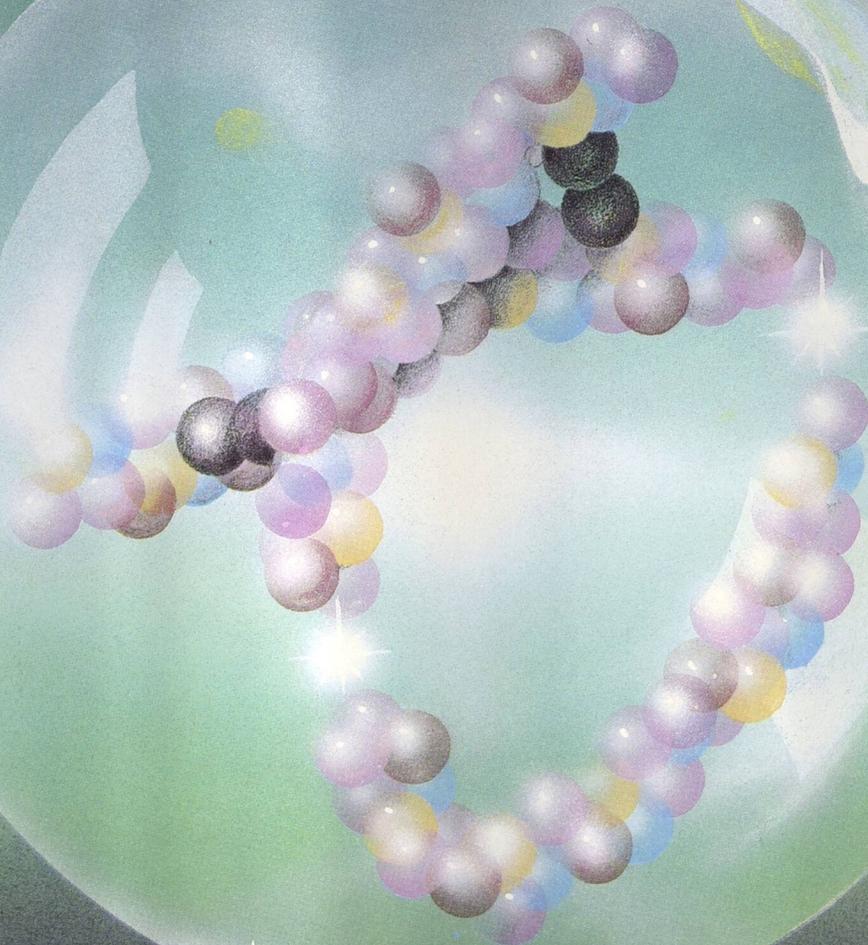


SCIENCE DIMENSION

1983/6

**THE
MAKING OF
HUMAN
INSULIN**

**STUDYING
HALOES
ROBOT
WELDING
BATS!**



J. Bianchi



The Canada-France-Hawaii telescope sits in the clear, cold air atop Hawaii's tallest mountain, Mauna Kea. Its location, in terms of viewing clarity, is more distant from the ocean surrounding the island than it is from space. In SCIENCE DIMENSION 1984#1, a comprehensive story on land-based optical astronomy will look into the work being done by the astronomers who use the telescope to view the stars.



National Research
Council Canada

Conseil national
de recherches Canada

SCIENCE DIMENSION

VOLUME 15, NO. 6, 1983

Editor Wayne Campbell
Managing Editor Margaret Shibley Simmons
Art Editor Jean L. Richard
Photographer Bruce Kane
Print Coordinator Robert Rickerd
Art Production Carisse Graphic Design Ltd.
Printed in Canada by Beaugard Press Ltd.

31159-2-1019

Capsules 4

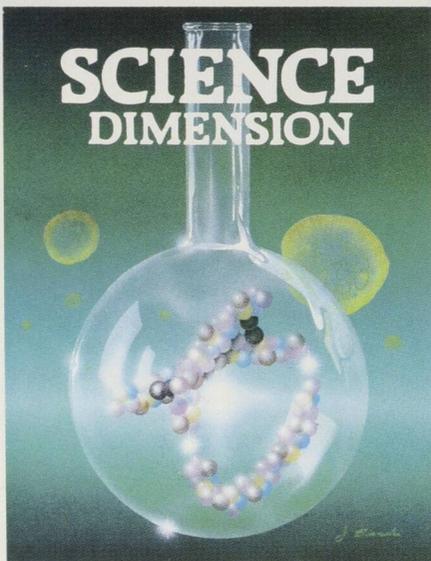
Scheiner's halo, Saturn's rings, and Ice-nine 8
 Studying solar haloes

Project ÉOLE 11
 Catching Gaspé's winds

Freeing the robots 15
 Automated welding research

The making of human insulin 18

Great bats, small bats . . . 28



There was a time when only the human pancreas could produce a molecule of the protein proinsulin, the precursor to the hormone insulin. Now, all that has changed, thanks to a combination of chemistry and genetically engineered bacteria. Canadian scientists are on the verge of producing this molecule with the same ease as they make beer, and it's a simple enzymic step to convert the precursor to the active hormone. Getting to this stage might not have been easy but it was exciting, as the story on page 18 attests.

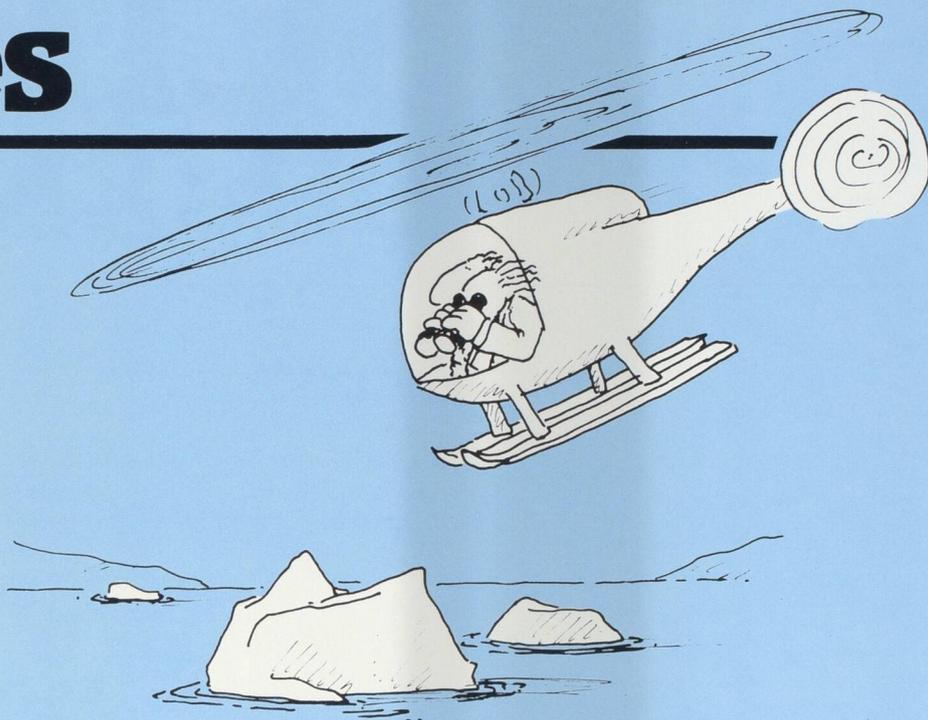
Science Dimension (ISSN 0036-830X) is published six times a year by the Public Relations and Information Services of the National Research Council of Canada. Material herein is the property of the copyright holders. Where this is the National Research Council of Canada, permission is hereby given to 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

Five Megatonnes

Scientists in Newfoundland are starting to outguess icebergs. It's a useful talent if Canada hopes to exploit its northern oceans for their undersea oil.

Evidently, the problems of exploring for cold-ocean oil are immense. As the *Ocean Ranger* disaster testified, one major peril is the weather. Another, perhaps even greater, is ice. In the Hibernia oilfield, the problem is not so much pack ice (frozen seawater) as icebergs. An iceberg usually 'calves' along the coast of Greenland; after months or years, it sometimes finds its way south and becomes a hazard. Some of these random visitors weigh more than five million tonnes — about 10 000 000 000 pounds. They may owe their origin to snow laid down before the birth of Christ, chilled and squeezed till it is hard as steel. One such monster may have sunk the *Titanic*; although the force that caused that sinking came from the ship's own speed, a large iceberg borne even at 30 cm/s by wind and current could crumple a moored structure like a drill rig as if it were paper. The only solution: get out of the way!



However, pulling up stakes and moving a working drill platform is not only risky but expensive . . . an operation you'd hate to perform unnecessarily. It would help to be able to predict a nearby iceberg's immediate course and see what the chances of collision were. This is exactly what scientists at Nordco, a firm based in St. John's, Newfoundland, are beginning to do.

Nordco, which concentrates on ice research, uses tracking systems on ships and aircraft to detect iceberg movements, which are then relayed to computers aboard the drill rig and

analyzed by special algorithms, or procedures of formal logic. The goal is to forecast future ice movement over the short term.

Results? Though still at an early stage, the Nordco project's new software has successfully integrated data on currents, winds, and recent courses to predict the small-scale movements of some actual icebergs in the North Atlantic and the Labrador Sea.

(Watch for the complete story in a future issue of *Science Dimension*)

Wiggle, wiggle, little star

Infrared energy from a nearby star indicates the probable existence of a planetary system other than our own. Vega, a bright star only 26 light years distant (our Galaxy is about 100 000 light years across), is surrounded by a dense shroud of fragments — some of which may already have become planets. The discovery was made by a new scientific instrument, the Infrared Astronomy Satellite (IRAS), launched last January and operated by researchers from the Netherlands, the United Kingdom, and the United States.

More than twice the sun's size and many times brighter, Vega is supposed to be only a quarter of the sun's

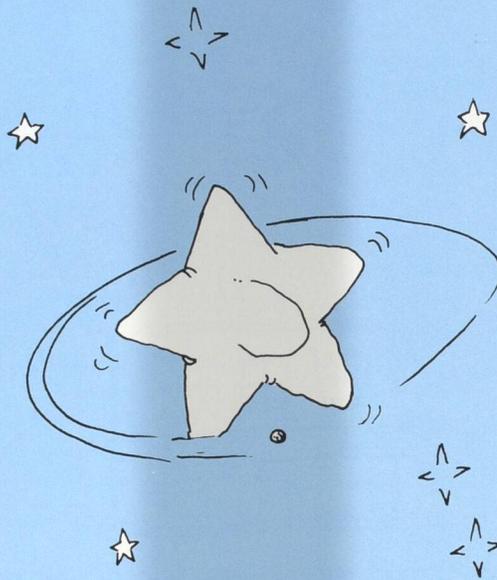
age. More than four billion years ago, shortly after its formation, the sun was surrounded by a similar disc of rocky fragments, dust, and gases. Over time, clumps of this material accreted, sweeping loose particles together forming the now familiar planets and moons of our solar system. Much the same process may be taking place around Vega.

Detection of the cloud of particles resulted from efforts to investigate the infrared portion of the spectrum. Mostly hidden from earth-bound observers because water vapour in the atmosphere absorbs it, infrared radiation provides information unobtainable by other observational methods.

Hot objects such as stars emit most of their radiation as ultraviolet or visible light, but cooler objects such as planets, after absorbing these shorter wavelengths, tend to re-radiate energy in the infrared. Thus the detection by IRAS of an excess of infrared radiation near Vega indicates that there are solid objects in this star's neighbourhood which are warmed by radiation from the star.

Canadian scientists applauded the find and intensified their own efforts to detect planetary companions of nearby stars. Bruce Campbell of the Herzberg Institute of Astrophysics and Gordon Walker of the University of British Columbia are working with

an improved method of measuring unusual stellar motions that would indicate the presence of planets. The technique measures any "wobbles" in the star's motion that would indicate it is being influenced by the mass of a nearby large object. Until recently, the detection technique required a planetary companion at least twenty times the size of Jupiter, the largest planet in our system. According to Campbell, the new method can detect a planet only one-fifth the mass of Jupiter — not quite earth



sized, but more likely to be found around the types of stars under investigation. The instrument making the survey is the Canada-France-Hawaii Telescope where the team has been recording data on certain stars for the past two years. It is limited to stars near the sun in size (which is why it did not make the Vega discovery), and review of the information gleaned is just getting under way. Campbell is confident that if the planets are there, the new "watch the wobble" technique will uncover them.

Canadian Astronauts

By 8 August 1983, almost 4400 hopeful Canadians had applied to become members of Canada's first astronaut corps. Of the six team members that were finally selected, only two are actually scheduled to fly — as "payload specialists," astronauts trained to perform a single experiment on a single mission. The two astronauts will each conduct, and later assess with help from back-up team members, one of two experiments: The Space Vision System Experiment or the Space Adaptation Syndrome Experiment. The Space Vision System uses state-of-the-art robotic technology to give the Shuttle eyes, especially important when Canadarm is in use. An entirely dif-

ferent experiment is concerned with Space Adaptation Syndrome — a euphemism for misery. If you think being car-sick is ghastly, imagine the same condition under zero-gravity and when it is essential that you keep working.

