Bien que celui-ci ne soit pas considéré comme très toxique, les preuves qui l'associent à des difformités du squelette chez le poisson s'accumulent.

À part ces études de toxicité, les spécialistes canadiens du milieu aquatique examinent d'autres fa-

meurent notre principale preuve des dommages causés à la biosphère.

"Il appert, déclare Harvey, que le niveau actuel de charge acide dans l'est de l'Amérique du Nord (25 à 45 kg/ha/année de sulfates) est semblable à la charge qui a sérieusement détérioré l'environnement en Norvège et en Suède, détruisant presque toute forme de vie dans des milliers de lacs."

"Une question se pose pour les Nord-Américains: Subirons-nous le même sort?"

### Perspective forestière

Les arbres, comme toute forme de vie, sont exposés aux assauts des maladies, des insectes, des intempéries et des poisons tels les métaux toxiques du sol, ainsi qu'aux effets néfastes de la malnutrition. La principale difficulté que pose la recherche sur les pluies acides est

donc de discerner les vrais effets de celles-ci à la lumière des autres agressions dont est victime l'écosystème forestier.

"La croissance des arbres constitue le paramètre le plus important", explique le Dr Peter Rennie, du Service canadien des forêts. "Sauf autour des sources ponctuelles comme Flin Flon (Manitoba), Trail (C.-B.) et Sudbury (Ontario), nous ne pensons pas que la croissance des arbres pose un problème. C'est également le cas en Norvège et en Suède, qui reçoivent à peu près la même quantité de pluies acides que nous; là non plus, l'examen des anneaux ou cercles annuels de croissance des arbres n'a pas permis d'identifier d'effets dus aux pluies acides. Mais tôt ou tard, nous pourrions nous retrouver avec des problèmes, parce que nos sols forestiers sont fondamentalement très acides et pauvres en nutriments, donc pas très bien tamponnés. C'est déjà assez difficile de faire pousser des arbres sur ce genre de sol, sans y

ajouter le stress causé par les pluies acides.

"Les précipitations acides déposent des quantités croissantes de métaux lourds comme le plomb, le cadmium, l'arsenic et le mercure. Ces métaux sont fermement retenus par les matières présentes dans l'humus et peuvent nuire aux champignons et aux bactéries qui conditionnent le taux de décomposition de l'humus et la libération des nutriments. Si ce processus est perturbé, nous aurons des problèmes", nous avertit Rennie.

Il fait remarquer que le Canada tire de ses forêts des avantages économiques de l'ordre de 23 milliards de dollars par année environ et qu'il investit des sommes considérables pour satisfaire à la demande croissante en produits forestiers. Nous ne pouvons pas nous permettre de voir le rendement de nos forêts di-

minuer. Des éléments potentiellement toxiques comme l'aluminium et le manganèse, par exemple, sont peut-être absorbés en quantités croissantes à mesure que le sol s'acidifie, ce qui pourrait faire du tort aux racines et aux jeunes plants. Toutefois, on estime généralement que le pH des pluies que reçoivent les forêts canadiennes n'est pas assez bas pour causer des dommages apparents aux tissus, et l'on n'observe aucun symptôme visuel. Mais on a récemment mis en évidence que l'abaissement du pH moyen des pluies pouvait affecter la cire des conifères, endommager leurs aiguilles et éliminer les nutriments de leur sève. Des physiologistes et des pathologistes examinent les arbres

soumis aux pluies acides et essaient d'évaluer les changements dans leur résistance aux maladies et dans les ravages causés par les insectes, et même les effets sur la photosynthèse.

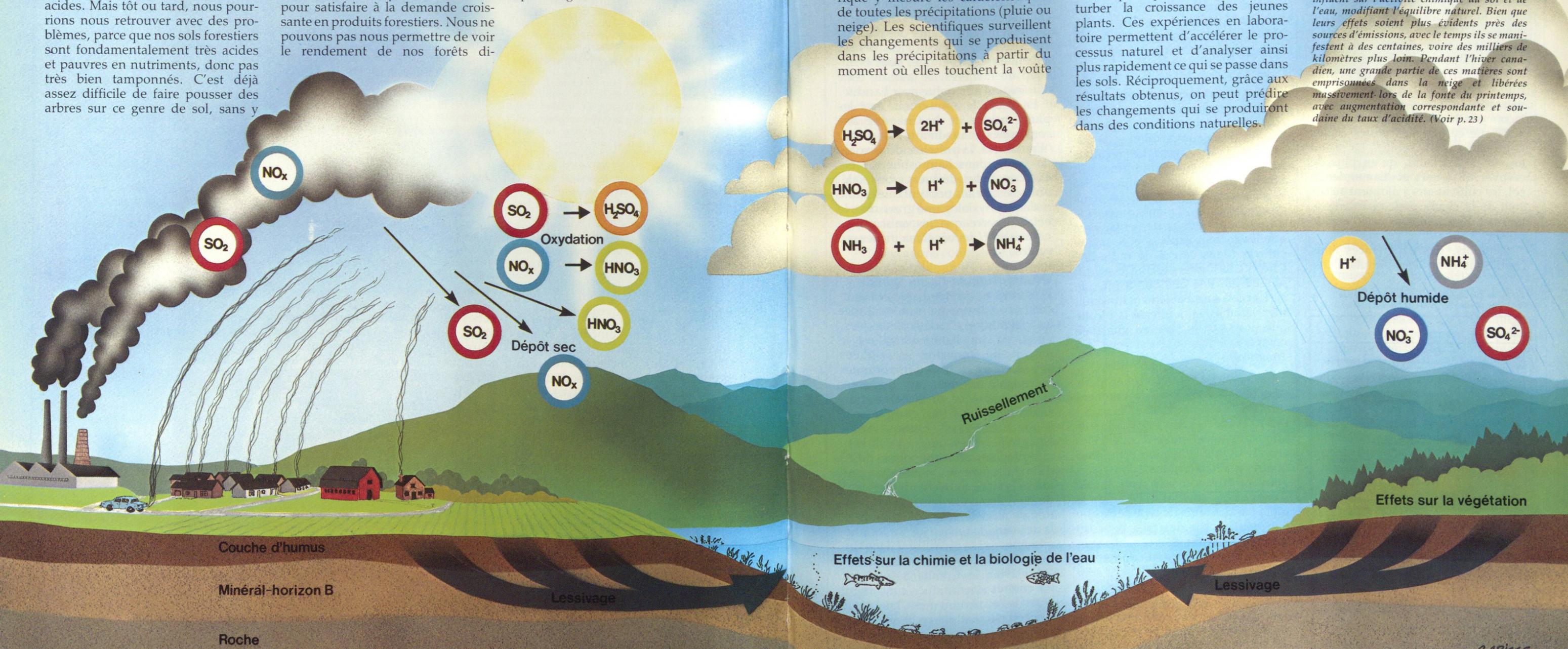
Le Service canadien des forêts est en train d'étudier le phénomène des pluies acides sur trois sites principaux choisis parce qu'ils sont représentatifs des régions les plus touchées de nos étendues forestières les plus productives. L'un d'eux est situé au nord de Sault-Sainte-Marie (Ontario), le deuxième, dans le Parc des Laurentides (Québec) et le troisième, dans le Parc national Kejimikujik (Nouvelle-Écosse). Le Service de l'environnement atmosphérique y mesure les caractéristiques de toutes les précipitations (pluie ou neige). Les scientifiques surveillent les changements qui se produisent dans les précipitations à partir du moment où elles touchent la voûte

des arbres jusqu'à ce qu'elles atteignent le sol, en passant par les branches et le tronc. Ensuite ils examinent ce qui se passe dans les divers horizons organiques et inorganiques du sol, jusqu'à ce qu'elles atteignent un lac. Les spécialistes du milieu aquatique prennent alors la relève. "Nous voulons avoir une bonne vue d'ensemble de la situation, à savoir: Quels sont les sulfates et les nitrates qui sont déposés? Où vont-ils dans le système? Comment sont-ils éliminés? Et quels effets ont-ils sur les autres phénomènes dynamiques?" explique Rennie.

À ces études en milieu naturel des budgets chimiques, viennent s'ajouter des études en laboratoire, qui révèlent qu'un pH de 3,5 à 4 peut perturber la croissance des jeunes plants. Ces expériences en laboratoire permettent d'accélérer le processus naturel et d'analyser ainsi plus rapidement ce qui se passe dans les sols. Réciproquement, grâce aux résultats obtenus, on peut prédire les changements qui se produiront dans des conditions naturelles.

*Comment les pluies acides se forment-elles? Les émissions de fumées des industries et des centres urbains introduisent du dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) et des oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) dans l'atmosphère. Lorsque ces composés atteignent le sol avant d'être oxydés, on a un "dépôt sec", qui, selon les conditions, peut se produire à proximité ou à une grande distance de la source d'émission. Si ces composés restent suffisamment longtemps en suspension dans l'atmosphère, l'énergie solaire les oxyde et les transforme en acides sulfurique et nitrique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> et HNO<sub>3</sub>). Ces acides se dissolvent dans la pluie et la neige, formant des ions sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), des ions nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et des ions hydrogène (H<sup>+</sup>). (Une partie des ions H<sup>+</sup> est neutralisée par l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) atmosphérique et donne des ions ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)). Lorsque l'on se réfère à de la pluie ou de la neige contenant des ions de ce type, on parle de "dépôt humide" ou de "précipitation acide".*

*Emportés par la pluie ou la neige jusqu'aux forêts, aux lacs et aux terres agricoles, les ions influent sur l'activité chimique du sol et de l'eau, modifiant l'équilibre naturel. Bien que leurs effets soient plus évidents près des sources d'émissions, avec le temps ils se manifestent à des centaines, voire des milliers de kilomètres plus loin. Pendant l'hiver canadien, une grande partie de ces matières sont emprisonnées dans la neige et libérées massivement lors de la fonte du printemps, avec augmentation correspondante et soudaine du taux d'acidité. (Voir p. 23)*



"L'impact destructif potentiel des pluies acides sur les forêts se limite surtout à l'Est canadien, nous confie Peter Rennie. Ce sont surtout les effets toxiques de l'absorption de métaux lourds qui nous préoccupent, mais nous examinons tous les aspects du phénomène de dépôt acide. Au Canada, nous cultivons de 300 à 400 millions de jeunes plants par année, et nous ne voudrions pas que quoi que ce soit vienne mettre cette production en péril."

### Effets sur les terres agricoles

"Les forêts, qui poussent surtout sur des terres inexploitées, sont plus sensibles aux problèmes liés aux précipitations acides que les récoltes qui poussent sur des terres cultivées", explique le Dr Sam Linzon, de la Section de phytotoxicologie du ministère de l'Environnement de l'Ontario. "Personne, à notre connaissance, n'a mis en évidence de façon concluante quelque effet visible que ce soit des pluies acides naturelles sur les récoltes. La raison en est, notamment, qu'en plus de cultiver, d'arroser et d'amender le sol, les cultivateurs y ajoutent au besoin de la chaux pour maintenir le bon pH. Ils surveillent déjà l'acidité du sol."

Toutefois, des expériences sous conditions contrôlées simulant des

pluies acides ont démontré que ces dernières ont le potentiel de produire des effets néfastes sur les récoltes cultivées. Ces effets comprennent des lésions visibles dans les tissus végétaux, la perte par les feuilles de nutriments comme le calcium, le magnésium et le potassium, et la réduction de la croissance et du rendement des récoltes. Les pluies acides peuvent aussi nuire à la fixation de l'azote, par leur effet sur les populations bactériennes, et exercer des contraintes sur la pollinisation et d'autres processus de reproduction.