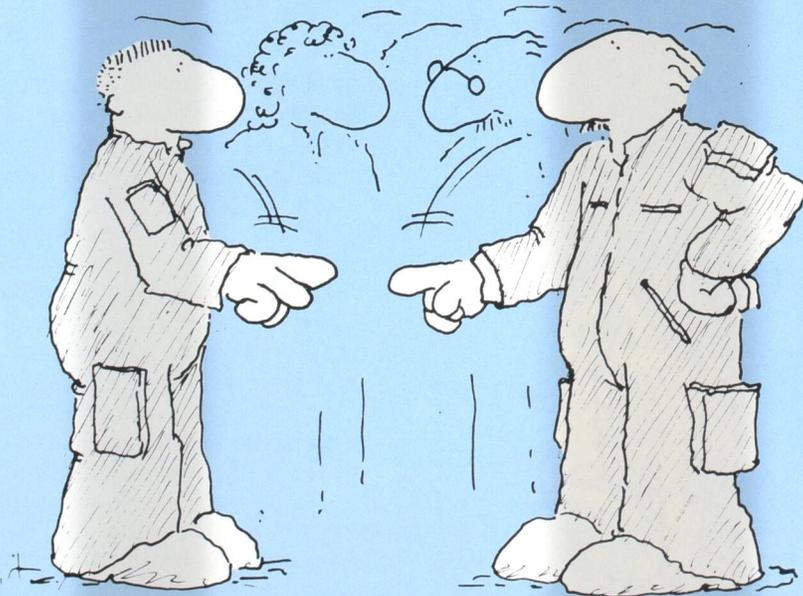
The six astronauts are the product of a winnowing process that was long and carefully done. Of the original 4400 applicants, 1816 were sent packages of background information with long (long, long!) questionnaires. Of these, about 1600 came back. The next hurdle for the applicants was the Screening Committee. The five-member committee was composed of representatives from NRC, the Department of National Defence (DND), and the Ministry of State for

Science and Technology. Sixty-eight applicants from across Canada were invited to interviews scheduled between October 18 and November 9. In Halifax, Montreal, Ottawa, Toronto, Calgary, and Vancouver, candidates were briefed, extensively interviewed, and introduced to the media. Only 20 of these people were invited to further interviews in Ottawa.

The Finalist Selection Committee, with representatives from the same departments, also included people from the departments of Communications and Energy, Mines and Resources. The 20 candidates went through orientations sessions, technical briefings on the two experiments, and full medical examinations, given by DND and evaluated according to NASA standards. The advice of Paul J. Weitz, commander of the sixth Shuttle mission, the first Challenger flight in April 1983, contributed to the short list the Finalist Selection Committee passed on to the final selection group, the Selection Panel.

On 6 December 1983, the Selection Panel picked the six best candidates and recommended them to the National Research Council. (The astronauts are employees of NRC for terms of up to three years.) The Honourable Donald Johnston, Minister of State for Science and Technology, announced the names of Canada's first astronauts on the next day at the NRC news conference.

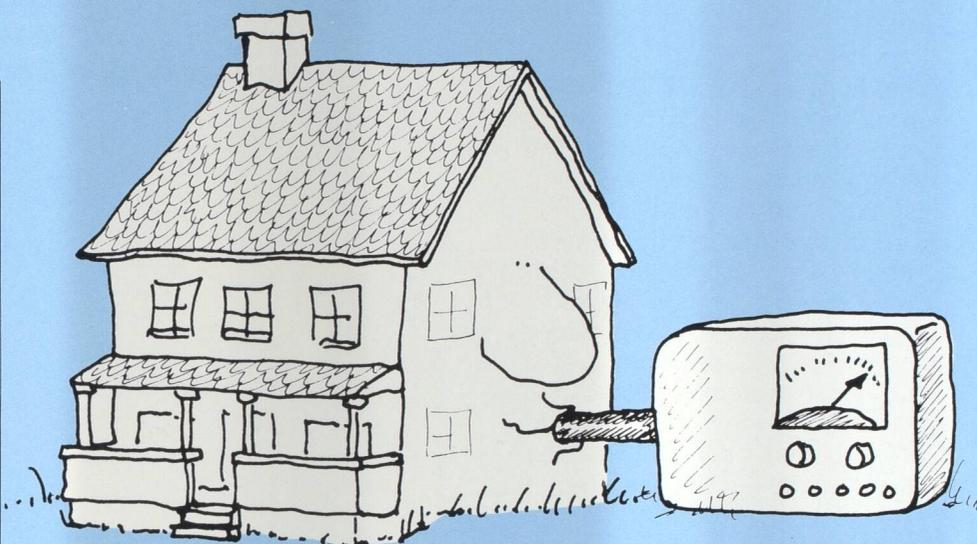
The astronauts-in-training start work in January 1984.



Indoor air quality

Owners of homes insulated with urea formaldehyde foam who fear possible health effects now have a means for testing the quality of indoor air quickly and easily. Kemic Bioresearch Laboratories Limited of Nova Scotia is manufacturing a do-it-yourself air analysis kit that measures formaldehyde gas released from urea formaldehyde and other materials. Developed with aid from NRC's Industrial Research Assistance Program, the kit is expected to be popular with home owners and industry and could serve as an educational aid.

Until now, interior air testing required the use of complex laboratory equipment and technicians. Kemic Bioresearch, however, has adapted recently developed chemical and electronic techniques to produce a light-weight and easily operated test unit, requiring little expertise to conduct reliable, accurate tests. The flick of a pump switch draws air through a tube containing special chemicals which trap any formaldehyde present. Colour changes in the chemicals are read electronically and indicate the level of the suspect gas. Although designed for formaldehyde, the Company intends to apply it to the measurement of other substances through relatively simple modifications to the kit and the chemicals used.



Formaldehyde gas is more prevalent in our homes and offices than previously suspected. Recent research indicates that urea formaldehyde foam, once a panacea to homeowners retrofitting insulation in older houses, slowly decays, producing the gas over long periods. Although the insulation-produced formaldehyde gas has received the greatest attention during the past few years, it is also emitted from some wood products, textiles, and cosmetics. In fact, industry uses formaldehyde compounds in many processes. Although human responses to the gas remain unclear, various respiratory and nervous disorders have been observed from prolonged exposure. Various standards for for-

maldehyde exposure exist but most experience for these relates to a work-day of 8 hours associated with a number of different occupations. Limits for this exposure range from 1 to 10 parts per million (ppm) but a much lower limit of 0.1 ppm for exposure in the home has been proposed because small children and aged persons are exposed to it 24 hours per day, and they have a lower tolerance to the gas.

Kemic feels that the kit should be well received across Canada and will be a successful export item. Educators wishing to demonstrate air pollution sampling techniques or methods of colorimetry (colour matching) in chemical analysis will also benefit from the Kemic development.

Microbes of the dawn

Bacteria, it seems, can no longer be grouped in the large, ill-defined taxonomic bin that they have in the past. Rather, some of them are so different from the normal, run-of-the-mill bacterial types, as well as from the more familiar plants and animals in the kingdom of life, that they have been relegated to a major classification that is all their own. They are the archaebacteria, where the prefix archae- means old — as in the word archaic — so old in fact that some of them may be better adapted to the Earth as it was billions of years ago than to the much milder conditions



that exist today. How else could they live and thrive in conditions that are lethal to life as we commonly know it — in hot acid, saturated salt baths, and high concentrations of sulfur? Still others, perhaps the most primitive of the group, not only need to live in an environment completely devoid of oxygen, but they give off the gas methane (they are, approximately, the 'methanogens'); methane, valued today as a fuel gas, was probably a major constituent of the early atmosphere. Recently, these mystery microbes were even detected in the venting chimneys along the submarine crustal cracks in the ocean floor where temperatures can exceed

250°C and the pressures are enormous. Life, it now appears, could exist with ease in Dante's vision of Hell.

The classification of life (called 'taxonomy') has been reconstructed to reflect the fact that bioscientists now believe there are three primary kingdoms rather than the earlier two. Along with the eukaryotic cells (all higher plants and animals) there are two groups of bacteria: the eubacteria (what we think of as 'normal' bacteria) and the archaebacteria, tagged with the 'old' prefix to indicate an early split from the eubacteria during evolution of the ancestral 'progenote' from which life descended.

Though the concerted study of these bacteria is relatively recent, a lot has been learned already about their molecular makeup and metabolic chemistry. One group in the forefront of this investigation — particularly of the methanogens — works out of the National Research Council laboratories in Ottawa. Drs. Dennis Sprott and Ken Jarrell in the Division of Biological Sciences, along with the University of Ottawa's Dr. Morris Kates, have been examining the outer membrane that surrounds the bodies of methanogens. These 'plasma' membranes envelop all living cells, plants, animals, bacteria. Sprott's results have confirmed what others have suggested, that these

membranes are quite different from those of normal bacteria and the higher cells of plants and animals.

In the other groups, the membrane is in the form of a lipid 'bi-layer,' where the outer and inner surfaces are made up of polar, water-soluble 'head' molecules joined by what are called 'ester' linkages to long, fat-soluble tails that occupy the membrane's inner regions. Looked at side-on, the membrane has the appearance of a sandwich, with the tail chains extending from each surface and meeting somewhere near the centre.

It turns out that archaebacterial membrane lipids are much more stable chemically, with the head molecules joined to the tail chains by 'ether' rather than ester linkages. Added to this stability is the fact that the archaebacteria apparently do not have a bi-layer structure; rather, the tail chains extend from surface to surface, right through the membrane.

Drs. Sprott, Jarrell, and coworkers have managed what others have not been able to do up until now. They have isolated the plasma membrane intact, a key step in analysing the way it functions. Because the protein 'wall' materials that blanket the outer membrane of these bacteria are so different from the eubacteria, mi-

crobiologists have not been able to remove them with the standard enzyme methods. Sprott's lab was able to get round this by providing the bacterial cultures with nutrients that inhibited cell wall growth, but not the rest of the organism.

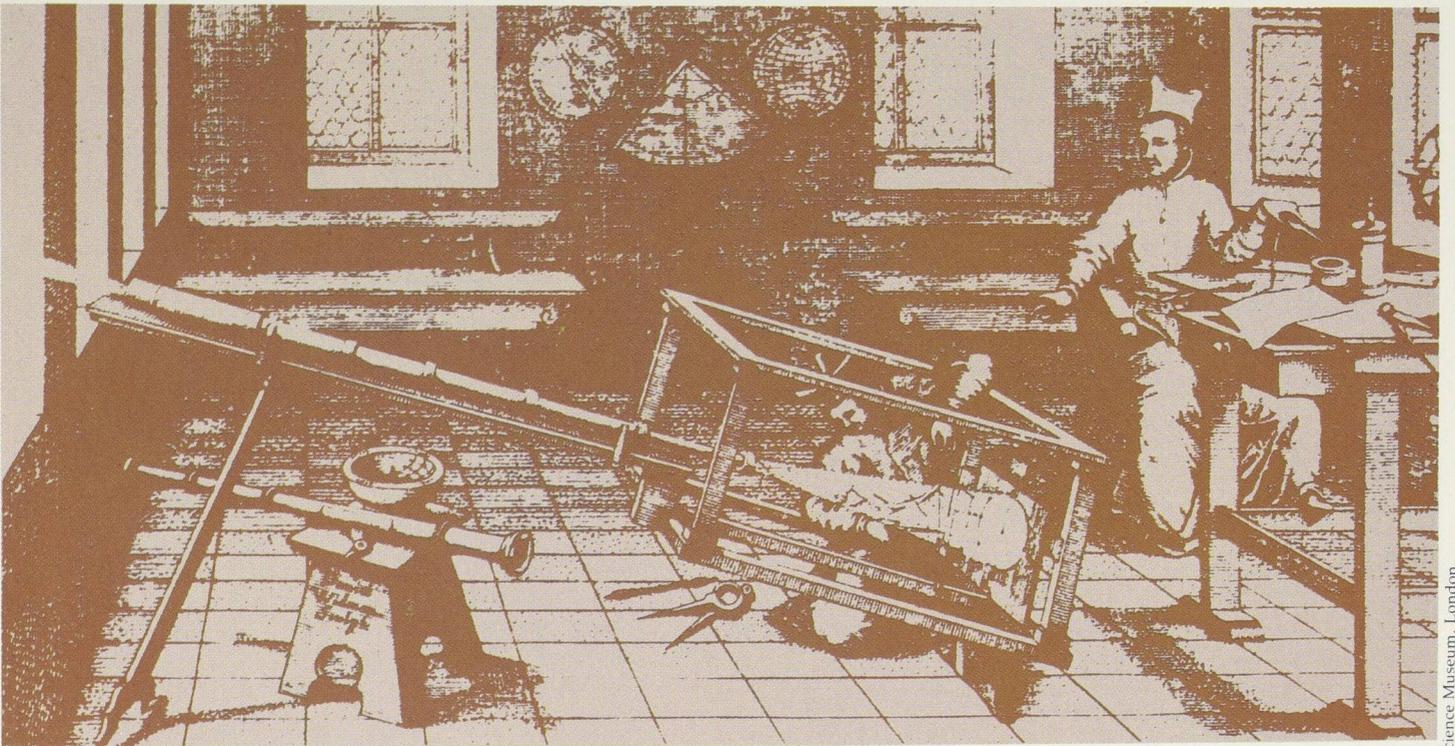
The NRC scientists are especially interested in looking at intact membranes, because they feel that it is here that the secret to the methanogen's ability to produce methane gas lies. There is an electric potential and an acidity gradient across the membrane, much like that existing across the inner membranes of plant chloroplasts, where light energy is tied up into the chemical energy of glucose. Evidence suggests that at least part of the methane-generating apparatus is embedded in the membrane, and may use the stored energy of the electric potential or the acidity gradient to make the gas. Sprott indicates that, without a rugged membrane, localized concentrations of methane produced by the organism might otherwise destroy the structure. He also points to the surprising fact that the archaebacteria are as distantly related to the eubacteria as they are to the higher eukaryotic cells, at least at the biochemical level. More about this new kingdom in a future issue of *Science Dimension*.



Scheiner's halo, Saturn's rings, and Ice-nine

Ice crystallography at NRC

by Bill Atkinson



Science Museum, London

In the Kurt Vonnegut novel *Cat's Cradle*, an eccentric scientist creates a single crystal of "ice-nine," which looks like the other eight possible forms of ice but which crystallizes at temperatures above 0° Celsius. When this man-made seed crystal falls in the ocean, it transforms all liquid water on Earth into a stable solid after its own pattern. Our biosphere freezes solid and the world ends.

We have good news and what, at first, looks like bad news. The latter is that something called "ice IX" is routinely made in an NRC laboratory; the good news (and the reason why the 'bad' news isn't bad) is that ice IX changes to another form of frozen water at around *minus* 100° C. If genuine ice IX cooled your spritzer, in fact, you wouldn't notice anything but a certain milkiness as it warmed up.

Christophe Scheiner in his 17th-century laboratory. The unique solar 'halo' that bears his name may have been the first reporting of a radically different allotrope of ice.

One of several NRC researchers investigating the molecular properties of ice, and possibly the only man ever to have cited *Cat's Cradle* in a scientific paper, is Dr. Edward Whalley (pronounced "Wally") of NRC's Division of Chemistry. Ice is

as Canadian a substance as there is, and other Divisions within NRC look at it as a structural material from the viewpoints of marine or arctic engineers. But it's Ted Whalley's job to find out the structure of ice on the scale of crystallography, where individual atoms loom large. His investigations have led him to such distant sites as Rome in 1629 and the rings of Saturn today.

Ted Whalley: "Like many substances, water can assume different configurations, called allotropes, in solid form. Graphite, charcoal, lampblack, and diamond are all allotropes of carbon; sulphur, another pure element, has allotropes that are amorphous or crystalline. Water is a chemical compound of hydrogen and oxygen, but it too can take different forms in its solid phase. In other words, there are various structures of ice."

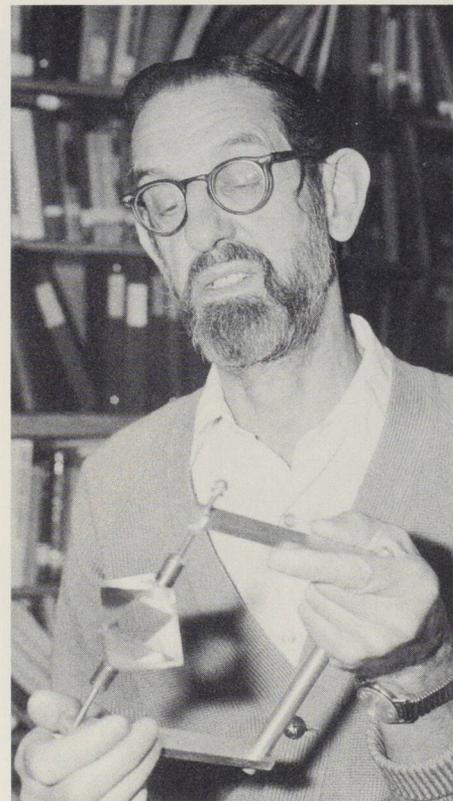
Most ice is designated Ih — 'h' for 'hexagonal,' because its large-scale crystals are bars whose cross-sections are hexagonal. Although ice II, ice III, and even the (in)famous ice IX are all different from one another, they are also all forms of the same Ih allotrope.

But there is a second allotrope of ice, called Ic — 'c' for 'cubic.' In Ic, water molecules are stacked differently than in Ih, giving a cubic structure whose large-scale crystals are not hexagons but octahedra. In a typical instance of basic research, Ic was discovered by someone who had no notion what it was. In 1906 Sir James Dewar, the Scottish physicist who invented the vacuum flask, squeezed Ih (ice I) to 15 000 atmospheres, cooled it with liquid nitrogen, removed the pressure, and let it warm. He then watched it "become milk-white, due no doubt to some new crystalline arrangement." This was an astonishingly shrewd guess. Two Canadian scientists (E.F. Burton and F. Oliver) at the University of Toronto also made Ic in 1935 by condensing water vapor onto a cold plate, then recognizing it as a new ice phase by X-ray diffraction. Finally, in 1942, a German named König showed by the newer technique of electron diffraction that this "milky ice" had a never-before-detected cubic structure. The Ic allotrope seemed a laboratory curiosity, however, one that had never been seen in nature.

Or had it? The effects of natural Ic may have been noted almost three centuries before its creation in the lab. In 1629, Christophe Scheiner, a Jesuit astronomer working in Rome, observed a luminous halo around the sun. Haloes themselves are nothing new: they ring sun or moon in most locales every two or three days, and are caused by Ih crystals in the upper atmosphere which refract solar or lunar light. There are common haloes at 22 and 45 degrees: look for one sometime in the thin, cirro-stratus clouds of an approaching warm front, and try to measure the angle between the centre of the celestial light source and the halo's inside edge. Rarer haloes also occur at $8\frac{1}{2}$, 18, $19\frac{1}{2}$, and 34 degrees. The angle of Scheiner's halo, however, was 28 degrees, an angle which could not be explained by analysis of any known crystal of Ih. Says Ted Whalley:

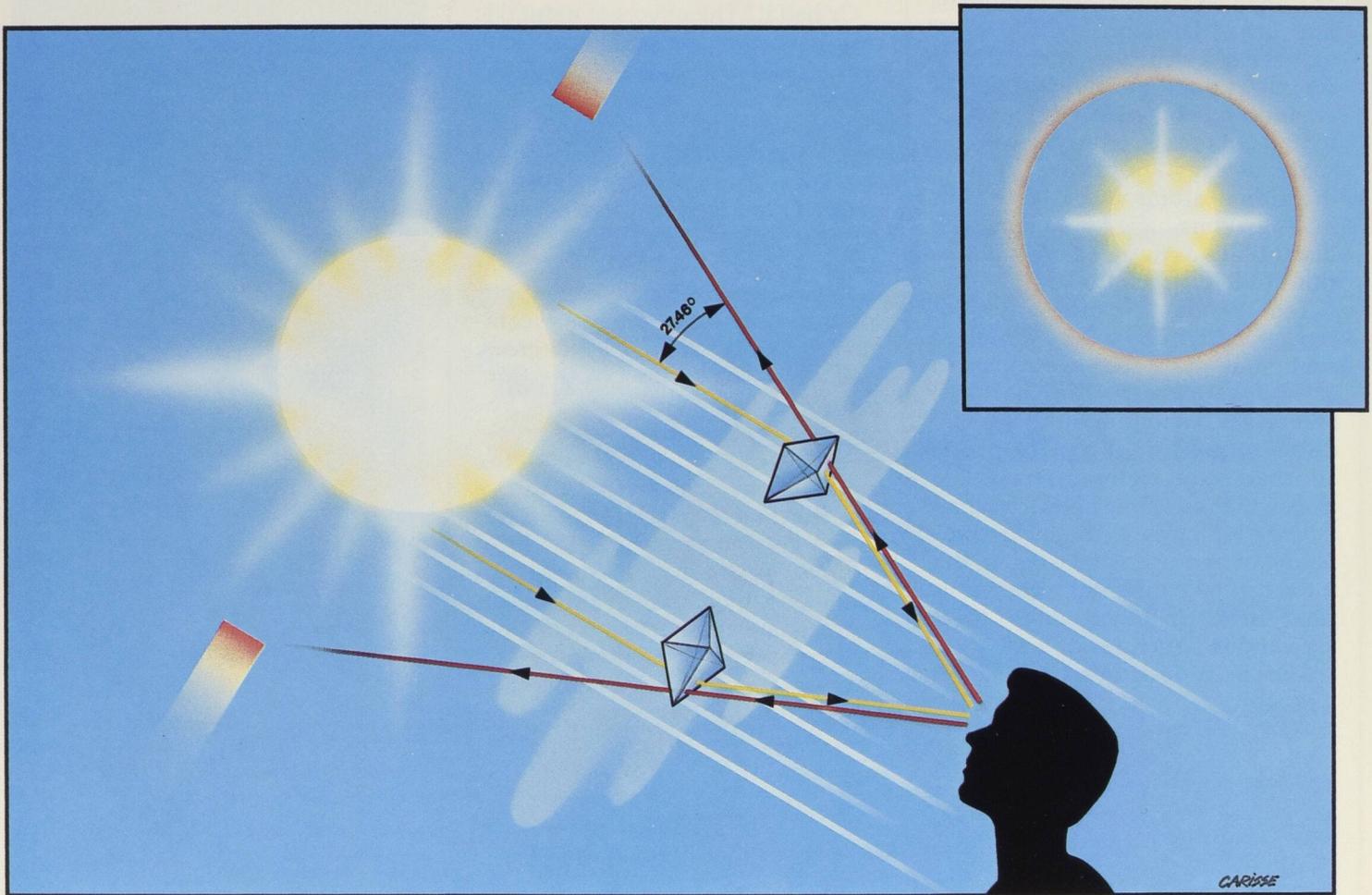
"Scheiner's halo came to my attention after I heard a visiting professor of meteorology say there were some haloes whose cause remained unknown. Of these, the only certain mystery was Scheiner's halo, at 28 degrees from the sun. But although no Ih crystal can refract light into a 28-degree halo, Ic could — if one assumed its crystals were octahedrons, which are simple variants of cubes. Thus, I began to suspect that cubic ice, which no one thought existed in nature, might be the agent behind Scheiner's halo."

Because thermodynamics generally favours the formation of Ih over Ic, it was originally felt that Ic must be made artificially to exist at all. "At certain times, however," Whalley says, "conditions in the upper atmosphere might favour the appearance of a few seed crystals of cubic ice. Once these formed, they could grow to a diameter of about ten micrometres, or one one-hundredth of a millimetre. Then, once enough relatively-large Ic crystals appeared, earthbound observers could see a luminous ring around a sun or moon which shone through this Ic-crystal cloud. Such a ring would, because of the octahedral geometry of Ic's large-scale crystals, be at an angle of 27.46 degrees from the sun or moon. That would probably be Scheiner's halo."



NRC chemist Ted Whalley.

"Once enough of the cubic crystals appeared, observers could see a luminous ring around the sun or moon. That would probably be Scheiner's halo."



What's in a halo? Parallel light rays from moon or sun strike crystals of ice in high clouds and refract towards an observer. Result (inset): a luminous ring appears to surround the light source. Angle between centre of moon or sun and inside of halo betrays type of crystal — in the case of Scheiner's halo, probably Ic or cubic ice.

And that's a bold suggestion. In a recent paper in the AAAs journal *Science* (Vol. 211, pp. 389-390; 1981), Whalley details his arguments and goes on to suggest that man-made cubic crystals of silver iodide might even precipitate the formation of Ic in the upper atmosphere, exactly as hexagonal crystals of this famous rainmaking material 'nucleate' Ih.