"C'est une zone controversée et ambiguë, dit Linzon. Selon la méthodologie employée, les résultats des expériences sont très variables." Pour minimiser cette limitation, le groupe de Linzon s'est joint à cinq organismes américains dans le but de faire des expériences dans lesquelles toutes les variables possibles seraient standardisées, comme la composition du sol, le type des plantes, et la composition et la fréquence des arrosages. "Les résultats furent passablement uniformes, dit Linzon, parce que nous avons utilisé le même mélange de sol, la même recette de pluie, la même durée et le même nombre de traitements, ainsi que les mêmes espèces et le même cultivar (dans ce cas, le radis Bell Cherry). La lumière solaire ici est différente de celle que l'on a plus au sud, et cela a probablement introduit une variable qui a affecté la récolte que nous avons faite en vue d'en comparer les résultats à ceux des Américains."

Les expériences ont eu lieu dans une installation à environnement contrôlé, à Brampton (Ontario), qui sert à l'étude des effets des polluants atmosphériques sur les récoltes et les arbres. Cette installation comprend quatre grands terrains, dont trois peuvent être couverts dans les 30 secondes qui suivent le début de la pluie par des abris de type serre que l'on déplace sur des rails pour recouvrir les terrains. Le quatrième, qui reçoit la pluie naturelle, constitue le terrain témoin. Les abris sont informatisés et comportent des systèmes de jet qui permettent l'arrosage avec différents mélanges d'eau, d'une hauteur suffisante pour donner une vélocité adéquate aux gouttelettes.

Le travail qui se fait à Brampton est une source de renseignements sur la sensibilité et la résistance de divers espèces et cultivars, ainsi que sur les effets des polluants sur la croissance et le rendement.

Mais on sait encore trop peu de choses sur les effets des pluies acides sur les récoltes. Pour certains sols pauvres en soufre de l'Ouest canadien, la présence de gaz sulfureux (dioxyde de soufre) dans l'atmosphère peut en fait améliorer la productivité des plantes, mais l'exposition à des concentrations élevées de ce produit cause des dommages et entraîne la mort. On a démontré que des cations (atomes et molécules chargés positivement), substances qui règlent la croissance des plantes, et d'autres matières sont lessivés par les pluies acides et que, pour beaucoup de matières, le taux de cette élimination augmente avec l'acidité.

En 1981, le sous-comité sur les pluies acides de la Chambre des communes canadienne déclarait: "En Alberta, la présence de dioxyde de soufre dans l'atmosphère a été associée à des déficiences en sélénium, lesquelles peuvent causer une maladie physiologique grave chez le bétail", parce que les animaux se nourrissent de végétaux riches en soufre.

### Observation de l'atmosphère

Personne ne prétend que les substances acides risquent de modifier les conditions météorologiques, mais, vu que l'atmosphère est le moyen de transport des pluies acides, on a entrepris d'importantes investigations dans ce domaine. "Ces travaux se divisent en trois catégories principales, d'importance à peu près égale", explique le Dr Doug Whelpdale, du Service de l'environnement atmosphérique (SEA) d'Environnement Canada. "La première couvre l'activité des réseaux de surveillance, la deuxième, la création de modèles atmosphériques, et la dernière, la recherche sur les phénomènes qui se produisent dans l'atmosphère."

En 1982, le Comité associé sur les critères scientifiques concernant l'état de l'environnement, créé par le Conseil national de recherches, patronnait un "symposium sur la surveillance et l'évaluation des polluants en suspension dans l'air et

Sensibilité des organismes aquatiques à la baisse du pH dans l'eau douce

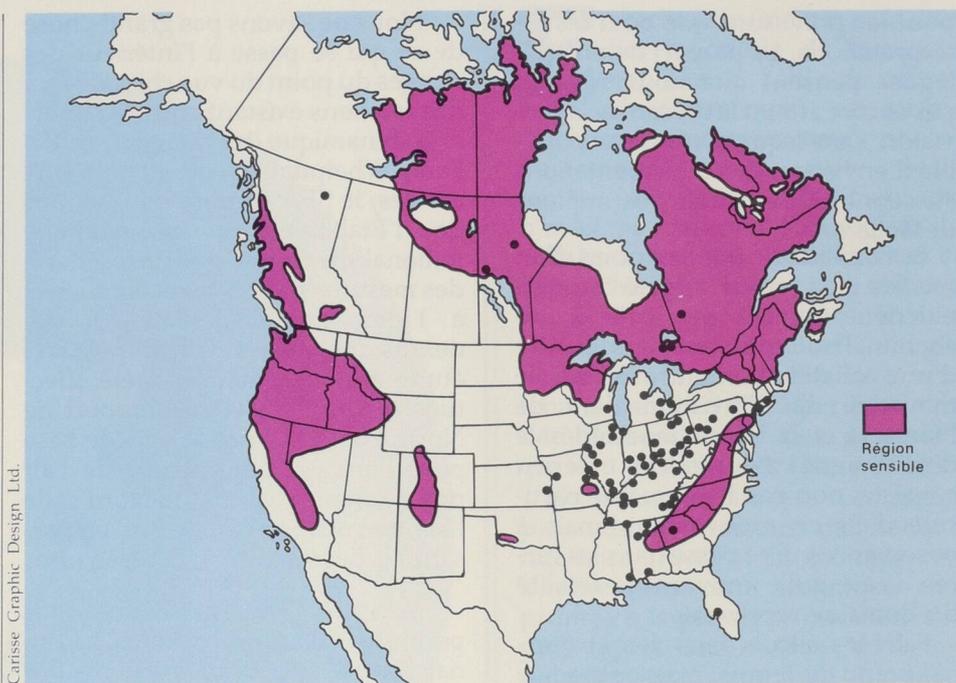


notamment sur le transport à grande distance et le dépôt de substances acides". Le but de cette réunion était d'échanger des idées sur les méthodes d'échantillonnage et d'analyse des polluants atmosphériques et d'améliorer les réseaux nationaux de surveillance.

Dans le cas qui nous intéresse, la surveillance consiste essentiellement à mesurer systématiquement la composition des précipitations. Il existe environ 20 réseaux au Canada totalisant environ 150 stations, le réseau du SEA étant le plus important avec ses quelques 50 stations. Les stations sont situées sur des emplacements représentatifs des régions où elles se trouvent, et l'on a pris soin, en choisissant les sites, qu'ils ne soient pas affectés par la proximité des villes. Régulièrement, les réseaux prélèvent des échantillons, y recherchant les constituants acides, surtout les sulfates, les nitrates et les ions hydrogène, et l'on utilise les données analytiques pour dresser une carte de l'importance et de l'étendue géographique du dépôt, ainsi que des tendances du phénomène du point de vue fréquence et durée. "Nous essayons de tirer le plus de renseignements possible de ces données", ajoute Whelpdale.

"Nous avons commencé ce travail de cartographie en 1976 et disposons maintenant d'une bonne définition spatiale du problème du dépôt acide. Nous avons une assez bonne idée de la teneur des précipitations en substances acides au Canada, ainsi que des variations dans les proportions de sulfates et de nitrates d'une saison à l'autre. Ce qui nous intéresse plus particulièrement maintenant, c'est le changement dans le temps. Il est difficile d'obtenir des réponses décisives, parce que les observations météorologiques sont faussées par les interférences dues à la variabilité naturelle. Mais aussi difficile que ce soit, il faut y parvenir parce que nous voulons comparer les changements dans le dépôt avec les changements dans l'émission."

Whelpdale estime que les deux tiers environ de ce qui est émis dans l'est de l'Amérique du Nord, région où le problème se manifeste avec le plus d'acuité, retombent sur son sol. Le reste, pense-t-on, est dissipé au-dessus de l'océan Atlantique. "Jus-



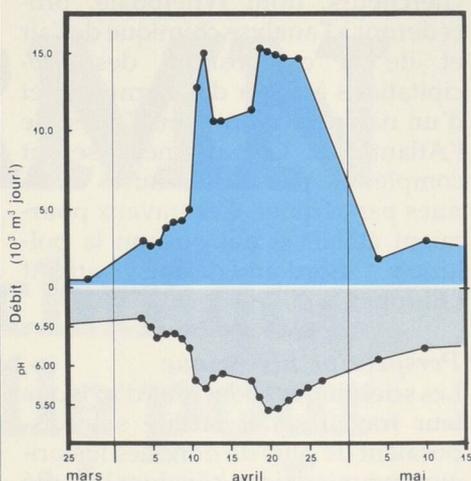
Carisse Graphic Design Ltd.

adaptation d'une figure fournie par l'ambassade canadienne

qu'à présent, nous ne mesurons que le dépôt acide "humide", c'est-à-dire les précipitations acides, dit-il, mais environ la moitié de ce qui est déposé dans l'est de l'Amérique du Nord l'est sous forme de dépôt "sec", difficile à mesurer de façon systématique et que l'on doit estimer sur la base de mesures de la concentration atmosphérique dans quelques endroits sélectionnés."

Certaines régions de l'Amérique du Nord ont une capacité tampon naturelle insuffisante et sont donc particulièrement sensibles aux effets des pluies acides. Ces régions, représentées en couleur sur cette carte, englobent une grande partie des zones forestières et de pêche du Canada. Les points noirs indiquent les principales sources d'émission de dioxyde de soufre.

Chute printanière du pH d'un cours d'eau



La fonte des neiges au printemps produit un apport frais de matières acides dans les lacs et les cours d'eau, provoquant une baisse importante du pH qui durera des jours, voire des semaines. Cette période est cruciale pour une bonne partie des différentes formes de vie qui peuplent nos cours d'eau; c'est en effet à ce moment que les oeufs sont déposés et que les jeunes poissons à peine nés commencent leur vie en devant affronter ce choc chimique.

Carisse Graphic Design Ltd. — adaptation d'une figure fournie par Environnement Canada.

Le but du travail de modélisation est de simuler tout l'itinéraire, en partant des sources importantes d'émission jusqu'au dépôt acide final sous forme humide ou sèche, en passant par le transport atmosphérique, la diffusion et les phénomènes chimiques qui prennent place dans l'atmosphère. "Jusqu'à il y a environ 10 ou 15 ans, précise Whelpdale, on considérait que la pollution était surtout un problème local à impact marqué. Nous savons maintenant que ses effets peuvent s'étendre sur des aires beaucoup plus grandes. Il existe plusieurs types de modèles de transport à grande distance, mais nous avons surtout utilisé jusqu'ici celui qui est connu sous le nom de "modèle lagrangien". Ce modèle consiste à suivre tout simplement une particule d'air dans son déplacement au-dessus du continent. Le programme informatique est relativement peu coûteux et donne des résultats qui corroborent assez bien nos observations.

"Notre but est de développer suffisamment nos modèles pour pouvoir nous en servir aussi bien

pour les prévisions que pour les interprétations. La plupart de nos collègues pensent que nous n'avons pas encore atteint le niveau de la prévision, sans lequel il n'est pas possible d'envisager des réglementations susceptibles de coûter des millions de dollars."

Les travaux de mise au point d'un modèle plus évolué, appelé "modèle eulérien", sont à peu près à mi-chemin. Ils s'inscrivent dans le cadre d'une collaboration entre le SEA, le ministère de l'Environnement de l'Ontario et la République fédérale d'Allemagne. Le modèle eulérien consiste, non pas à suivre une particule d'air en mouvement, mais à observer ce qui se passe dans les carrés d'une grille couvrant la totalité du domaine représenté.

Faire les calculs dans chaque "carré" prend du temps, mais ce modèle donne une représentation plus exacte des phénomènes qui ont lieu dans l'atmosphère. Il peut, d'autre part, être utilisé pour de plus courtes durées que les autres modèles, et les scientifiques voudraient s'en servir pour examiner des épisodes particuliers de dépôt acide.

Le troisième volet du travail sur l'atmosphère, l'étude du processus chimique, est celui "où nous devons choisir soigneusement les régions qui en ont le plus besoin et combiner ces choix avec les ressources dont nous disposons, parce que c'est sur ce plan que nous sommes le plus limités", explique Whelpdale.