But Whalley's work has taken him much further than the upper atmosphere — much farther, even, than the moon or sun. Saturn and its rings emit microwave radiation which NASA engineers have measured. These engineers then extrapolated accurate measurements and an explanatory theory on how ice absorbs far-infrared light from Whalley and two colleagues, Dennis Klug and Osamu Mishima,

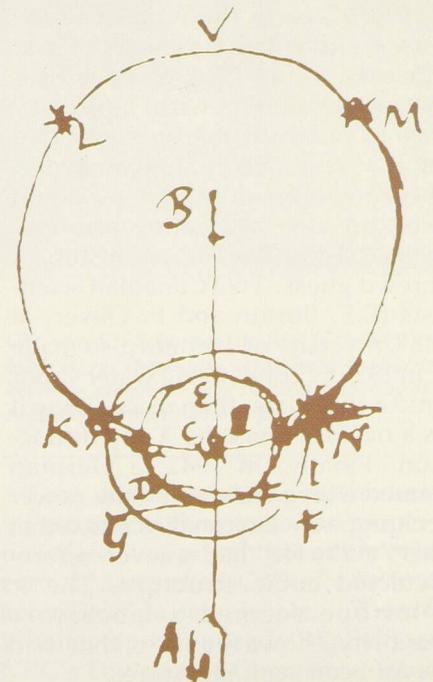
to help interpret their Saturnian radiation data. Result: the NASA scientists infer that the total thickness of ice (ordinary Ih) in Saturn's rings is, on average, a mere 30 cm — about the height of this issue of *Science Dimension*.

"That was most gratifying," says Whalley. "I'll never make it into space myself, but it's good to know my data have been to Saturn and back."

What about the possibility of some kind of malevolent super-allotrope of ice like Vonnegut's ice-nine? "There is none, and there never will be. If there were any possible way for water to freeze at temperatures higher than it does, it would have done so long ago."

Enjoy your spritzers, then, and set your minds at ease. ☺

A sighting of a solar halo from the notebook of Christian Huygens, a contemporary of Scheiner's. B marks the zenith, the sky's highest point overhead; C is the centre of the sun. Here one halo rings the sun while a second circle of light passes through the sun and runs parallel with the horizon.



Project ÉOLE

Catching Gaspé's winds

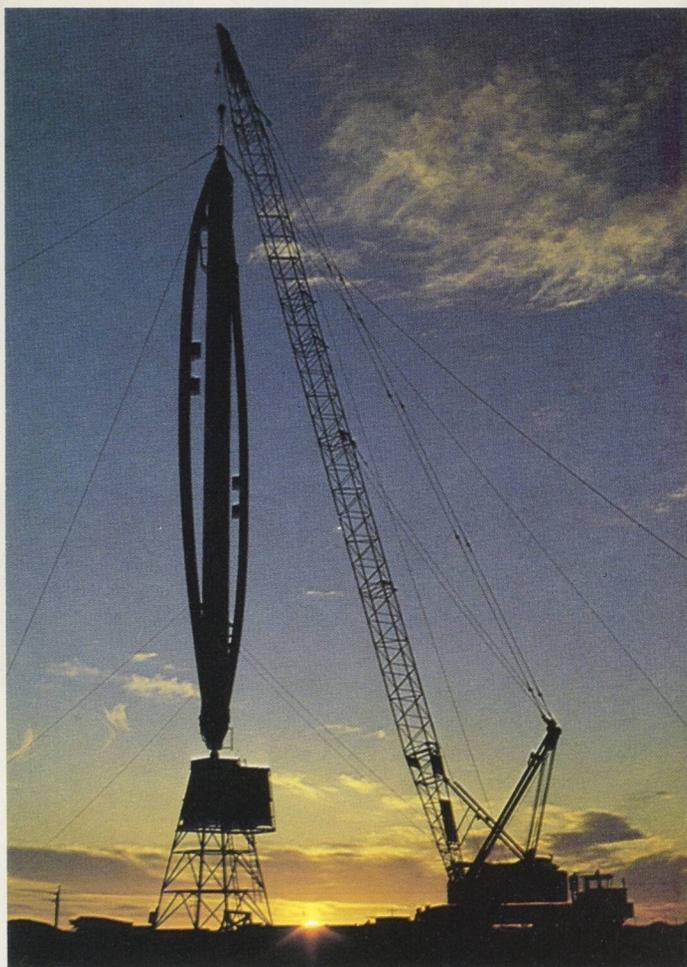
by Wayne Campbell

When it is completed sometime around the end of 1985, it will be a sight to behold, even from the main Gaspé highway over a half kilometre away. ÉOLE, a giant wind turbine named after the Greek god of the winds, will be built by NRC and Hydro-Québec to tap the winds blowing off the St. Lawrence River near the town of Cap-Chat, 425 km northeast of Quebec City. Spinning at a constant 14.5 rpm speed, this aerodynamic colossus is expected to deliver up to 4 MW of power into the main Hydro-Québec electrical grid, enough to satisfy the average electrical requirements of 1000 Canadian homes (not counting heat). ÉOLE is being designed by the engineering firm Experts-Conseils Shawinigan Inc. and will be built by Canadian industries under Hydro-Québec's supervision. Its approximately \$30 million cost is being shared equally between NRC and Hydro-Québec.

For people familiar with the traditional farm windmill, where the blades spin like a Ferris wheel on a horizontal axis, the engineering drawings of ÉOLE will come as a shock. Rising 110 m above the surrounding terrain (topping the Parliamentary Peace Tower), the prototype turbine looks like a huge eggbeater, its 96-m-high central shaft girdled by two bowed blades especially designed to catch the wind. The blades have the shape of an aircraft wing in cross-section (the winds move them the same way air 'lifts' an aircraft) and they spin vertically in the manner of a Merry-Go-Round.

ÉOLE is a vertical axis, or Darrieus, wind turbine (after its inventor the late Georges Darrieus) and when completed will be the most powerful machine of its kind in the world. Only the horizontal axis turbine at Medicine Bow, Wyoming, matches ÉOLE's projected power output.

The effectiveness of the modern Darrieus turbine is a tribute to the advances in wind turbine design over the last three decades, in particular the work of NRC engineers Raj Rangi and Peter South. During the early '60s, Rangi and South rediscovered the French engineer's turbine and improved on it. Under the leadership of Jack Templin, head of NRC's low speed aerodynamics laboratory, their mathematical analyses and tests of small models in wind tunnels showed that the vertical axis turbine was strong, efficient, and mechanically simpler than the horizontal axis models.

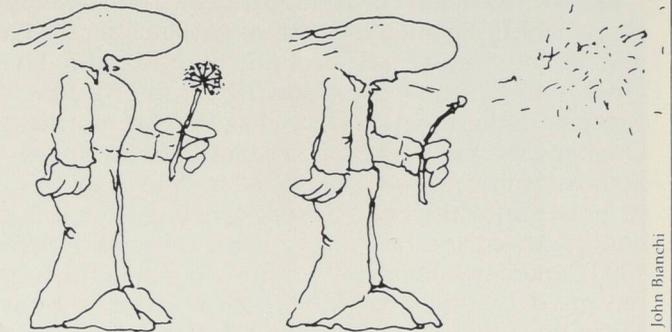
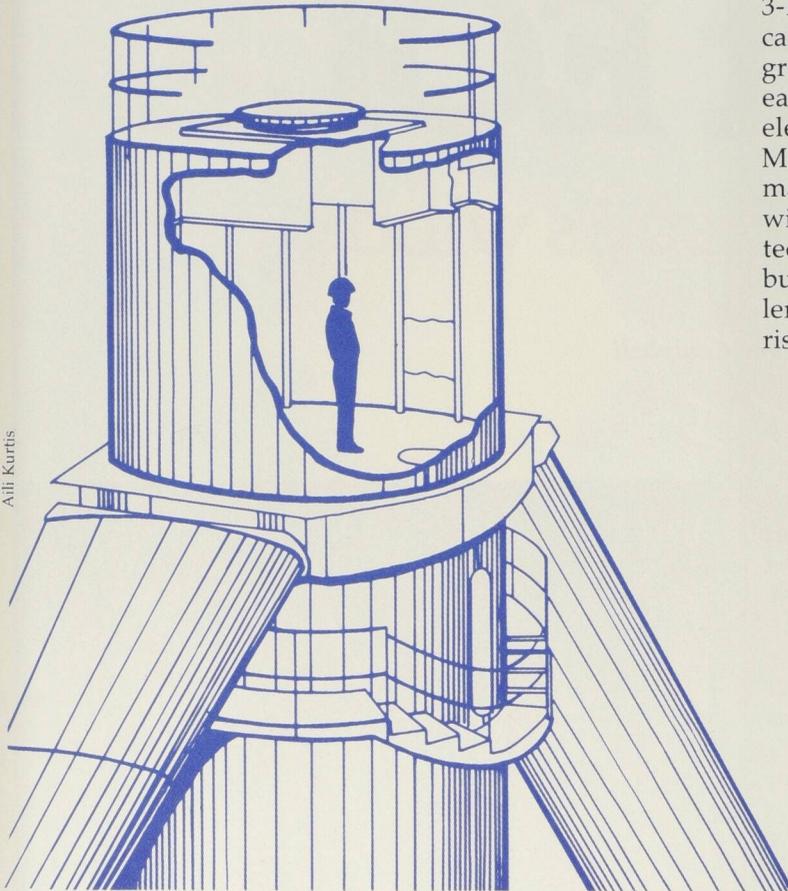


John McAulay

On May 18, 1977, a large and unusual windmill was erected on the Magdalen Islands in the Gulf of St. Lawrence. The machine is of industrial size, its blades outlining a loop 37 m (120 feet) high and 24 m (80 feet) wide. It delivers up to 200 kW of electric power into the local grid, energy which otherwise could be obtained only by burning imported fuel in the Island's power plant.

ÉOLE, then, has not emerged full-blown from some designer's imagination, but is the culmination of much research and development, especially during the energy-crunch years of the '70s. It was at this time that designers began to build ever larger Darrieus turbines, reasoning

that engineering and economic factors relating windmill size to energy output favoured bigger machines. A few 3-kW turbines were built to service remote telecommunications relay stations, and these were followed by progressively larger structures. During the late 70's and early 80's, 50 kW Darrieus turbines were connected to the electricity grids in British Columbia, Saskatchewan, Manitoba, and Newfoundland. These 20-m-high machines introduced Canadian utility companies to wind energy, and provided engineers with valuable technical information. In 1977, NRC and Hydro-Québec built the forerunner of ÉOLE on the windswept Magdalen Islands in the Gulf of the St. Lawrence. The machine, rising 47 m off the island sands, was the largest, most

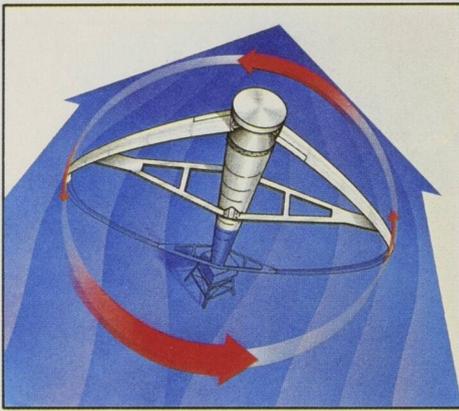


The ÉOLE wind turbine will be constructed near Cap Chat on the Gaspé peninsula (orange dot) 425 km northeast of Quebec City (yellow dot). The Magdalen Islands (red triangle), located in the Gulf of St. Lawrence, are the site of Canada's first large-scale Darrieus wind turbine.

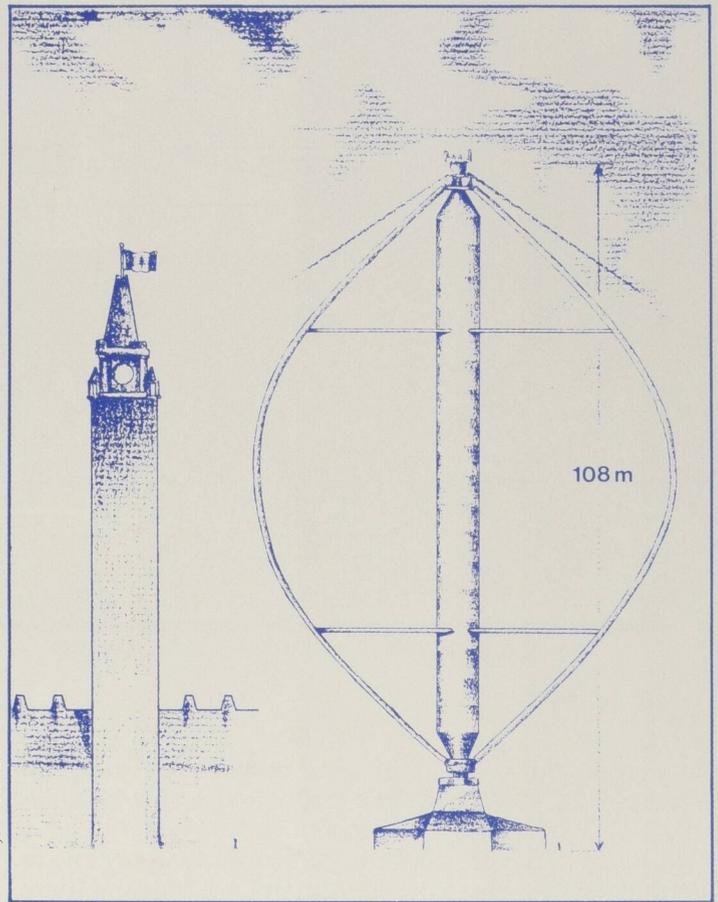
powerful Darrieus built at the time, contributing 230 kW to the islands' diesel-electric grid. The idea with the Magdalen windmill was to use it as a supplementary rather than a sole source of power, a design feature that holds for ÉOLE, and for wind energy in general. The Magdalen turbine underwent 5 years of testing, modification, and further testing to explore the basic structural and aerodynamic characteristics of this type of machine. Many valuable lessons were learned, which later helped in the design of ÉOLE. (Now that the detailed experiments are finished, the turbine continues to contribute electricity to the Magdalen Islands grid.)

One argument heard during the oil crisis was that, since the total energy of the winds blowing over Canada

The design of the vertical axis wind turbine is inherently simple. Unlike conventional windmills whose blades turn only when facing the wind, the vertical axis windmill spins in winds from any direction.

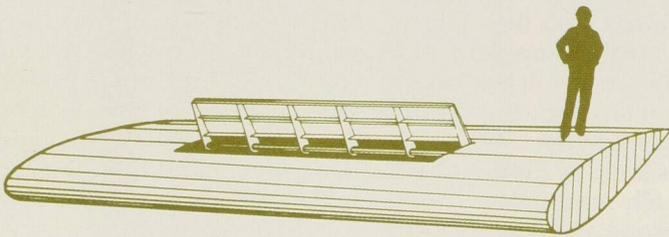


John Bianchi



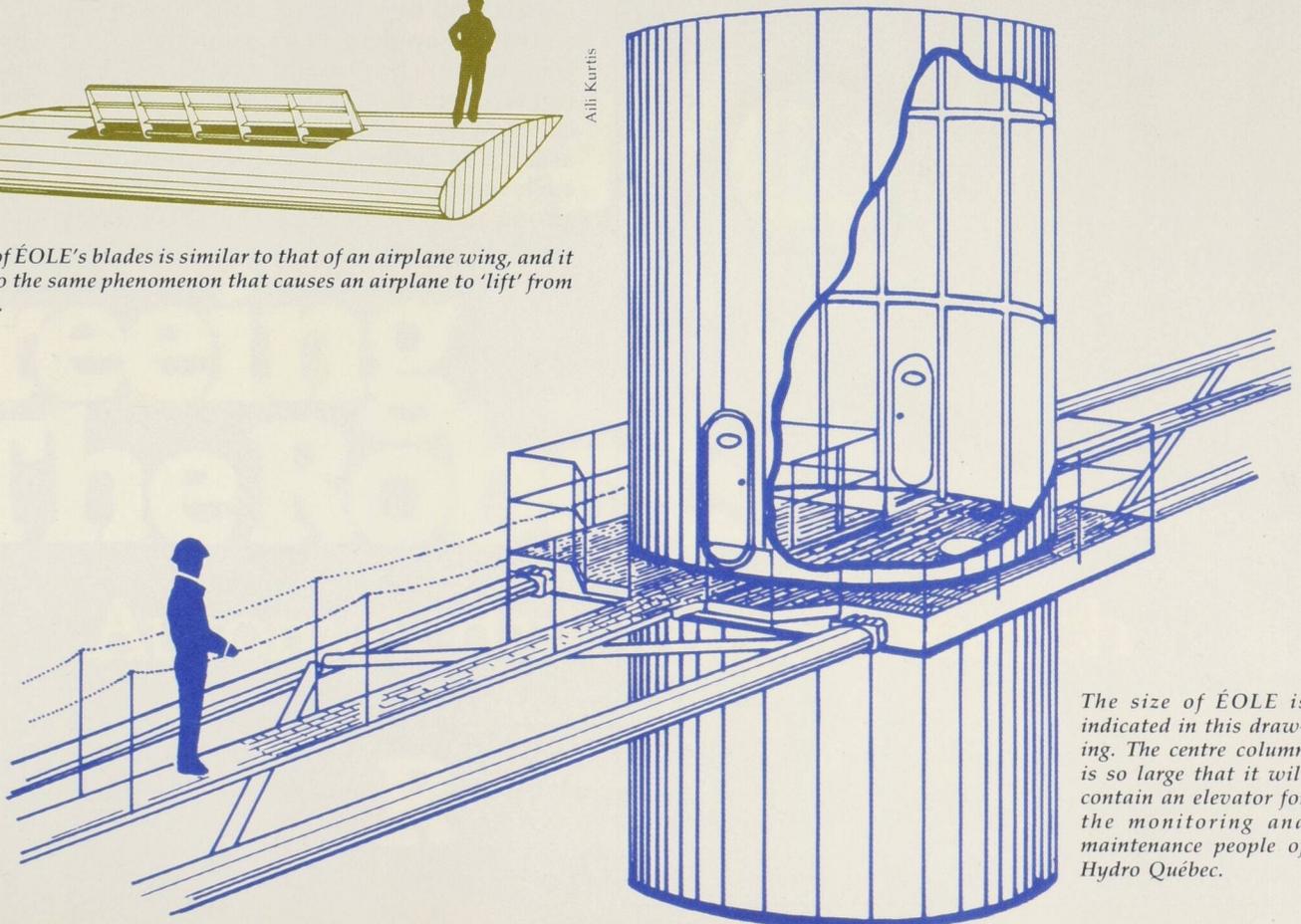
John Bianchi

At 108 m high, ÉOLE will be taller than the Peace Tower.



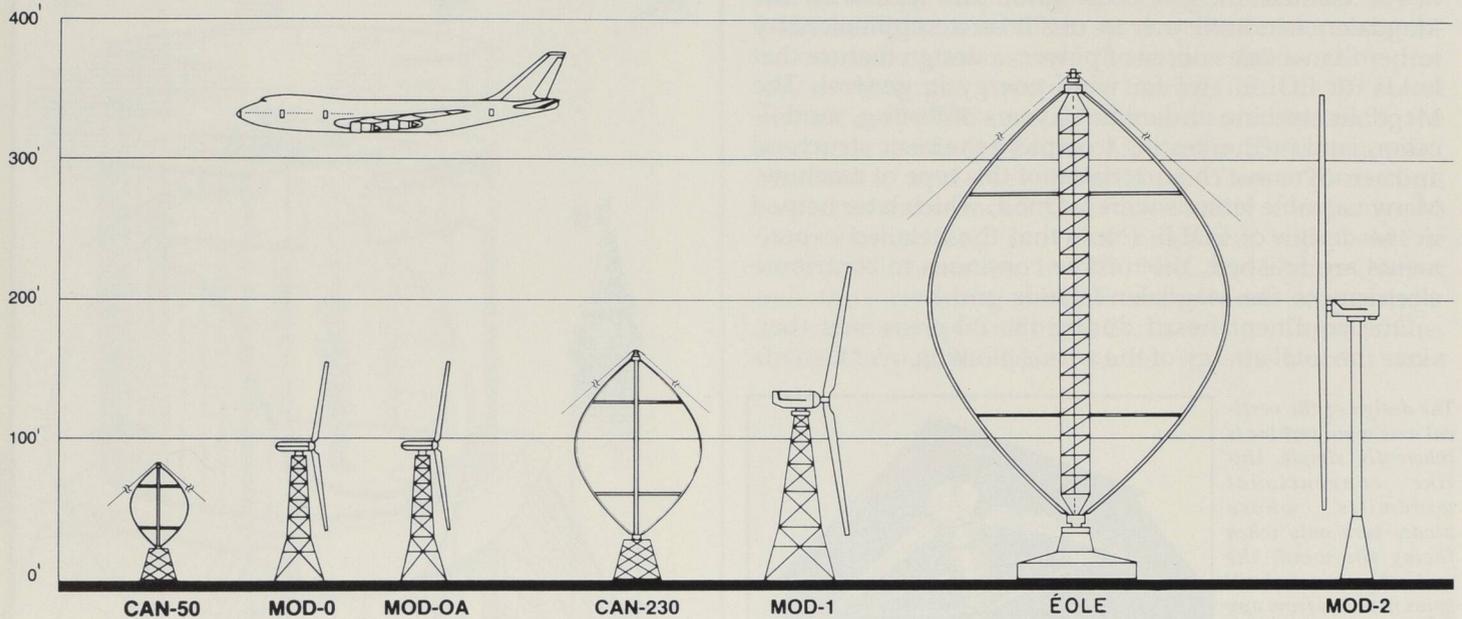
Ali Kurtis

The shape of ÉOLE's blades is similar to that of an airplane wing, and it spins due to the same phenomenon that causes an airplane to 'lift' from the ground.



The size of ÉOLE is indicated in this drawing. The centre column is so large that it will contain an elevator for the monitoring and maintenance people of Hydro Québec.

CURRENT LARGE GRID-COUPLED WIND TURBINES

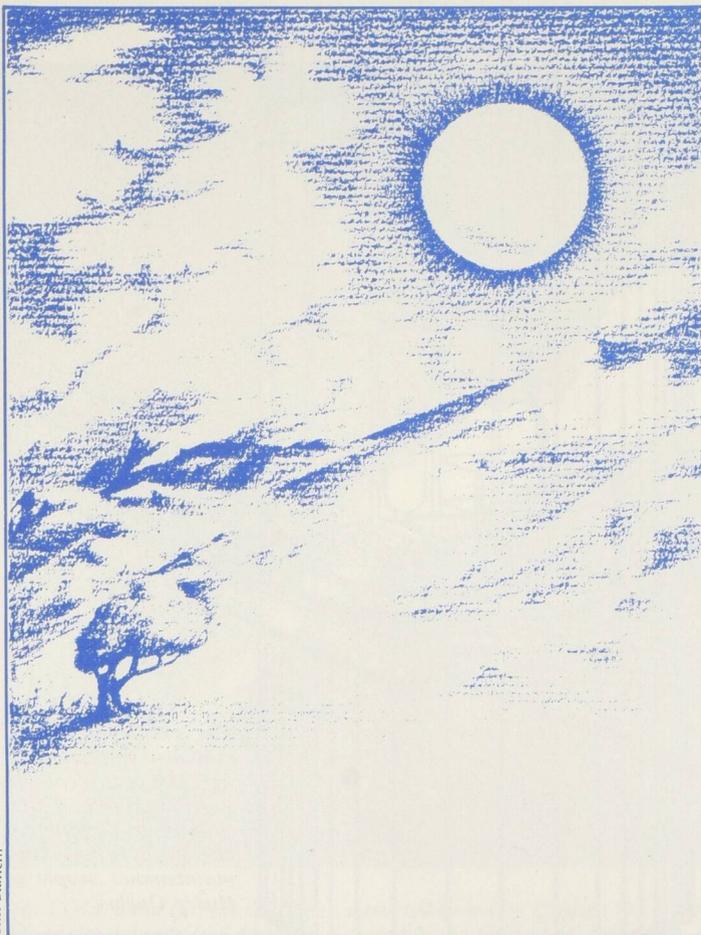


far exceeds our needs, and wind turbines operate at an efficiency of 40-45 per cent (about twice that of solar devices), why not tap this source in a big way?

One reason is that the strongest winds tend to blow in remote regions where the energy isn't needed, and there

exists no cheap, convenient way of storing and transporting energy. While it may be true that the total energy in wind is large, it is also a diffuse, fluctuating source, unevenly distributed across the land. Remember too, that the initial cost of a wind turbine is high (although you don't have to pay fuel bills to run it!).

Still, the winds will be with us as long as the sun shines, and they qualify at the very least as a power we source to supplement conventional sources like hydro, coal, and nuclear power. To find out how much power can tap from the winds, then, we need a lot more practical experience with windmills, particularly with models as large as ÉOLE. Calculations show that if hundreds of such machines were built where winds are reasonably strong and power lines are nearby, they could provide as much as 5 per cent of Canada's electric power needs. No mean amount, by anyone's measure. ☾





Freeing The Robots

Automated welding research

by Sean McCutcheon

Robots are fomenting another Industrial Revolution. In Europe, Japan, and North America, they are taking over repetitive and hazardous tasks.



A video-laser sensor for welding control. Laser light, projected onto the plates being welded, defines a reference line and plane. A video camera views these reference points from an angle. Computer software calculates the three-dimensional profile of the welding bead from the video image. Using such a sensor the amount of material deposited in a joint during a multi-pass weld can be monitored.