CAPTEX (acronyme de Cross-Appalachian Tracer Experiment) est un projet canado-américain à grande échelle qui repose sur l'emploi d'un traceur atmosphérique unique pour suivre les phénomènes de transport et de dispersion sur des distances pouvant atteindre des centaines et même des milliers de kilomètres. Le traceur utilisé est le perfluoro-monométhyl-cyclohexane, ou PMCH, composé inerte, non toxique, qui ne se dépose pas dans l'atmosphère, n'est pas présent dans la nature et qui peut être décelé en quantités infinitésimales. Durant l'automne de 1983, on a procédé à sept émissions: cinq à Columbus (Ohio) et deux à Sudbury (Ontario). Au total, on a prélevé plus de 4 600 échantillons du sol et de l'atmosphère, à des distances de 300 à 1 100 km du lieu d'émission.

"Nous ne savons pas grand-chose de ce qui se passe à l'intérieur des nuages du point de vue chimique, ni des relations existant entre la chimie et la dynamique des nuages", confie Doug Whelpdale. Pendant plusieurs années, le SEA a utilisé deux avions de l'Établissement aéronautique national du CNRC pour procéder à des mesures physiques et chimiques à l'intérieur, au-dessous et au-dessus des nuages. Une importante étude en milieu naturel a été effectuée (hiver 1983-84). L'aéroport de North Bay (Ontario) a servi de base pour l'analyse quantitative de l'air propre en provenance du Nord et de l'air plus pollué venu du Sud en passant au-dessus du parc Algonquin.

Un autre programme qui nous permettra d'approfondir nos connaissances sur le phénomène des pluies acides est le "Western Atlantic Ocean Experiment". Il s'agit d'une initiative conjointe du SEA, de l'U.S. National Oceanographic and Atmospheric Administration, de la NASA et des universités de la Virginie et du Delaware. Elle a pour objectif d'étudier la pollution nord-américaine dans une optique hémisphérique, en mesurant la quantité de polluants qui quittent l'Amérique du Nord et se déplacent vers l'est et la proportion qui tombe dans l'océan. Des chercheurs, dont Whelpdale, procéderont à l'analyse chimique de l'air et de la composition des précipitations à partir des Bermudes et d'un navire croisant dans l'ouest de l'Atlantique. Ces données seront complétées par des mesures obtenues par aéronef. Ces travaux pourraient établir si oui ou non la pollution nord-américaine atteint l'Europe.

### *Perspective historique*

Les scientifiques sont tous d'avis que leur travail serait facilité s'ils disposaient de plus de données historiques pour les aider à évaluer la santé relative de l'environnement et à faire des pronostics. On possède toutefois diverses sources indirectes de renseignements sur l'état de l'environnement au cours des décennies passées. Par l'examen de carottes sédimentaires prélevées au fond des lacs, ou l'étude de la composition chimique des anneaux des arbres et d'échantillons provenant

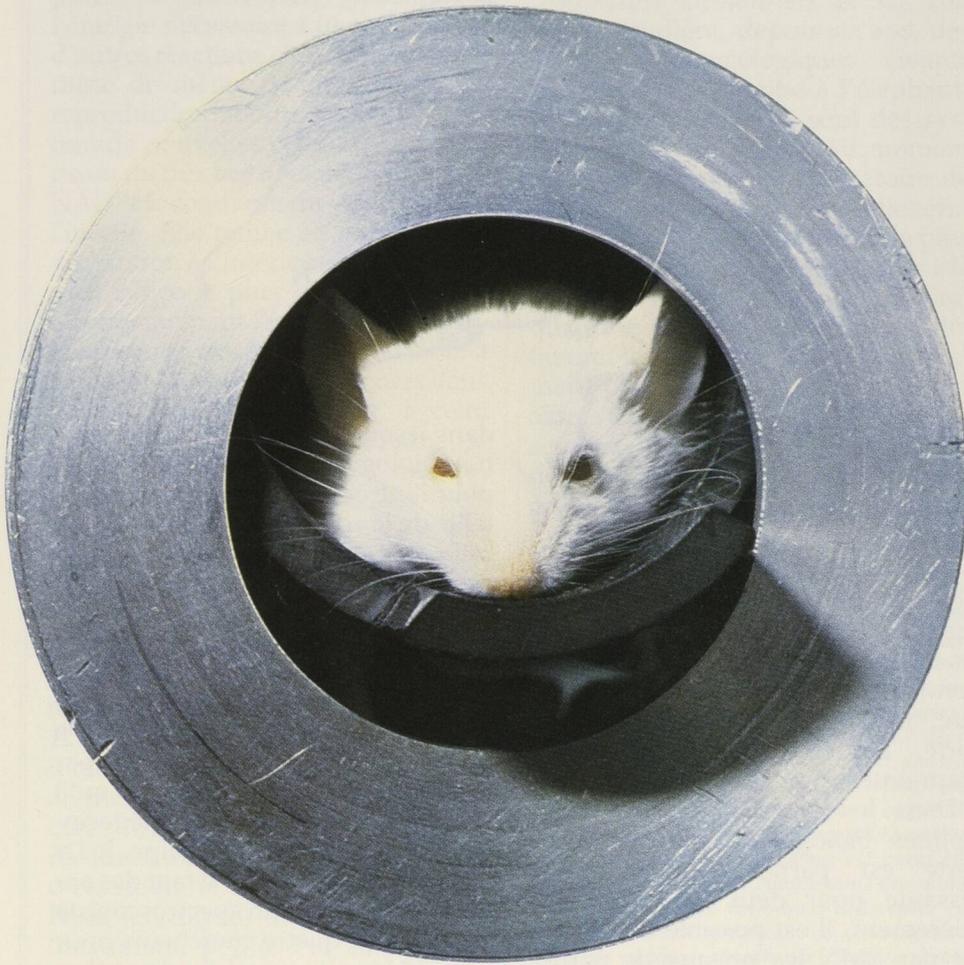
de glaciers, on peut obtenir un état évolutif annuel du passé que les chercheurs peuvent "lire". Les renseignements tirés de ces sources indiquent clairement que, depuis environ 1920, il y a eu un changement substantiel dans la chimie de l'environnement aquatique et terrestre.

"Nous constatons dans les anneaux des arbres des régions polluées, une augmentation dans l'absorption des métaux et des changements en général dans la composition des sédiments", explique le Dr Hans Martin, du Service de l'environnement atmosphérique. "Nous avons observé, en particulier, des changements spectaculaires dans les composés de soufre des lointains glaciers du Groenland et de l'Arctique canadien, que nous ne pouvons attribuer qu'à l'augmentation des émissions d'origine industrielle.

"Une grande partie des travaux actuels, dit Martin, consiste en des études et des essais sur des communautés biologiques, qui nous serviront de référence pour évaluer les contraintes qui s'exerceront sur l'environnement dans l'avenir et nous permettront d'évaluer l'efficacité de nos mesures correctives. Ce que nous espérons voir, bien sûr, c'est une réponse de l'environnement directement proportionnelle aux mesures prises."

Martin estime que l'effort consacré à l'étude des pluies acides est assez comparable à celui qui a été déployé par les scientifiques canadiens et américains pour résoudre le problème de l'eau des Grands Lacs dans les années 1950 et 1960. "Il s'agissait d'un problème international d'une grande portée. Nous n'étions pas sûrs de la cause de l'eutrophisation observée dans les lacs, mais, en dépit de notre connaissance scientifique trop limitée, nous avons pris des initiatives courageuses. L'hypothèse selon laquelle les phosphates étaient responsables du mauvais état des lacs s'est révélée juste et nous avons résolu le problème en dépensant des milliards de dollars pour leur traitement. Quant au problème des précipitations acides, sa solution sera sans doute coûteuse elle aussi." ☾

*Bruce Henry est un rédacteur indépendant de Toronto.*



Dan Getz

# La RMN

Une technique  
nouvelle pour  
l'exploration du  
métabolisme

par Madeleine Vaillancourt

**E**n recherche fine, on peut étudier la cellule de bien des manières, à l'aide de microscopes de divers types, par microdissection, micropuncture, photomicrographie et le reste. Mais jamais, jusqu'à tout récemment, on n'avait pu observer l'activité de la cellule, son métabolisme interne et ses échanges avec les cellules voisines. Et ce, sans troubler le milieu ambiant ou nuire à l'organisme. En bref, on possède maintenant le moyen d'étudier in vivo le déroulement même des processus qui font de nous des êtres vivants.

On le fait par l'analyse spectroscopique de la résonance magnétique nucléaire (RMN). En biologie, on s'intéresse à cette technique empruntée à la physique nucléaire depuis la fin des années 50. Selon un chercheur américain pionnier de ses applications médicales, Raymond Damadian, elle représente "le bouleversement le plus profond à survenir en médecine depuis plus de 400 ans, peut-être même la révolution la plus significative de toute l'histoire de la médecine". Sur cette lancée, on pourrait en dire autant des multiples applications de cette technique en biologie et en biochimie.

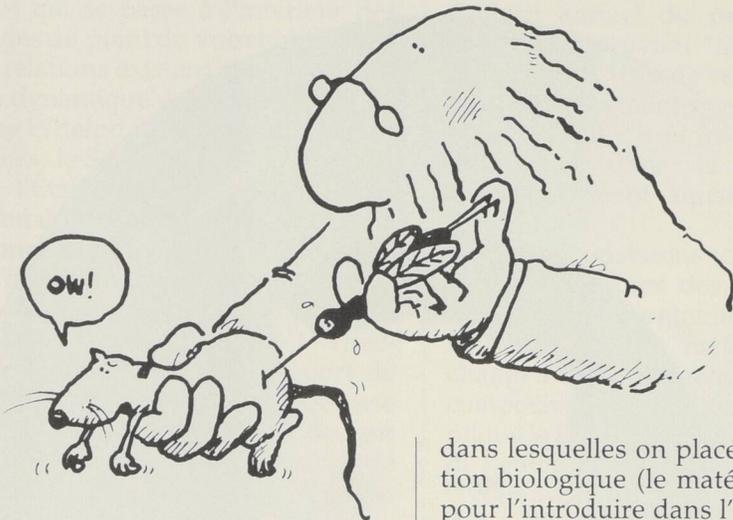
Dans les laboratoires de biophysique moléculaire du Conseil national de recherches du Canada (CNRC), à Ottawa, la spectroscopie (analyse de fréquences) par résonance magnétique nucléaire (RMN) est la préoccupation principale d'une équipe multidisciplinaire comprenant actuellement une biologiste, un chimiste, deux physiologistes, un vétérinaire, une physicienne, plusieurs chercheurs visiteurs et étudiants sous la direction de Ian Smith, lui-même physico-chimiste. Avant de décrire leurs travaux, il convient de situer leur champ d'investigation. Il englobe "la totalité des processus complexes et incessants de transformation de matière et d'énergie au coeur des cellules", soit leur métabolisme.

On entre ici dans le monde de l'infinimental. L'infime cellule est en-

*Comme un astronaute dans sa capsule, une souris à bord d'une sonde. Sous elle, une bobine d'induction pour capter et émettre les signaux radio qui renseigneront les chercheurs sur son métabolisme hépatique.*

core assez grosse pour être vue au microscope et contenir des millions de molécules de nature et de fonctions très diverses. Ces molécules sont autant de particules formées d'atomes dotés chacun d'un noyau appelé nucléon, lequel se divise lui-même en neutrons et protons qui sont en constante interaction. À ce palier de l'infiniment petit on ne peut plus voir l'activité nucléaire, mais on peut la détecter au moyen de techniques de plus en plus raffinées. La RMN est la dernière née de ces techniques. Non seulement elle renseigne sur la composition nucléaire des cellules vivantes mais aussi sur leur activité.