Not a robot, but close: this commercial welder needs no human intervention during actual welds, provided its operator sets necessary parameters before welding begins. Capable of performing both gas-tungsten and plasma-arc welding, the system is like those used to weld aluminum plates for the U.S. Space Shuttle.

Here in Canada they are helping fabricate automobiles, aircraft, and jet engines, among other things, and many of them are welders.

A robot welds no faster than a human, but when a human must pause every few minutes to check his work, light a cigarette, or rest, a robot is never tired, and never bothered by fumes or other health and safety hazards. Because they can sustain the most brutal rhythms and conditions of work, and thus greatly boost productivity, welding robots are being adopted in growing numbers.

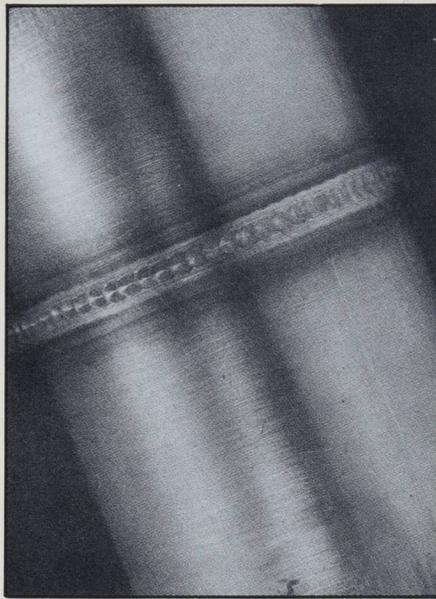
But according to Ghislain Bégin, a researcher with the Welding Institute of Canada who works at NRC's Industrial Materials Research Institute (IMRI) in Montreal, most of the welding robots commercially available are limited; they are not "interfaced with their milieu." Prisoners of inflexible programs, they cannot adapt to minor changes. Mindlessly, they continue to weld at the pre-programmed spot even when small irregularities in the pieces of metal they are joining mean that particular spot is no longer the right one.

By making them intelligent, by giving eyes and brains to these slavish robots, Bégin and others hope to set them free.

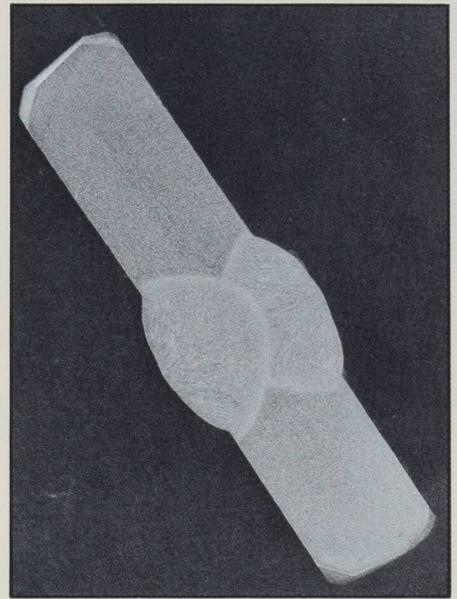
In practical terms this entails developing computer-aided feedback control systems. Such a system needs sensors to monitor a welding operation and computer software to respond to signals from the sensors by appropriately and instantaneously modifying the signals that control the welding torch.

Freeing the welding robots also entails developing new ways of teaching them. Conventional welding machines learn the sequence of tasks they must perform by copying a human teacher. This is inefficient, and since it requires a human to enter the work area of a robot and do some welding here, it can be dangerous. George Bata, the director of the Institute hopes that the robots of the future will teach themselves, directly working out, from engineering drawings, what must be done to assemble the final product.

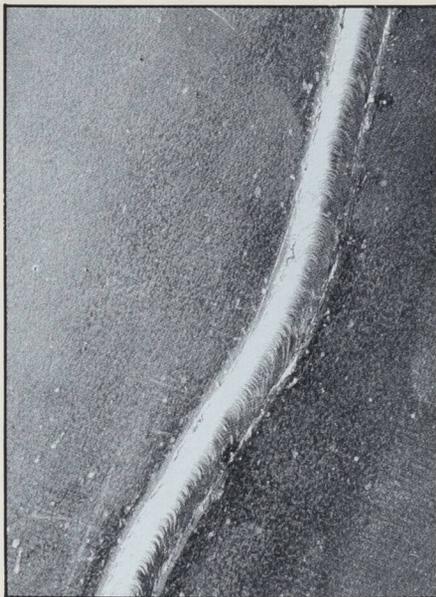
The autodidactic cybernetic welding robot does not yet exist, but what you see on these pages may be its progenitor. ☾



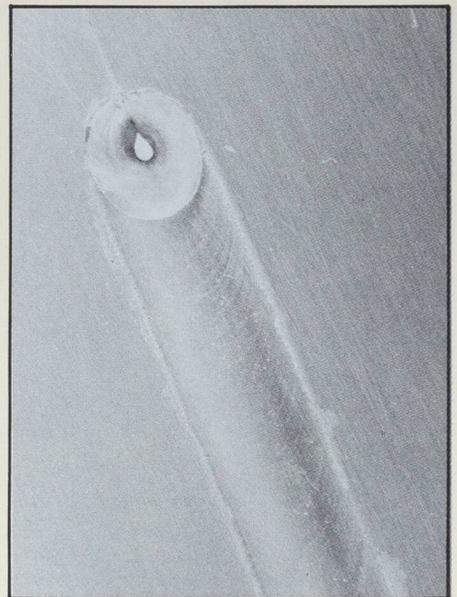
Automatic seam tracking.



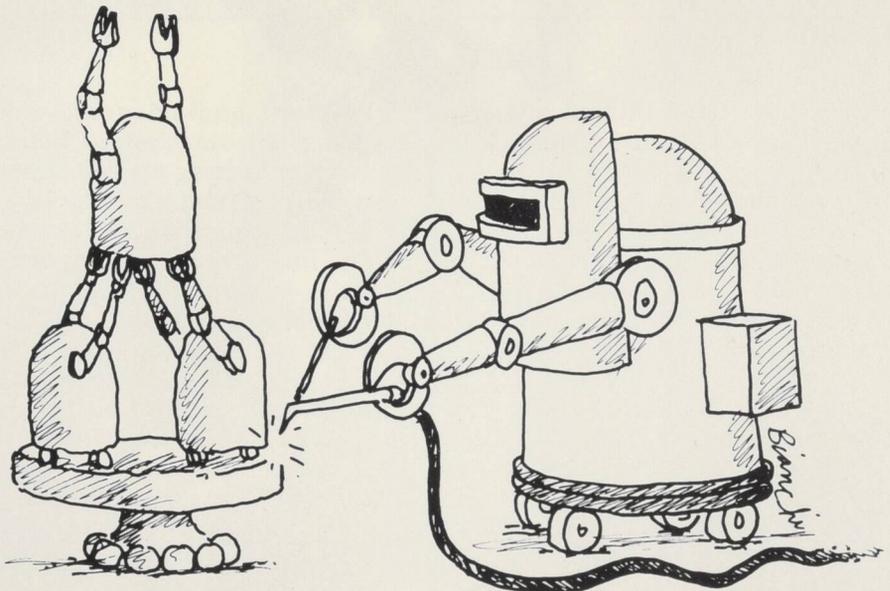
One pass on each side.



Total penetration on one side.



Pulsed current weld.

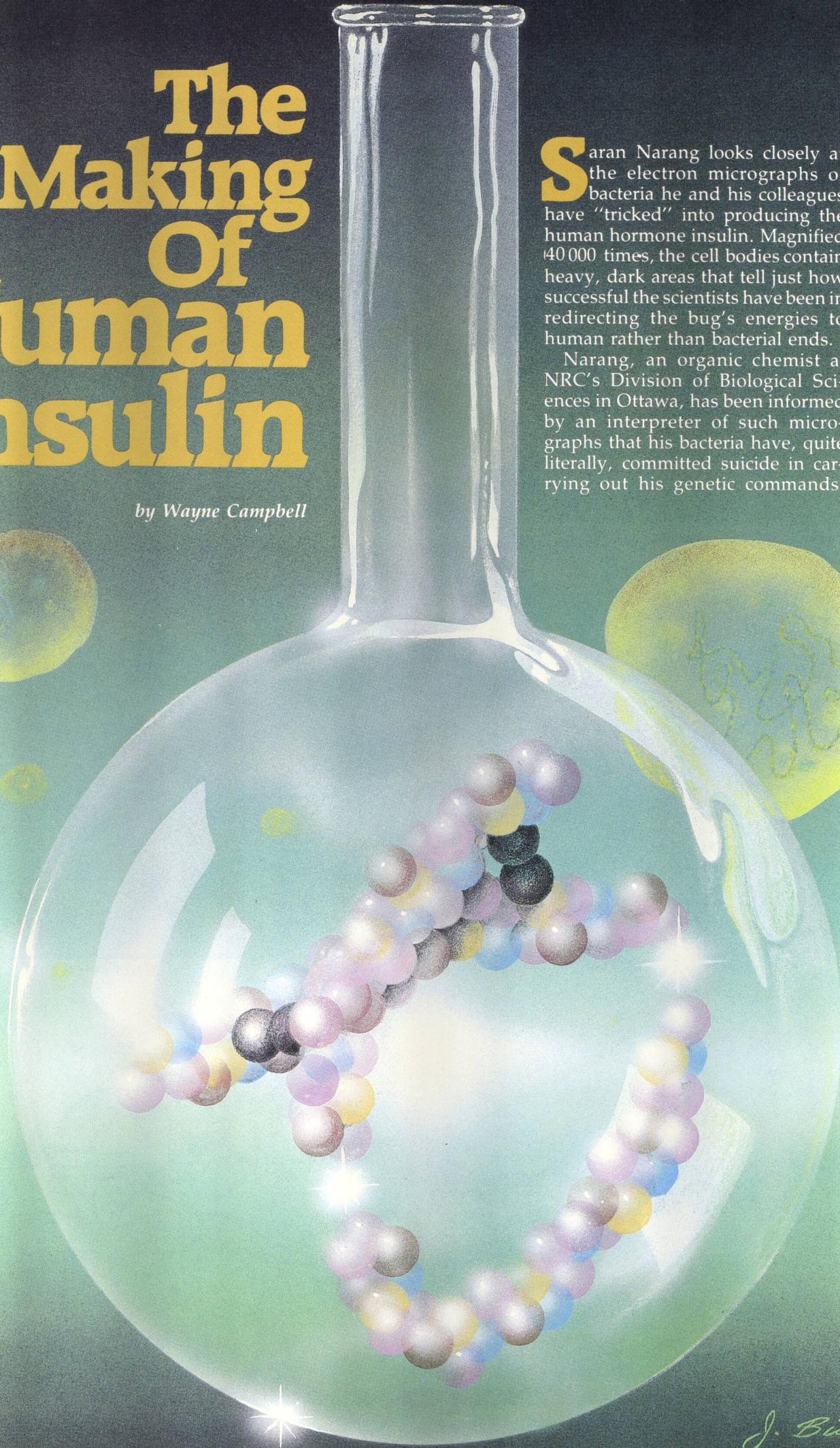


The Making Of Human Insulin

by Wayne Campbell

Saran Narang looks closely at the electron micrographs of bacteria he and his colleagues have "tricked" into producing the human hormone insulin. Magnified 40 000 times, the cell bodies contain heavy, dark areas that tell just how successful the scientists have been in redirecting the bug's energies to human rather than bacterial ends.

Narang, an organic chemist at NRC's Division of Biological Sciences in Ottawa, has been informed by an interpreter of such micrographs that his bacteria have, quite literally, committed suicide in carrying out his genetic commands.



J. Bianchi

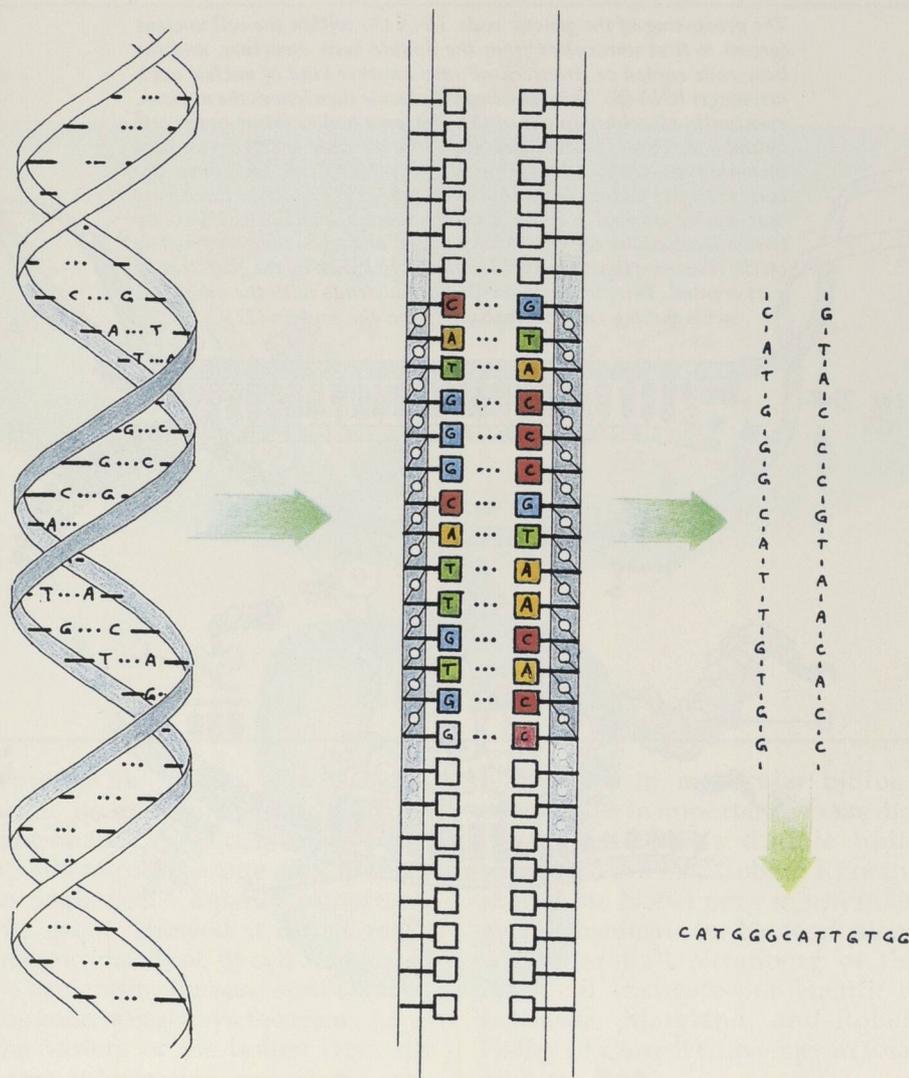


Dr. Narang examines the base sequence of a sample of synthetic DNA.

The instruction to produce the vital hormone is so compelling that the bacterium *Escherichia coli* has poured almost everything into the task, even its household chemical energies. "All that protein is good for diabetics, but fatal to *E. coli*," comments Narang as he reaches over to close his window against a gathering wind.



An electron micrograph of the *E. coli* transformed to produce the proinsulin protein. The dark areas in the cell represent the proinsulin joined to a large 'masking' protein that protects it from enzymic degradation. These bacteria produce so much of the protein that they actually fill up with it, committing suicide in the process. (x 40 000)



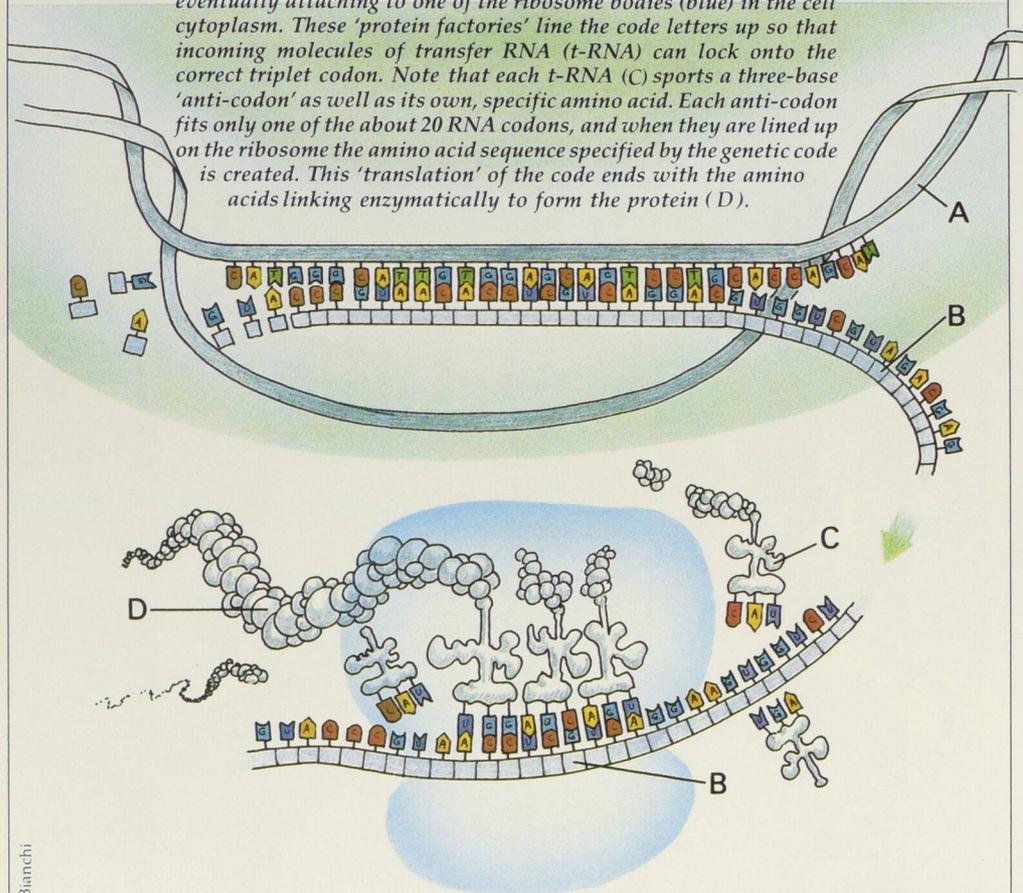
The chemist's shorthand for writing the genetic code. The base letters that appear ladder-like in the winding helix of DNA (left) are normally written as parallel columns (centre). On the helix, cytosine (C) is always across from guanine (G) and adenine (A) from thymine (T). Chemists forshorten the description further by simply drawing out the line of letters (right), and, since the strand that holds the code (left) automatically determines the complementary strand (remember, C must have G across from it, and A must have T), the complement is seldom written out as well (bottom). When a chemist writes out this bottom, single line then, what he or she is actually describing is the double helix at left.

For Saran Narang the single-minded bacteria are the embodiment of over ten years of research in one of science's most exciting new fields. In two short decades, scientists have created a powerful combination of techniques — widely known as "genetic engineering" — that enable them to build genes from off-the-shelf chemicals and induce bacteria and yeasts to dutifully translate them into medically-important proteins like insulin. More so than most, Narang appreciates the history of this burgeoning field. After all, he helped write part of it. The chemistry that went into build-

ing the insulin gene, and which underlies the made-to-order DNA capabilities of the new "gene machines," was developed in part at his Ottawa laboratory.

Outside, a storm moves across the Ottawa river from the Gatineau hills, driving rain against the high, cathedral-like windows of Narang's office. On blackboards (actually, greenboards) that crowd against his desk on walls so close that his outstretched arms can almost touch them, are long strings of letters connected by chalk dashes. Though there is no apparent pattern to the letters, it becomes evident on scan-

The processing of the genetic code. DNA (A) within the cell nucleus (green) is first unravelled from the double helix structure, and the base code copied or 'transcribed' into another kind of nucleic acid, messenger RNA (B). This messenger molecule then leaves the nucleus, eventually attaching to one of the ribosome bodies (blue) in the cell cytoplasm. These 'protein factories' line the code letters up so that incoming molecules of transfer RNA (t-RNA) can lock onto the correct triplet codon. Note that each t-RNA (C) sports a three-base 'anti-codon' as well as its own, specific amino acid. Each anti-codon fits only one of the about 20 RNA codons, and when they are lined up on the ribosome the amino acid sequence specified by the genetic code is created. This 'translation' of the code ends with the amino acids linking enzymatically to form the protein (D).



John Bianchi

ning them that only A, T, C, and G appear on the running line — the chemist's shorthand for adenosine, thymidine, cytosine, and guanosine. These so-called "nucleotide" molecules, known to Narang since his undergraduate days in India, are the subunits of the gene molecule deoxyribonucleic acid, or DNA. They are, as one noted molecular biologist puts it, the primal letters in the alphabet of life.

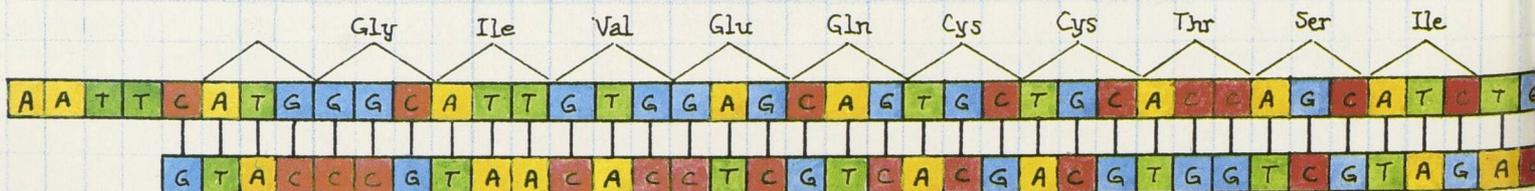
Though Narang has written them in a straight line on the board, in life the string is wound in a graceful helix, a double helix in fact, where

one spiral holds the gene code and the other is a "template" for the code, used when the cell divides. This now-famous structure was worked out almost thirty years ago by James Watson and Francis Crick at Cambridge. From their model of winding metal plates and wire deduced from the evidence of X-rays shot through crystals of DNA, it became clear immediately how the molecule duplicates itself so unerringly when organisms reproduce. The entwined spirals, which look like a twisted rope ladder, form a smooth fit *only* if the facing base let-

ters that make up the rungs always have adenosine across from thymidine, and cytosine from guanosine. Alter this and you distort the smooth flow of the helix. When the strands are pulled apart at cell division (the letters are held by relatively weak "hydrogen" bonds) each is used as a template to build an exact replica of the parent molecule. Thus, DNA possesses an ability unique in the cosmos — the capacity to duplicate itself. As molecules go, it is immortal.

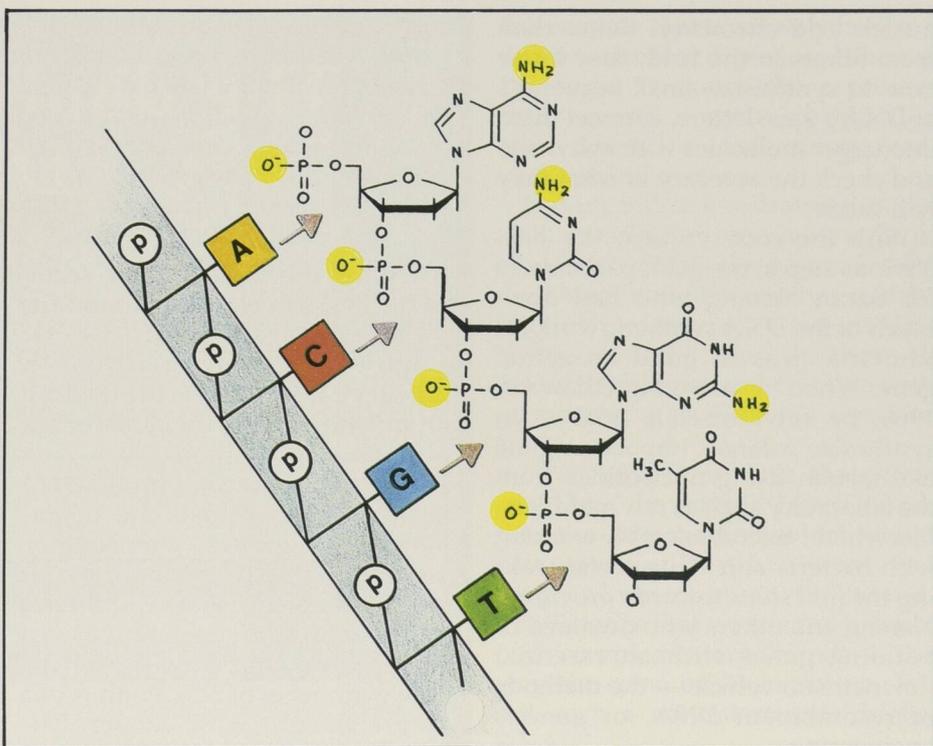
But the letters themselves are not nearly as important as their order along the spiral. It is this order, on the almost endless tracts of DNA found in living cells, that holds the code for all things alive in the biosphere, from bacteria to biological chemists. Narang indicates a particularly long string of letters — 66 in all — chalked in yellow. "That's part of the insulin gene we built called the A chain", he explains. "It's about one quarter of the whole gene. If you want to build genes for valuable proteins, you not only have to know the sequence of letters in their DNA codes, but you also need the laboratory skill to string them together."