Au début des années 50, deux physiciens américains, Félix Bloch, de l'université Stanford, et Edward Purcell, de l'université Harvard, se méritent le prix Nobel de physique en découvrant que les atomes dont le nucléon présente un nombre impair de protons ou de neutrons tournent sur eux-mêmes comme des toupies et engendrent un faible champ magnétique. On dit en langage scientifique qu'ils ont un 'spin non nul'. Cette particularité les rend semblables à autant de mini barreaux aimantés dont les pôles sont orientés au hasard. Quand on les met en présence d'un aimant à fort champ magnétique, leurs pôles s'alignent 'comme des soldats à la parade', soit dans la direction du champ magnétique, et ils ont alors un spin parallèle, soit dans le sens opposé résultant en un spin antiparallèle. Cette distinction est importante, les énergies du noyau étant légèrement différentes pour ces deux orientations. Quand une radiofréquence appropriée vient alors frapper le champ magnétique à angle droit, les nucléons font un quart de tour et virevoltent à l'unisson. Quand on interrompt l'émission, les nucléons se réalignent plus ou moins lentement, selon leur nature et leur environnement chimique, avec le champ magnétique. Pendant cet intervalle de temps appelé "temps de relaxation", ils produisent un champ magnétique oscillant. On dit alors qu'ils résonnent. Chaque catégorie de nucléon à spin non nul possède sa fréquence de résonance spécifique qui se manifeste quand on l'expose à une radiofréquence correspondant à celle de son spin. De plus les nu-



cléons subissent l'influence du champ électrique des électrons qui les environnent et c'est ce qui leur donne leur fréquence caractéristique, leur "signature" en quelque sorte, aussi distinctive que des empreintes digitales.

Dans le vaste champ des disciplines biologiques, cette découverte est particulièrement intéressante pour deux raisons: premièrement, il est possible de détecter par RMN les noyaux de particules, comme l'hydrogène-1, le carbone-13 et le phosphore-31, qui jouent un rôle important dans les structures et la chimie des systèmes vivants. Deuxièmement, la composition chimique de l'environnement de ces nucléons modifie leur absorption des fréquences. Il s'ensuit que la RMN révèle au chercheur dans quelle sorte de molécule se trouve le nucléon détecté, et lui offre la possibilité de suivre, en temps réel, le processus dynamique des réactions chimiques au fur et à mesure qu'elles se produisent au sein des cellules.

L'appareil utilisé pour les expériences au laboratoire de biophysique moléculaire du CNRC ressemble à une énorme cloche de métal poli. Elle abrite l'aimant géant relié à une console dans laquelle se trouvent les instruments de spectroscopie et de modulation de fréquences servant à produire les signaux transmis à l'ordinateur. Sur une étagère voisine s'alignent de grands cylindres de métal. Ce sont les sondes

dans lesquelles on place la préparation biologique (le matériau vivant) pour l'introduire dans l'appareil. La taille de la sonde détermine et limite celle de l'échantillon de travail. Un espace très restreint lui est réservé à l'intérieur du cylindre.

Tout chercheur qui se joint à l'équipe toujours changeante du Dr Smith au laboratoire de biophysique moléculaire du CNRC doit s'initier à la biologie et à la spectroscopie par RMN à partir de sa spécialité, qu'il soit physicien, chimiste ou médecin. Selon la biologiste de l'équipe, le Dr Roxanne Deslauriers, "il faut des années pour former un spectroscopiste et de deux à quatre chercheurs pour mener à bien une expérience en physiologie. Le temps presse du fait que nous travaillons sur du matériel vivant et c'est pourquoi il faut s'y mettre à plusieurs. Nous essayons de résoudre des problèmes d'ordre biologique surtout par des techniques de RMN et il s'agit de recherche fondamentale."

Le métabolisme. Bien que ce mot désigne l'ensemble immensément complexe des activités chimiques de la cellule, on peut toutefois décrire la réalité qu'il recouvre en termes relativement simples. Les molécules alimentaires comme le glucose se dégradent sous l'action d'enzymes selon un processus soigneusement régularisé et leur énergie se convertit en molécules hautement énergétiques d'adénosine triphosphate (ATP) et de nicotinamide-adénine dinucléotide (NADPH). Ces molécules fournissent leur énergie à tous les systèmes vivants et servent de moteur à la cellule pour toutes ses activités d'édification moléculaire. ATP et NADPH servent à la formation des protéines, des glucides et

des lipides dont la cellule a besoin pour se structurer, fournissent l'énergie nécessaire à une multitude d'autres réactions chimiques de synthèse de même qu'au système de reproduction aboutissant à la création de nouvelles cellules. La pénurie ou un très bas niveau d'ATP et de NADPH condamnent la cellule à l'inertie. Elle tombe en panne. Leur disparition à l'intérieur d'une cellule est l'indice le plus sûr de sa mort. Comme on peut l'imaginer, le métabolisme est extrêmement sensible à l'effet des substances présentes dans l'environnement cellulaire, à celui notamment d'aliments comme le glucose; ou encore aux médicaments, aux poisons, ou aux perturbations profondes causées, par exemple, par l'invasion d'organismes porteurs de maladie.

Bien qu'on ne puisse détecter par RMN la plupart des noyaux de carbone dans les organismes vivants (en majorité des atomes de carbone-12), les chercheurs sont en mesure d'identifier spécifiquement les atomes de carbone dans les molécules de glucose, par exemple, par le recours à un traceur, le carbone-13 et d'en suivre la dégradation métabolique (glycolyse) dans le foie (Voir illustration, p.28). Par ailleurs, les atomes de phosphore entrant dans la composition des molécules hautement énergétiques (ATP et NADPH) résultant du transfert d'énergie sont en majorité de type P-31 et peuvent être détectés par RMN sans recourir

à un traceur. (voir illustration, p.29)

Roxanne Deslauriers et ses collègues étudient, depuis six ans, des systèmes physiologiques vivants par RMN. De l'amibe à l'éléphant, tous les êtres vivants sont des systèmes physiologiques. Au moment de notre passage au laboratoire de biophysique moléculaire, elle étudiait une amibe. "L'amibe est la plus simple des cellules animales. Elle a la propriété de s'enkyster, c'est-à-dire, quand le milieu ambiant lui est défavorable, de s'engourdir chimiquement parlant. Son métabolisme est alors moins intense; elle devient semblable à une spore. Notre but est de suivre dans l'organisme unicellulaire de l'amibe les change-

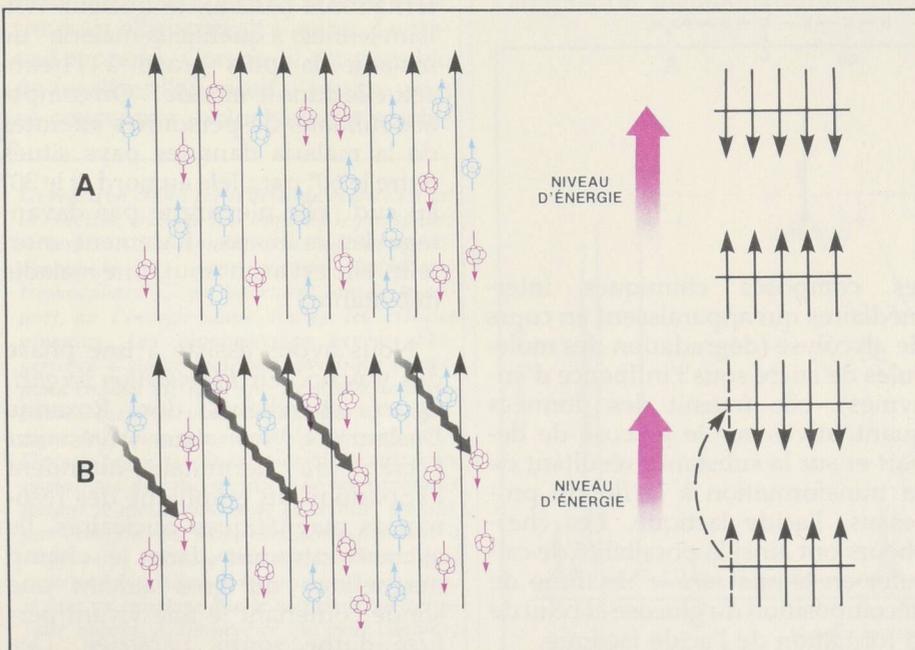
*L'analyse spectroscopique par RMN. Les atomes dont le nucléon présente un nombre impair de protons ou de neutrons, comme l'hydrogène-1, le carbone-13 et le phosphore-31, deviennent semblables à autant de minibarreaux aimantés quand on les place dans un champ magnétique (B<sub>0</sub>). Ils s'alignent alors comme des soldats à la parade, soit dans la direction du champ magnétique (bleu), soit dans le sens opposé (rouge). Comme on peut le voir (A), l'énergie des noyaux est légèrement plus basse quand l'alignement est parallèle. Lorsqu'un échantillon comprenant des molécules de structures chimiques différentes est soumis à une radiofréquence (B<sub>1</sub>) chaque catégorie de nucléon absorbe de l'énergie à une fréquence spécifique (semblable à une empreinte digitale chez l'humain), il "résonne". Ce faisant, il se réaligne dans le sens opposé (voir B, à droite). Ce réalignement se traduit par un pic d'absorption dans le spectre RMN caractérisant une espèce chimique particulière.*

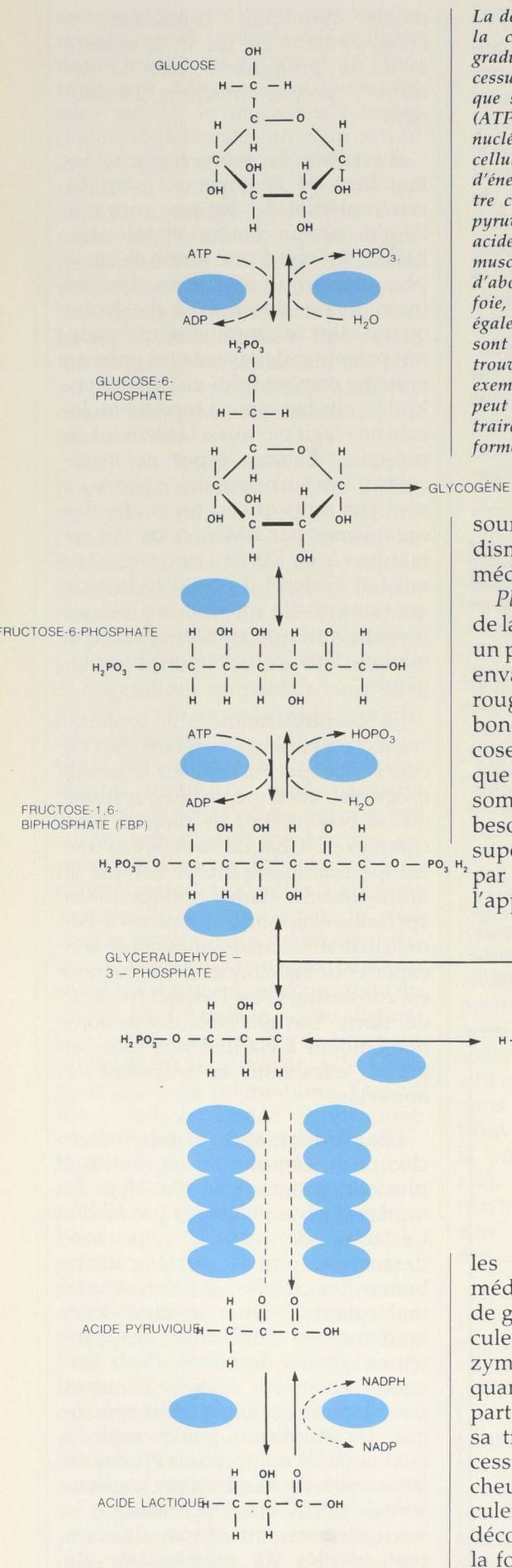
ments chimiques conduisant à l'enkystement au fur et à mesure qu'ils se produisent, sans la détruire", précise madame Deslauriers.

Au cours de leurs travaux, les membres de l'équipe ont identifié une molécule 'double peu courante de glucose (un dimère) appelée tréhalose; il s'agit d'une forme de sucre plus inerte que les autres dimères (nom qu'on donne à 2 molécules quand elles se combinent) qui pourrait présenter des avantages pour un système comme celui de l'amibe enkystée, du fait que ce type de molécule ne réagit pas aussi facilement en présence d'autres types de molécules. "Les surprises de ce genre ne sont pas rares quand on étudie des organismes par RMN, nous fait remarquer le Dr Deslauriers, et c'est ce qui fait l'intérêt de cette technique qui nous révèle souvent la présence insoupçonnée de substances biochimiques dans les systèmes physiologiques".

La biophysicienne dit toujours "nous" en parlant des recherches en cours. Elle met l'accent sur le travail d'équipe. "En biologie, les questions qui se posent sont de plus en plus complexes. Chaque membre d'une équipe multidisciplinaire comme la nôtre travaille dans l'optique de sa spécialité et apporte aux autres le bénéfice de ses connaissances et de son expérience spécifique. L'interaction est constante. C'est l'aspect créateur de notre travail. Nos discussions nous aident à clarifier nos idées et parfois elles nous en inspirent de nouvelles."

Elle participe avec les autres chercheurs de l'équipe de Ian Smith à plusieurs programmes d'analyse de systèmes physiologiques par RMN. Certains, de nature plus fondamentale, portent sur les membranes des cellules, leurs structures moléculaires, leurs composantes lipidiques et l'influence des protéines sur ces dernières. (Voir Science Dimension, 1979/4). D'autres poursuivent un objectif plus spécifique. Le paludisme, par exemple, a fait l'objet de nombreuses études au laboratoire de biophysique moléculaire du CNRC et le Dr Deslauriers et ses collègues ont étudié diverses particularités du métabolisme de





La dégradation métabolique du glucose dans la cellule. La molécule est décomposée graduellement sous l'action d'enzymes (processus appelé glycolyse) et son énergie chimique se convertit en adénosine triphosphate (ATP) et en nicotinamide-adénine dinucléotide (NADPH). Il est à noter que les cellules obtiennent normalement une quantité d'énergie beaucoup plus grande que ne le montre ce graphique par l'oxydation de l'acide pyruvique qui se dégrade complètement en acide carbonique et en eau. Dans les cellules musculaires, l'acide pyruvique se convertit d'abord en acide lactique que le sang amène au foie, siège de cette oxydation. Il est à noter également que toutes ces réactions chimiques sont réversibles. Quand l'acide lactique se trouve en abondance, comme c'est le cas, par exemple, quand on a fait de l'exercice, le foie peut métaboliser les substances en sens contraire et emmagasiner le surplus d'énergie sous forme de glycogène (polymère de glucose).

souris atteintes de malaria (paludisme), de même que les effets des médicaments antipaludiques.

*Plasmodium berghei* est le parasite de la malaria chez les rongeurs. C'est un protozoaire unicellulaire qui peut envahir jusqu'à 90% des globules rouges du sang. En utilisant du carbone-13 comme traceur pour le glucose, l'équipe du CNRC a démontré que si les globules rouges sains consomment peu de sucre, ils en ont besoin de quantités jusqu'à 20 fois supérieures quand ils sont infectés par *Plasmodium berghei*. Bien que l'appareil RMN ne puisse détecter

les composés chimiques intermédiaires qui apparaissent en cours de glycolyse (dégradation des molécules de sucre sous l'influence d'enzymes), elle fournit des données quantitatives sur le glucose de départ et sur la substance résultant de sa transformation à la fin du processus, l'acide lactique. Les chercheurs ont ainsi la possibilité de calculer en temps réel le rythme de décomposition du glucose et celui de la formation de l'acide lactique.

L'équipe a ensuite étudié les effets sur les globules rouges de souris atteintes de la malaria de médicaments comme la quinine, la quinaquine, la chloroquine et la primaquine. Ils ont constaté que la dégradation glycolytique du glucose se ralentissait beaucoup, ce qui donne une idée de la manière dont ces médicaments agissent pour soulager les symptômes de cette maladie.

Les chercheurs ont également voulu savoir comment le foie s'accommode de la grande quantité d'acide lactique charrié normalement par le sang de la souris parasitée. Pour les fins de leur analyse, ils se sont servis de nouveau du carbone-13 comme traceur pour observer la décomposition de l'acide lactique au fur et à mesure que les cellules hépatiques le reconvertissent en glucose. Il s'agit d'un processus métabolique appelé néoglycogénèse qui est l'inverse de la glycolyse ou dégradation des sucres, et permet au foie de débarrasser l'organisme de son excès d'acide lactique. "Bien que les foies sains et atteints produisent du glucose, nous a expliqué le Dr Deslauriers, les organes affectés par la malaria ne semblent pas le faire aussi efficacement."

Il se trouve, dans le cas présent, que les résultats de la recherche fondamentale présentent une application dans l'immédiat. Un expert des sciences de la santé de l'Agence canadienne de développement international (ACDI), le docteur William Jeanes, a qualifié la malaria "de maladie la plus grave à l'heure actuelle dans le monde". On compte 600 millions de personnes atteintes de la malaria dans les pays situés entre le 60<sup>e</sup> parallèle au nord et le 30<sup>e</sup> au sud. Elle n'épargne pas davantage les animaux. Rarement mortelle, elle est avant tout, une maladie débilitante.

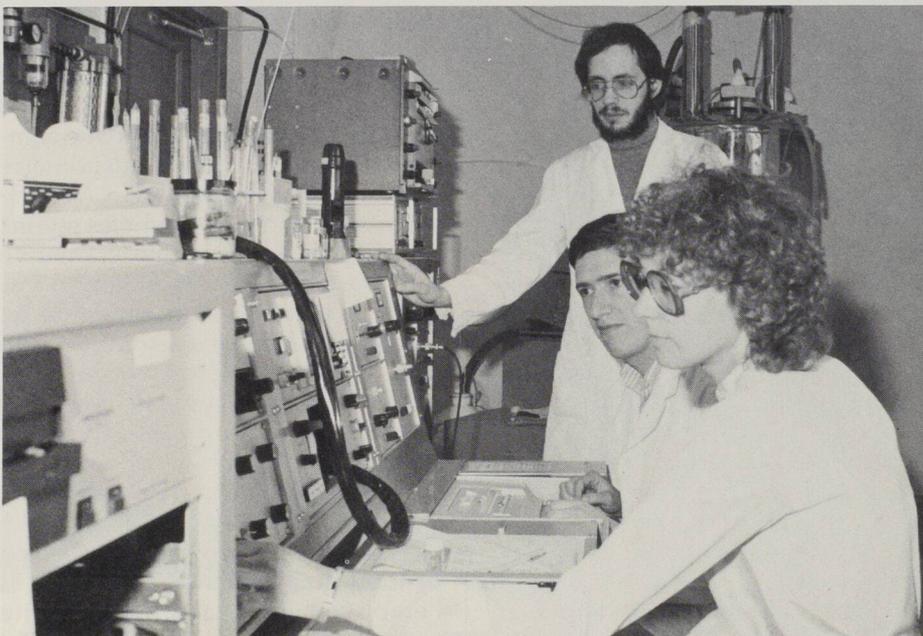
Nous avons assisté à une phase des travaux sur *Plasmodium berghei*. Quatre chercheurs, dont Roxanne Deslauriers, les yeux rivés sur l'écran du terminal, attendent l'apparition du graphique des résonances magnétiques nucléaires. Ils avaient introduit dans le champ magnétique du gros aimant une sonde contenant le foie vivant perfusé d'une souris parasitée. Des

pics, des hachures se dessinent. Quelque chose ne va pas. On me désigne, au bas du graphique, un trait lumineux collé à la ligne de départ. Les quatre experts en connaissent la signification. En dépit des précautions qui ont entouré l'excision et la perfusion du viscère (on irrigue le foie avec les solutés nécessaires au maintien des fonctions vitales), l'organe n'a pas survécu, son niveau d'ATP est à zéro. Quand le pic des résonances caractéristiques d'ATP ne se dessine pas sur l'écran, c'est que l'organisme (ou organe) analysé est mort.

Le Dr Ian Smith nous signale une application pratique de cette observation scientifique. Les transplantations d'organes humains — cœur, rein ou foie — placent invariablement le chirurgien dans un dilemme. Il ne peut être certain que l'organe qu'il s'apprête à implanter, aussi sain et intact qu'il puisse paraître, est encore vivant. À l'université d'Oxford, en Grande-Bretagne, des chercheurs ont mis au point un appareil de spectroscopie par RMN permettant, par l'analyse du niveau d'ATP, d'établir rapidement et sans danger pour l'organe étudié si oui ou non il est viable.

Pour revenir à l'expérience en cours dans le laboratoire de biophysique moléculaire du CNRC, Roxanne Deslauriers trouve une souris parasitée assez petite pour qu'on l'introduise, légèrement anesthésiée, dans la sonde. Son séjour dans le tube ne risque pas de la faire souffrir mais elle pourrait s'agiter. Le travail reprend. Comme il est possible de focaliser l'appareil, l'équipe peut se concentrer exclusivement sur les

La réaction chimique réversible décrite ici est la réaction critique par laquelle le phosphate minéral (A) se combine à l'adénosine diphosphate (B) pour former l'adénosine triphosphate (C) qui intervient lors du transport de l'énergie dans toutes les cellules vivantes. Les biophysiciens savent d'expérience à quelle molécule spécifique correspond chaque pic d'un spectre RMN de phosphore-31 (en bas) placé dans un champ magnétique de fréquence convenable, tel qu'illustré. De cette façon, il leur est possible de suivre les variations de concentration de ces composés durant le métabolisme de la cellule. Quand, par exemple, les trois pics correspondant à l'adénosine triphosphate n'apparaissent pas pour un échantillon de tissu sous observation, il faut en conclure que le métabolisme cellulaire normal a diminué ce qui peut conduire dans peu de temps à la mort des cellules.



Dan Getz

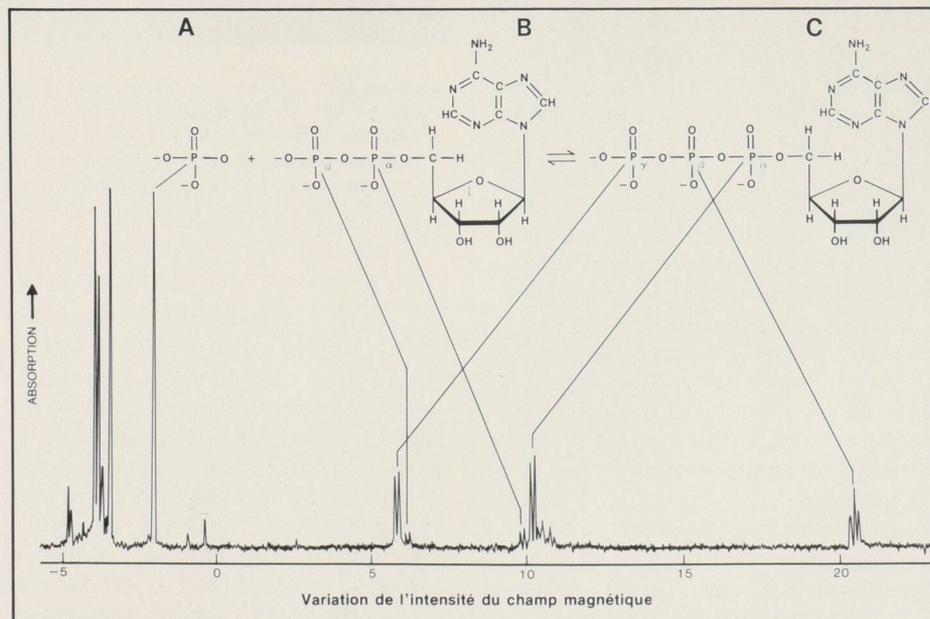
Les docteurs Roxanne Deslauriers et Yves Geoffrion devant l'ordinateur. Debout, un étudiant chercheur, Sylvain Lareau. On aperçoit, derrière lui, le sommet de la cloche de métal poli abritant l'aimant géant. Il est relié à une console contenant les instruments d'analyse spectroscopique par RMN qui transmettent les signaux à l'ordinateur.

signaux en provenance du foie de l'animal.

Mentionnons, parmi d'autres recherches en cours, l'effet des toxique de l'étain triméthylé ( $(CH_3)_3Sn$ ) sur le métabolisme du foie étudié *in vivo*, en collaboration avec le Dr Ken Reuhl, spécialiste en écotoxicologie; les sentiers biochimiques de l'adaptation métabolique des orga-

nismes exposés périodiquement, à haute ou basse marée, à la privation d'oxygène (anoxémie), en collaboration avec le Dr Ken Storey, de l'université Carleton; les effets métaboliques, également avec le Dr Storey, de l'adaptation au froid et au gel d'organismes — c'est le cas de plusieurs insectes entre autres — qui survivent à l'exposition prolongée aux basses températures hivernales.

“Le Dr Storey faisait une étude de la tolérance au gel de la larve d'insectes gallicoles de la verge d'or, nous raconte Roxanne Deslauriers. Nous avons mesuré pour lui les niveaux d'ATP et d'acidité (pH) à des températures de plus en plus



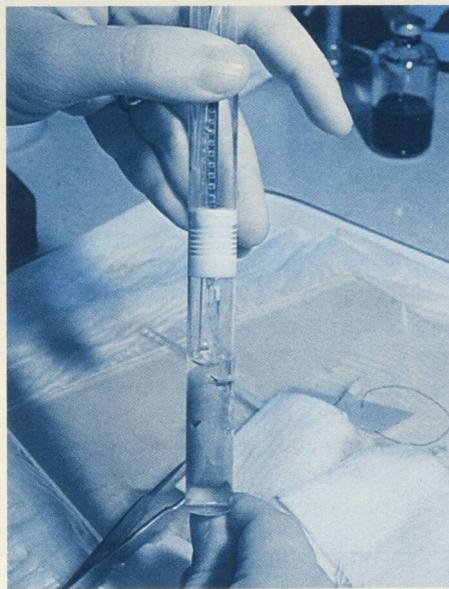
Carisse Graphic Design Ltd.

basses." Comme on pouvait s'y attendre, l'équipe a constaté que les molécules d'ATP devenaient de plus en plus léthargiques au fur et à mesure que la température descendait, possiblement parce qu'elles se fixent sur de plus grosses molécules dans l'organisme. Quant au niveau d'acidité mesuré d'après la quantité de phosphates inorganiques à l'état libre dans le système, il monte quand la température descend. Un des aspects remarquables de l'adaptation au froid de la larve est sa faculté de fabriquer un antigel ressemblant à la glycérine, comme pour les voitures. "Comment pourrions-nous regarder autrement dans une cellule refroidie à  $-20^{\circ}\text{C}$ ?, demande Roxanne Deslauriers. Sans l'analyse par RMN, nous en serions encore aux hypothèses".

Cette faculté de quantifier les substances présentes à l'intérieur des cellules, de même que leurs permutations électrochimiques dans le nucléon sans détruire ou troubler l'organisme, constitue l'aspect révolutionnaire de la spectroscopie par RMN, celui qui suscite l'enthousiasme du chercheur médical américain, Raymond Damadian, cité plus haut. Selon lui, la spectroscopie par résonance magnétique nucléaire fera passer la médecine, discipline qualitative fondée sur l'anatomie descriptive macro et microscopique, au rang de discipline quantitative, c'est-à-dire qu'elle deviendra une discipline scientifique à part entière. Il prévoit l'apparition en médecine de lois quantitatives comparables à celles de la gravité ou de la relativité. La grande presse internationale se passionne surtout pour les applications médicales de la spectroscopie par RMN. La plus impressionnante est l'imagerie.

En 1973, un professeur de chimie et de radiologie à l'université de New York à Stony Brook, Paul C. Lauterbur, a démontré qu'en variant le champ magnétique et en captant les résonances d'un échantillon sous différents angles, on obtenait des signaux légèrement différents avec lesquels, à l'aide d'un ordinateur, on pouvait reconstituer une image de l'échantillon. Le premier appareil assez grand pour qu'on puisse y introduire un être humain, et assez perfectionné pour qu'on puisse soumettre à l'analyse spectroscopi-

que n'importe lequel de ses organes, fut inventé par Raymond Damadian en 1977. On n'a cessé de l'améliorer depuis. Selon Ian Smith, il s'agit d'un instrument de diagnostic complémentaire au tomodensitomètre par rayons X (scanneur). Avec le scanneur, les os absorbent les rayons X, et l'épaisseur de la boîte crânienne fait obstacle aux radiations. Par RMN, la matière osseuse n'empêche pas de voir les tissus mous. On obtient une meilleure image de la configuration du cerveau et la résolution est beaucoup plus claire. Elle permet de découvrir, par exemple, l'emplacement exact d'un anévrisme (sac qui se forme dans la paroi d'une artère et dont la rupture cause une hémorragie cérébrale), le contour et l'emplacement exact d'une petite tumeur, diverses anomalies du métabolisme cérébral.



Dan Getz

*Dans un tube de verre, le foie perfusé d'une souris atteinte de la malaria. Les bulles au sommet du tube montrent que la circulation du perfusé constamment réoxygéné s'accomplit normalement. Le tout sera introduit dans une sonde pour l'analyse spectroscopique par RMN.*

L'image par RMN offre essentiellement un aperçu de la distribution et des liaisons chimiques des atomes d'hydrogène dans les tissus. On peut ainsi distinguer entre autres les configurations normales et anormales du cerveau, et on pourra éventuellement détecter les maladies mentales affectant la chimie du cerveau, surveiller les effets des médicaments et, partant, régulariser

leur dosage. Plusieurs hôpitaux canadiens ont fait l'acquisition d'appareils à imager par RMN. Le plus difficile n'est pas de trouver les fonds considérables que nécessite leur achat mais de recruter des spectroscopistes spécialisés en ce domaine. Il s'agit d'une technique encore expérimentale. Elle coûte cher et d'aucuns lui reprochent de faire double emploi en certains cas, avec d'autres techniques éprouvées comme les ultrasons ou les rayons X.

Nous avons demandé à Ian Smith comment s'effectuait le transfert des connaissances en ce domaine. "Par la littérature d'abord, nous a-t-il répondu. C'est la méthode la moins efficace. Ensuite par la collaboration entre les organismes de recherche appliquée."

En Alberta, la fondation Heritage financera des recherches sur l'imagerie par RMN dans un hôpital d'Edmonton en collaboration avec le groupe de biophysique moléculaire du CNRC. Autant qu'on sache, les techniques par RMN sont sans danger pour les humains ou les animaux. On n'a observé jusqu'à présent aucun effet secondaire chez les chercheurs ou les patients exposés aux forts champs magnétiques des appareils. C'est un dossier que les experts suivent de près toutefois, les conséquences à long terme étant imprévisibles.

Le développement de l'informatique et de la physique nucléaire a rendu possible celui de la spectroscopie par résonance magnétique nucléaire. Comme instrument de travail pour les chercheurs et de diagnostic pour les médecins, elle soulève de grands espoirs et pourrait bien marquer, à son tour, un nouveau départ dans d'autres secteurs de la Science et de la Technologie. ☾



# Lumière sur les taches solaires

## Des cartes solaires révélatrices

**L**es astronomes spécialistes de l'observation solaire ont découvert un aspect nouveau et insoupçonné de l'activité du Soleil. On croyait jusqu'à présent que l'apparition des taches solaires était aléatoire. On pense maintenant qu'elles résultent d'une activité magnétique répétitive qui induit leur formation au même emplacement après des intervalles de temps prolongés. Cette découverte par un groupe d'astronomes du Canada, des Pays-Bas et des États-Unis est appelée à bouleverser les théories actuelles sur le magnétisme solaire.

"Ce fut une retombée tout à fait inattendue de notre travail, nous a dit un des principaux chercheurs de l'équipe, l'astronome Vic Gaizauskas, du CNRC. Nous nous pro-

*par Stephen Haines*

*Adaptation française: Annie Hlavats*



*Dan Gertz*  
Vic Gaizauskas examine les données de Kitt Peak. "Cette découverte amènera nombre d'astronomes à modifier leurs théories sur la physique solaire."

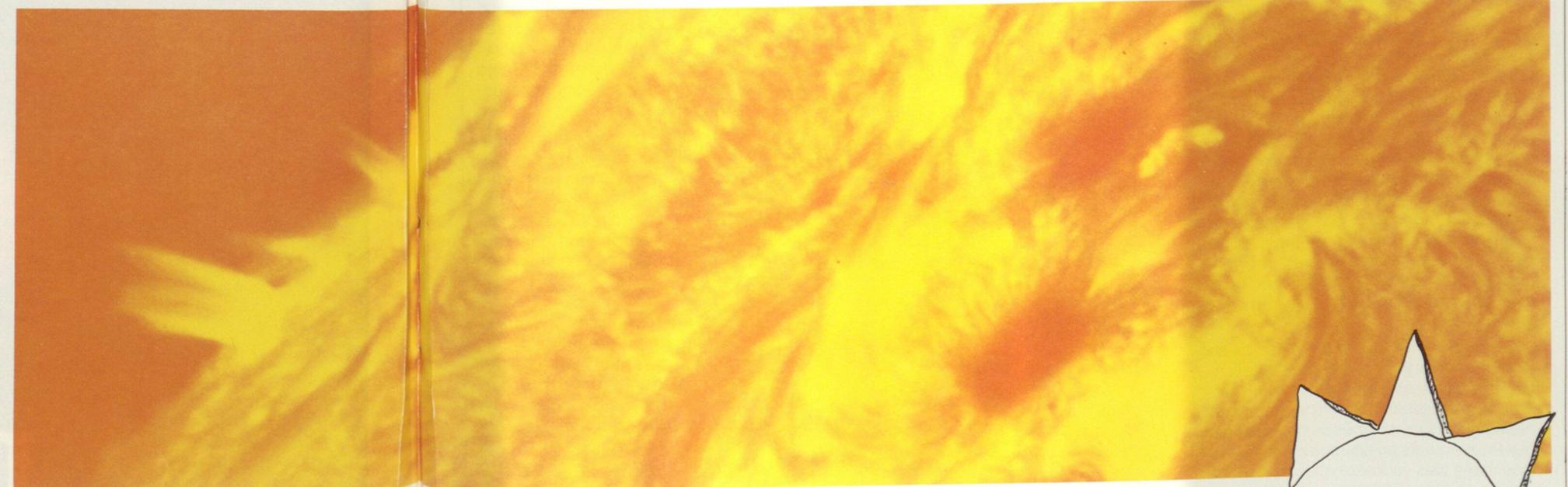
positions simplement de dresser quelques cartes synoptiques des éruptions magnétiques solaires un peu dans le style des cartes météorologiques publiées dans les quotidiens. C'était pour nous une simple opération de routine. Le hasard a joué. En prenant comme repère un point fixe sur le Soleil, on peut suivre les fluctuations de son activité sur de longues périodes. Avec les instruments perfectionnés et les techniques nouvelles du Kitt Peak National Observatory (Arizona), l'équipe a dressé des cartes des relevés de 27 rotations solaires couvrant une période d'environ deux ans, sur lesquelles elle a également porté l'intensité et la polarité des champs magnétiques liés aux taches solaires."

Les données sur la polarité et l'intensité du champ magnétique ont ensuite servi à réaliser une sorte de montage photographique de ces deux paramètres, la polarité étant rendue par les couleurs noir et blanc (suivant que la charge est positive ou négative) et l'intensité du champ par des teintes dégradées de ces deux couleurs. L'image résultante fait penser à un mélange de poudre de charbon et de sucre éparpillé sur une nappe grise et présente des concentrations de noir et de blanc qui

correspondent aux sites d'activité magnétique. Les taches solaires, lorsqu'elles apparaissent, coïncident avec ces zones d'activité. Ce montage photographique a révélé, à l'examen, les manifestations d'une activité inattendue sous la surface du Soleil — une activité complètement nouvelle que les théories sur les mécanismes solaires ne laissaient nullement prévoir. "Ces images nous montrent qu'après toutes ces années passées à observer le Soleil, a ajouté Vic Gaizauskas, nous ne connaissons pas encore grand-chose de ce qui se passe sous sa surface."

C'est à la suite de l'observation de taches solaires par Galilée, en 1611, que la physique solaire a vu le jour. Autrefois considéré comme étant une boule de fer en fusion, le Soleil a gardé sa réputation de sphère pure et immaculée jusqu'au jour où Galilée a démontré la présence de 'taches' sur sa surface. Ce n'est toutefois que près de 250 années plus tard qu'un astronome amateur, Heinrich Schwabe, calculera que la population des taches évolue suivant un 'cycle d'activité' de 22 années. Plus tard, la découverte de l'activité magnétique de ces taches a conduit les scientifiques à les associer à des éruptions locales de lignes de flux soumises à une grande distorsion.

"Contrairement à la Terre, nous a expliqué Vic Gaizauskas, le Soleil ne possède pas d'axe de rotation fixe." En fait, la vitesse de rotation est

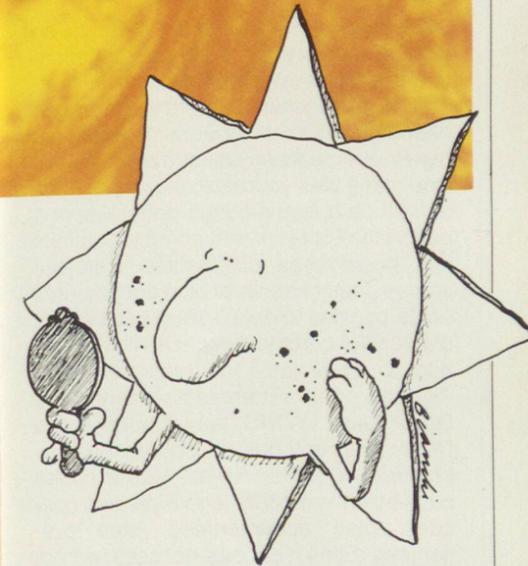
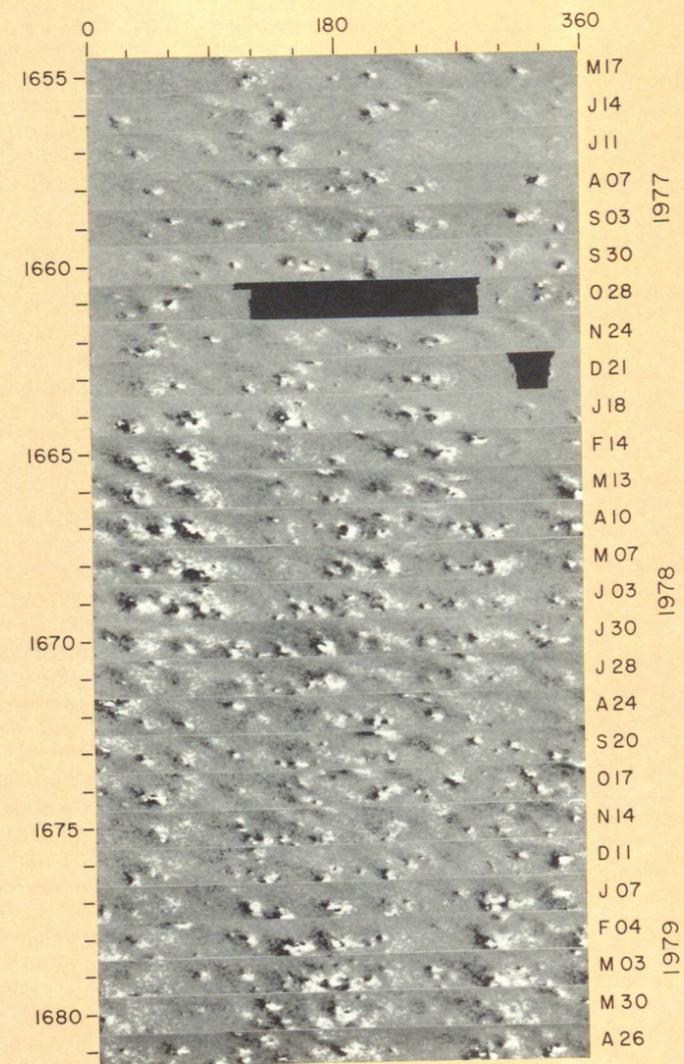


Kitt Peak National Observatory

*Voilà près de quatre siècles que les astronomes étudient le Soleil, étoile la plus proche de nous, et il leur réserve encore des surprises.*

beaucoup plus grande à l'équateur qu'aux hautes latitudes. La plupart des spécialistes estiment que cette 'rotation différentielle' entraîne une distorsion des lignes de flux magnétique sous la surface. Certains pensent également que la différence entre la vitesse de rotation du noyau et celle des couches périphériques ajoute aux contraintes exercées sur ces lignes. Cette théorie suggère que, sous l'effet de la distorsion, les lignes de flux forment des 'noeuds en suspension' dans les couches de convection voisines du noyau solaire et, lorsque sous l'emprise de leur force ascensionnelle ces noeuds atteignent la surface du Soleil, ils nous apparaissent sous forme de taches solaires. On pensait aussi que les taches étaient indépendantes les unes des autres du fait que de nouvelles taches pouvaient apparaître avant que les précédentes n'aient entièrement disparu. Mais, avec la mise en lumière du processus de réapparition locale des taches, on s'aperçoit que les anciennes théories fondées sur la mécanique des boucles d'hystérésis (champ magnétique soumis à des forces contraires) devront être repensées.

Vic Gaizauskas et ses collègues furent extrêmement surpris de constater que ces régions actives apparaissent pratiquement au même endroit



Chaque bande de ce diagramme est une image représentant le flux magnétique solaire entre 10 et 40° de latitude Nord. Les zones ombrées correspondent à des taches solaires naissantes ou déjà formées, lesquelles, comme on peut le voir, apparaissent approximativement au même endroit.

pendant des mois et des mois. D'importantes zones de contraintes magnétiques semblent se maintenir formant comme des vagues dont on distingue les crêtes au nombre de huit environ sur la surface solaire. Il y a tout lieu de penser que c'est en étudiant ces caractéristiques que l'on trouvera l'explication fondamentale des systèmes de circulation qui animent l'intérieur du Soleil pendant de longues périodes de temps. Désireux d'approfondir leur connaissance des phénomènes en cause, les chercheurs ont décidé de prolonger leur étude et de continuer à accumuler des données sur l'amplitude maximale du cycle solaire ainsi que sur les 'périodes d'accalmie'.

## Trop de bruits parasites brouillent les signaux

Dans ma première chronique pour Science Dimension, j'ai parlé des prétendues découvertes scientifiques qui font la une des petits hebdomadaires à sensation. C'est là un des paradoxes les plus surprenants de notre société. Jamais, depuis le début de l'histoire de l'humanité, le niveau d'instruction n'a été plus élevé, les diplômés d'universités plus nombreux et l'accès à l'information par les livres, la radio et la télévision plus universel. Pourtant on se bute encore souvent à l'ignorance et à la superstition dès qu'il s'agit de la Science, de la Technologie ou de la Médecine.

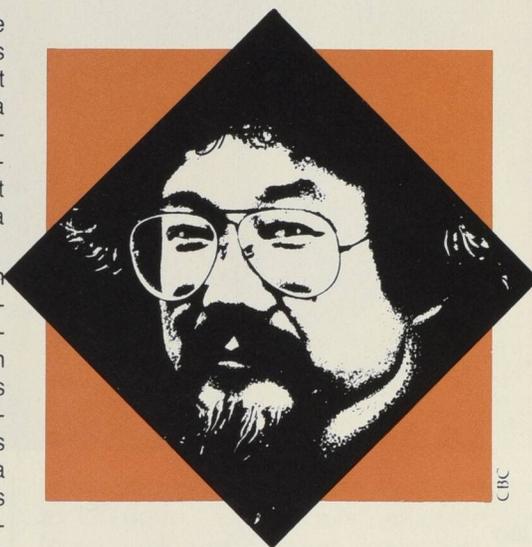
Ce que j'entends par là, c'est qu'en dépit du nombre de revues de vulgarisation sérieuses et bien faites sur le marché, le public-lecteur préfère, dans son ensemble, se renseigner sur les derniers développements en science ou en médecine dans des journaux jaunes ou des revues de bas niveau qui généralisent à outrance ou présentent comme des faits des hypothèses discutables. Les ouvrages passionnants et bien documentés écrits par des spécialistes sur les sujets d'actualité comme l'espace, l'alimentation, la cardiologie ne manquent pas. Trop de gens s'intéressent plutôt à Uri Geller, aux OVNIS, aux Chariots des Dieux, à la combustion spontanée, aux Mondes en collision, etc. Même chose pour les émissions de télévision bien conçues, bien documentées, bien présentées. Elles n'ont pas nécessairement la cote d'amour des téléspectateurs.

J'ai fait mes débuts à la radio et à la télévision il y a 21 ans, croyant qu'en renseignant les téléspectateurs sur les sciences et en leur fournissant un supplément d'information, je les aiderais à mieux faire face aux forces puissantes de la Science et de la Technologie. Aujourd'hui, il m'arrive de mettre en doute ce postulat quand je vois à quel point nous sommes submergés par l'information. Elle nous sort par les oreilles; elle nous dévore. Malheureusement cette information charrie un énorme déchet ou, pour parler le langage de l'électronique, on peut dire que les bruits parasites en brouillent les signaux.

En science, à peu près tout ce qui se publie est dépassé ou réfuté ou a perdu tout intérêt au bout de cinq ans. C'est aux scientifiques qu'incombe la tâche difficile de faire le tri, et de décider de ce qui mérite d'être retenu ou poursuivi dans les fatras des communications scientifiques qui se publient. Nous disposons bien sûr, de quelques repères — certains journaux, certains auteurs sont meilleurs que d'autres de même que certains organismes de recherche ont une meilleure réputation et certaines expériences sont

# SUZUKI

Adaptation française: Colette Guay



mieux conduites que d'autres. Personne n'est plus critique, plus sceptique (voire cynique) qu'un scientifique. Nous exigeons de vérifier les faits nous-mêmes, nous nous réservons le droit de décider quelles conclusions sont valides et nous n'hésitons pas à rejeter les expériences mal conçues ou mal réalisées. (Cela ne nous empêche pas de nous faire avoir par-ci, par-là, mais en minimise quand même le risque.) Nous exigeons des preuves et nous les évaluons. C'est cette intransigeance qui, à mon avis, donne sa valeur à l'activité scientifique. Et c'est cette attitude des chercheurs qui permet à la Science de rendre ses plus précieux services au grand public. En tant qu'enseignant, j'ai affaire à beaucoup d'étudiants qui m'annoncent des avancées scientifiques ou technologiques extraordinaires dans des domaines comme le cancer, la longévité, les sources alternatives d'énergie et quoi encore. Lorsque je leur demande d'où ils tiennent leur information, souvent ils me répondent: "J'ai vu ça à la télévision", ou "J'ai lu ça quelque part". Ils regardent ou lisent n'importe quoi sans jamais exercer leur esprit critique. Ce qui m'inquiète, c'est la facilité avec laquelle tout un chacun est prêt à croire un fait du moment qu'il est diffusé par les médias électroniques ou la presse écrite. Nous colportons en effet, sans vergogne, les idées à la mode sur les régimes amaigrissants, le jogging, les vitamines sans nous poser de questions.

Au cours de discussions avec des amis, on m'a reproché, à ma grande surprise, d'être "trop scientifique" lorsque j'ai demandé que l'on étaye une déclaration avec des chiffres ou d'autres preuves.

C'est à croire que les précisions quantitatives sont inutiles dans la conversation quotidienne, et les gens se sentent libres de citer des anecdotes pour corroborer des généralisations improvisées. J'ai déjà entendu des déclarations comme celles-ci:

"La marijuana ne présente aucun danger. J'ai déjà fumé trois joints par jour pendant des années sans que mes notes n'en souffrent pour autant."

"Si l'on s'en tient aux dires des scientifiques, pour que la saccharine donne le cancer, il faudrait boire 10 000 bouteilles de Tab par jour."

"L'astronaute Edgar Mitchell dit que la perception extrasensorielle existe."

Il est difficile de s'empêcher d'extrapoler en partant d'une expérience personnelle pour arriver à une conclusion (je le fais moi-même dans cet article), cependant, c'est cette même attitude qui est à la base d'un grand nombre de préjugés à l'égard des races, des sexes et des différentes classes socio-économiques. C'est cette attitude qui nous incite à essayer sans réfléchir les derniers régimes pour lutter contre la cellulite et rester mince, ou pour conserver sa jeunesse. Toutefois, la situation devient bien plus sérieuse lorsqu'il s'agit de se prononcer sur des sujets tels que l'énergie nucléaire, la politique de défense, ou la lutte contre la pollution.

J'ai été amené à constater avec regret qu'il est fort possible que mes tentatives visant à mieux informer le public par la voie des médias électroniques aient tout simplement exacerbé les problèmes sociaux en ajoutant à la masse confuse des données existantes. J'espère qu'à l'avenir les éducateurs sauront établir une distinction entre la nécessité de doter les jeunes d'un bagage de connaissances scientifiques et techniques et celle de les former à une démarche scientifique vraiment critique qui exige des renseignements de première main et des données quantifiées pour asseoir ses conclusions. Cette approche correspond beaucoup mieux aux exigences de la vie quotidienne au sein d'une société informatisée.

Mais ce n'est pas facile. Dans notre vie de tous les jours, notre seule source de référence pour interpréter le monde qui nous entoure est notre expérience personnelle. Elle ne suffit pas toujours à informer notre jugement là où il faudrait une vision beaucoup plus vaste et critique des choses. Pour quiconque n'est pas initié à la Science, c'est souvent difficile.

Je pense que la plus grande difficulté, en même temps que le plus grand espoir, c'est de pouvoir trouver à l'avenir la meilleure formule possible d'enseignement des sciences au niveau élémentaire. ☾

**Dimension Science:** À quels projets spécifiques travaillez-vous présentement?

**Franklin:** Nous avons fait un travail considérable sur les scories historiques et préhistoriques, parce que les sous-produits de la production des métaux, tout comme les déchets des fours céramiques, peuvent nous apprendre beaucoup de choses sur les procédés et l'ingéniosité des artisans.

L'un de mes associés s'intéresse énormément à l'aspect statistique de l'évaluation des matériaux. À mesure que notre nouvelle discipline se développe, les questions d'uniformisation et de clarification des méthodes se posent avec de plus en plus d'acuité et absorbent beaucoup de notre temps.

**Dimension Science:** À part le fait qu'elle nous permet d'apprécier davantage le savoir-faire de nos ancêtres, quelle peut être, à votre avis, la contribution de l'archéométrie à la sagesse collective de l'humanité contemporaine?

**Franklin:** Elle nous permet de comprendre beaucoup mieux les phénomènes économiques et sociaux. Ainsi, dans beaucoup de sociétés anciennes, la division de la main-d'oeuvre se fondait sur le produit. Certains fabriquaient les pots utilitaires, d'autres, les beaux pots; certains faisaient les épingles, d'autres, les aiguilles. Il semble que très tôt, entre 1500 et 1200 avant J.-C., apparurent en Chine les prémisses d'une division différente de la main-d'oeuvre. Il s'agissait d'une division selon le procédé. Le fait que le bronze était coulé à la pièce directement dans des moules signifie que la division de la main d'oeuvre se faisait selon les phases d'un procédé. En Occident, ce phénomène ne s'est produit qu'au début de la révolution industrielle, bien que les Romains aient eu des méthodes similaires d'organisation, qui se sont perdues au cours des siècles suivants.

Pour les Chinois, cela signifiait un haut degré de discipline. Ils devaient se conformer à des instructions spécifiques, parce que les pièces fabriquées devaient être remises à la personne suivante au cours d'une même phase. Cette façon de procéder introduisit deux éléments dans le modèle social. Premièrement, on considérait comme normal qu'une tâche soit divisée entre plusieurs personnes, et deuxièmement, on considérait également comme normal de se soumettre à une autorité et à une réglementation. Quand j'ai commencé à comprendre la technologie des bronzes chinois, j'ai conclu qu'elle n'avait pu prospérer ainsi que dans un milieu où l'on acceptait un degré élevé de planification et d'autorité. Je crois que de telles considérations peuvent nous aider à comprendre comment la société chinoise a pu demeurer si stable pendant si longtemps, et peut-être aussi comment elle a fini par se laisser étouffer par sa bureaucratie et sa réglementation, qui ne laissaient pas assez de place à l'innovation. Notre acceptation d'une certaine technologie, pas seulement avec ce qu'elle apporte, mais aussi avec ce qu'elle empêche, est une question que nous devrions étudier attentivement aujourd'hui. À mesure que notre propre technologie se spécialise, supprimant l'improvisation et le bricolage au travail, elle élimine un grand nombre d'idées nouvelles et de façons nouvelles de faire les choses.

Quand on étudie les anciens artefacts, on a parfois l'impression d'être en train de regarder travailler des gens qui étaient souvent de remarquables artisans, et on peut presque deviner ce à quoi ils pensaient. N'est-il pas ironique de devoir constater que la Science, qui est parfois qualifiée de déshumanisante, est en train de réintroduire dans l'histoire, si longtemps dominée par les actions des puissants, des valeurs humaines comme le talent et l'imagination?

technique très évoluée appelée "dorure par déplétion" qui consistait à enlever le cuivre et l'argent de la surface. Chose curieuse leurs techniques pour façonner et raccorder les diverses pièces différaient beaucoup de celles de leurs voisins de l'Équateur et de la Colombie.

**Dimension Science:** Avez-vous examiné des objets plus près de nous?

**Franklin:** Nous avons étudié le mode d'utilisation pré-historique du cuivre à l'état natif dans l'Arctique et le Sub-arctique canadiens. La fluorescence aux rayons X nous a permis de distinguer le cuivre natif des alliages industriels introduits par le commerce avec les Européens. Nous avons examiné aux rayons X de petits artefacts datant de l'époque antérieure au contact des indigènes avec les Européens et nous avons découvert une technique que personne n'avait encore décrite. Je l'appelle "pliage". Les Inuit savaient forger à chaud de minces feuilles de la dimension d'un gros timbre-poste à partir de fines de cuivre natif, qu'ils repliaient ensuite comme s'il s'agissait de simples feuilles de papier et forgeaient de nouveau pour en faire des pointes de projectiles. Nous avons pu suivre le procédé dans la microstructure et voir comment des gens qui ne savaient probablement pas ce qu'est le métal, du moins selon notre conception du terme, utilisaient le cuivre natif comme s'il s'agissait d'une pierre très tendre. Ils combinaient les techniques de la pierre à celles du cuir d'une façon absolument admirable pour utiliser les propriétés spécifiques du métal sans passer par les procédés de smeltage et de fusion.

**Dimension Science:** Qu'est-ce qui vous a d'abord incitée à étudier les matériaux antiques?

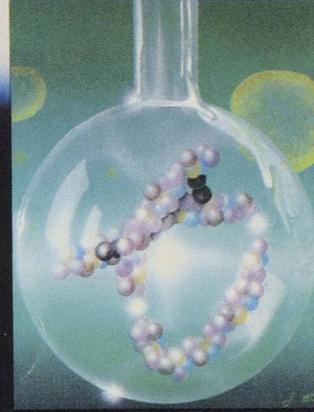
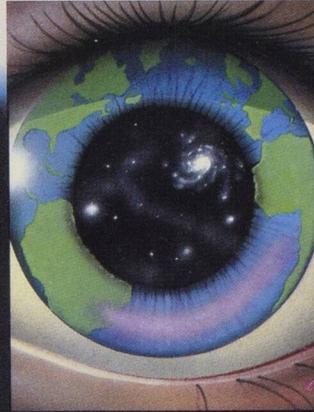
**Franklin:** J'ai commencé à m'y intéresser il y a très longtemps, au Royal Ontario Museum, quand des membres du personnel m'ont demandé de les aider à établir l'authenticité d'objets. Mes collègues de l'Université de Toronto et moi-même nous sommes consacrés davantage à ce travail au cours des années 1960. J'ai commencé alors une étude systématique des matériaux de la collection chinoise du musée. Étant métallurgiste, je me suis particulièrement intéressée aux débuts du moulage des bronzes chinois, et à tout ce qui touchait à la métallurgie.

Au début, nous offrions tout simplement des services auxiliaires aux archéologues. Notre rôle est devenu plus déterminant lorsque j'ai commencé à collaborer avec le Dr R.G.V. Hancock, du laboratoire "Slowpoke". Nous faisons l'analyse par activation neutronique de poteries antiques découvertes par les membres du personnel du ROM. Notre véritable contribution à un niveau international aura été de mettre des collègues qui s'intéressaient à ce genre de recherche en rapport avec les différents laboratoires de l'université. Nous avons créé un groupe interdisciplinaire capable de rassembler et de coordonner les moyens scientifiques mis en oeuvre et nous avons maintenant un certain nombre de programmes conjoints de recherches sur la technologie des métaux et de la poterie.

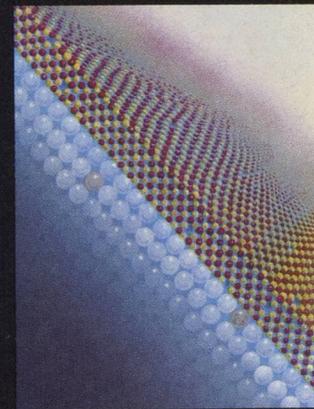
Notre groupe s'appelle "Collegium archaeometricum", nom qui m'a été inspiré par celui des groupes de musique de chambre "Collegium musicum", issus de la collaboration d'interprètes de haut niveau. Nous faisons maintenant partie de la demi-douzaine de groupes de chercheurs dont la réputation est internationalement reconnue et nous espérons être en mesure d'organiser un symposium international sur l'archéométrie à Toronto en 1987. ☾

Canada

**DÉCROCHEZ  
UN  
ABONNEMENT  
GRATUIT  
D'UN AN À  
DIMENSION  
SCIENCE**



Retournez le  
bulletin encarté  
et obtenez six  
numéros gratuits  
sur les plus  
récentes et les  
plus intéressantes  
réalisations de  
la Science  
canadienne.



Vous changez  
d'adresse? Il faudrait  
alors nous communiquer  
le numéro qui se trouve  
en haut et à droite de  
l'étiquette de votre adresse  
postale pour que nous  
puissions introduire ce  
changement dans notre  
ordinateur.

Canada Post	En nombre Troisième classe
Postes Canada	K1A 0R6 Canada