These feats, the uncovering of the genetic code itself, and the chemical know-how that makes such synthetic strings possible, are two key elements in the new technology. They are also linked together in the timeline of Narang's career as an organic chemist. When he arrived at the Wisconsin laboratory of Dr. Har Gobind Khorana from India back in 1963, Saran Narang dropped into the middle of one of the most exciting quests in molecular biology — the cracking of the genetic code. Khorana and others at the time knew a great deal about the flow of information from DNA and how it is converted into the elements of the living cell, but a crucial element was missing — the precise nature of the DNA-to-protein information trans-



fer. They knew that the code in the DNA letter banks is first transcribed into another kind of linear molecular message — appropriately called “messenger” ribonucleic acid or messenger RNA — and transported out of the nucleus where it is trans-

Building a strand of DNA is basically a masking job. The stylized DNA at left is much more complicated when you look at its elemental structure, shown on the right. The code letters, A, C, G, and T are actually nitrogen-containing ring compounds (A and G have two rings, C and T have only one) linked to the sugar ring deoxyribose which in turn is connected to a phosphate group. These three member units, called nucleotides, are the shelf materials that chemists use to build a strand of DNA; they are linked one after another to the lengthening chain by joining phosphate to deoxyribose in regular sequence. But, before making these nucleotide connections, chemists must mask certain ‘active’ groups (yellow) that would otherwise interfere with phosphate-sugar bonding.



John Bianchi

lated into proteins. Like DNA, proteins are linear molecules too (at least in their primary structure), made up of 20-odd different kinds of smaller molecules called amino acids. From proteins, all else in life derives. They make up the struts and beams of all living structures, they are the enzymes that make the chemistry of life go, and they form a vast array of cellular messengers. Insulin is one of these. What Khorana and his team wanted to know was how the A, C, T and G bases code for the 20 amino acids. This relation is life's most ancient lexicon, the genetic code, created so early in evolution that it holds for every living species on our planet. “They were exciting days,” recalls Narang. “Especially as we were in a tight race with other laboratories. Eventually, we confirmed what biologists had inferred from purely mathematical considerations — that each amino acid is coded for by a “triplet” of three bases on the DNA. For example, the amino acid methionine is coded for by the sequence A-T-G. If you have

a protein like insulin, with 51 amino acids, its genetic code is 153 bases long on the DNA chain, or a string of 51 3-base codons, one after another in sequence.” Equally important, the group showed it didn't really matter what type of cell was tested — bacterium, human, sunflower — the code was always the same. All of the variety of life issued from the same information processing system. Only the data were different.

The cracking of the code and proof of its universality marked a

watershed in molecular biology comparable in importance to the discovery of DNA's double helix structure. In 1968, Gobind Khorana shared the Nobel prize in physiology and medicine for his work along with Marshall Nirenberg of the National Institutes of Health in Bethesda, Maryland, and Robert Holley of Cornell University in Ithaca, New York.

The skill that allowed Khorana's people to move forward in this field so quickly was in their ability to do

The A-chain of human insulin, in the form required to splice it into a plasmid, the small loops of bacterial DNA used to clone genes. The AATTC sequence on the left end is an enzyme ‘recognition site’ used to insert the gene into the plasmid, as is the right end CCTAG sequence (see plasmid graphic, page 25). The ATG immediately following is the universal signal to START transcribing the gene message, while the TGA at the other end is the signal to STOP. The ‘triplet’ sequence of bases in between specify the amino acids that make up the A-chain of insulin (the first 10 amino acids are listed along the top). Bioscientists clone the three proinsulin subunit chains in this way (A, B, and C) to obtain enough material to link them in the proper sequence of the complete gene, B-C-A).

T C G C T T A C C A A T G G A G A A T A T G C A A T G A G
A G G G A G A T G G T T G A C C T C T T G A T G A C G T T G A T C C T A G

nucleic acid chemistry. Better than most others in the field, they knew how to synthesize small sequences of DNA's base letters, connect them into larger molecules with enzymes, and check the accuracy of what they had made.

With the code broken, the next obvious step in the field, particularly for Saran Narang who had done much of the DNA synthetic work for Khorana, was to build an actual gene. When he arrived in Ottawa in 1966, he set himself a goal — to synthesize a large, important gene like insulin using nucleotides from the laboratory shelf as raw materials. Elsewhere, microbiologists working with bacteria and viruses were taking the first steps towards providing Narang and others who dreamed of building genes with an essential downstream vehicle — the methods of recombinant DNA, or genetic engineering.

But, there were obstacles, not the least of which was the dearth of known gene sequences to copy. More serious, however, was the grindingly slow pace of the chemistry. Khorana, who would eventually build the first long synthetic gene — upwards of 200 base letters long — expended the equivalent of 20 person-years on the task. Though the feat was widely acclaimed, it was compared to a once-only lunar landing, with little hope that it would become a routine procedure. Khorana's method, called the "diester approach," was simply too slow and it gave very small amounts of final product.

The gene letters are not, after all, strung together in one single chemical step; rather, they must be assembled pyramid-like, attaching the base letters one after another onto the lengthening DNA molecule. But each time a nucleotide is coupled or "condensed" to the string, the product must be elaborately purified, and verified to be what the chemist intended it to be. A lot of material is used up in purifying the lengthening molecule, and after relatively few additions, the amount of product is greatly diminished.

To appreciate the problems of working with these nucleotides, think of them as structures containing a number of different hooks. These hooks are "chemically active"

The double edge of DNA

During the mid-1970's, a socio-political storm blew up around the fledgling science of genetic engineering. The controversy arose not from outside the field but from within, from the ranks of the scientists themselves.

For many, recombinant DNA technology heralded the beginnings of a new era, promising an understanding of life and its control mechanisms that would have far-reaching consequences for medicine and industry. For others, however, it evoked scenarios of a future fraught with danger. The issue, which probably ranks as one of the most important social developments in the history of molecular biology, began in 1974 with what seemed like a fairly innocuous experimental idea by Stanford's Dr. Paul Berg. Berg's plan was to use the new techniques to insert genes from a monkey virus called SV40 into *E. coli*, using a virus rather than a plasmid as the 'vector' for getting the DNA into the bacterium. But, as some appalled microbiologists realized, SV40 caused lab-grown human cells to become cancerous, and *E. coli*, the workhorse of molecular biology, was completely at home in the human intestinal tract. There was a fear of loosing a truly dangerous bug onto the human population, one that could conceivably confer cancer on its host.

However, the problem was even more serious than this. Scientists could, after all, simply agree not to do such risky recombinations as SV40 — *E. coli*. But recombination experiments in general were far from exact. When microbiologists transferred genes from different organisms into bacteria, there was a possibility of inadvertently splicing an unlooked-for gene into the bug that would make it dangerous to humans.

The protests resulted in a group of scientists, led by Berg, asking for a voluntary moratorium on gene-splicing experiments until the dangers could be properly assessed. Finally, it spilled over into the public domain, leading to guidelines which called for such safeguards as special containment facilities for the work, the use of 'crippled' *E. coli* test bacteria which could not survive outside the lab, and an outright ban on certain experiments with disease organisms.

Though time has shown that much of the concern was unfounded, and that many of the feared mixings of gene material take place naturally, research in the field is still infused with the earlier caution.

groups, and gene builders want only one of them to undergo the coupling reaction. If they are thrown into a solution unchanged, then the hooks can link up the nucleotides in any number of ways. To avoid this, Narang and others "mask" or make chemically inert all groups except the one they want to remain active. Think of it as putting cork stoppers on all the hooks except one. Once the chain has been built to the chemist's specifications, the mask-

ing corks are removed to yield the nucleic acid chain as it would occur in the cell.

In Khorana's technique, there were actually two hooks still free when he linked up nucleotides; once one had formed a link with another nucleotide, however, the remaining hook wasn't nearly as apt to form a link as well. The real problem posed by the presence of this second hook, was in the way it affected the rates of the chemical reactions, and in the

difficulties it posed in trying to isolate the lengthening chain from the reacting nucleotides. These hooks give a molecule what is called an "ionic" character, and as all chemists know, this makes it soluble in water, and not in "organic" or fat-like solvents. As such, the materials could not be purified using the battery of sophisticated techniques available to organic chemists at the time.

Aware of these drawbacks, Saran Narang began to experiment with

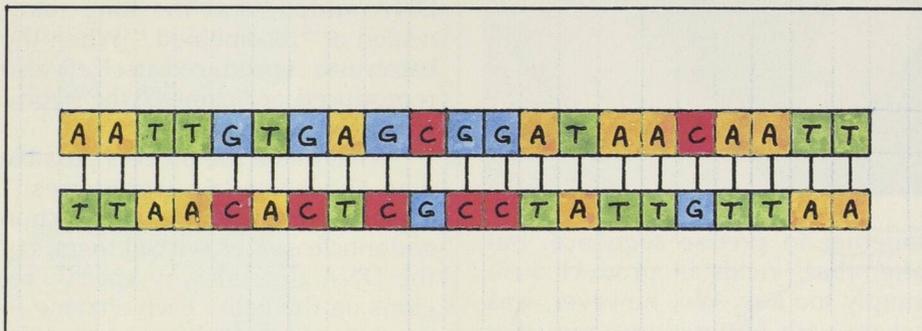
which later came to be known as the "modified triester approach". Now, Narang's lab no longer had to worry about water solubility, problems of purification, low yields, or long delays. Their essentially neutral (rather than ionic) molecules could be handled much faster and the yields of product were much higher. Explains Narang: "It was simpler, more practical, and a lot more appropriate to the task of building the genes of living systems, which, as we know, normally stretch to

the enzyme that ultimately breaks it down for further digestion. When all the sugar is gone, the repressor returns and enzyme production shuts down. It's a fairly simple feedback control system."

Narang indicates a drawing on the wall. A string of base letters, 21 in all, stretch across the paper. Under the string marches another matching letter line, with adenosine always dutifully lined up above or below thymidine, and cytosine with guanosine. It is Gilbert's operator gene.

"We built it in less than four months," he says. "Much faster than the older method, which would have taken at least two years, and we got a lot more product at the end. You'll notice that we needed to build both complementary strands — the way the gene exists in nature. We call such a natural strand 'duplex DNA'."

The Canadian gene was sent to Dr. Ray Wu at Cornell University in Ithaca, New York, who showed clearly that the synthetic gene bound exclusively to the repressor protein, and that the union was disrupted by the sugar lactose. It was, as Narang remembers with



John Bianchi

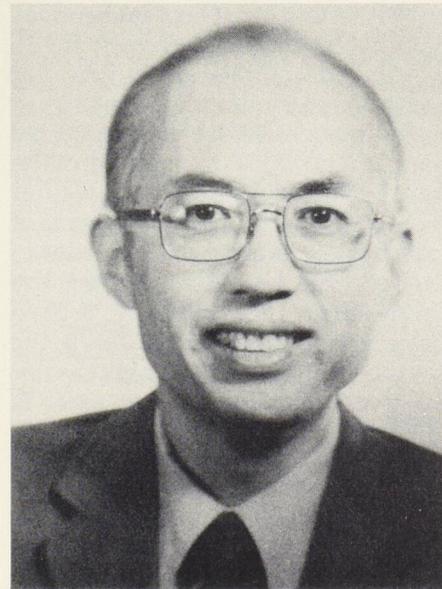
*The operator gene. This 21-base length of 'duplex' DNA (i.e. both strands) was the first artificial gene shown to function in the manner of the natural product. The operator does not hold the code for a sequence of amino acids; rather, it participates in the control of gene expression in the bacterium *E. coli*. Saran Narang and Drs. Keichi Itakura and Nobuya Katagiri built the gene in 1975.*

ways of modifying the method. The hooks, he knew, differed in their capacity to grip other hooks and to hold the masking cork stoppers, depending on the nature of the chemical environment around them. Over the years, Narang had acquired a sure sense of how to manipulate these environments, how to stick different masking corks on hooks, and how to gently tease corks off certain hooks without disturbing others. His idea was to mask the second hook, making the molecule more soluble in organic solvents, and then work out the complicated sequence of chemical environments that would allow him to harvest the building nucleotide chain rapidly, without losing too much in the purification procedures. For Narang and his colleagues, the going was slow and often depressing, given that the labs they were competing with in the United States and Europe had teams of researchers in the same area. Eventually, however, and Narang recalls that it happened during the Christmas holidays of 1972, they worked out the kinks in their new method,

many hundreds of nucleotides in length."

But, what to try first? To begin, Narang not only wanted to build a gene, but he wanted to verify his new methodology as well. Such a dual purpose called for a gene that was both small — and not many were — and could be checked for what is called "biological activity," that it actually works like a natural gene. Narang's chance came when Dr. Walter Gilbert of Harvard University (the 1980 winner of the Nobel Prize) worked out the nucleotide sequence of a very special type of gene in the bacterium *E. coli* called an "operator" gene.

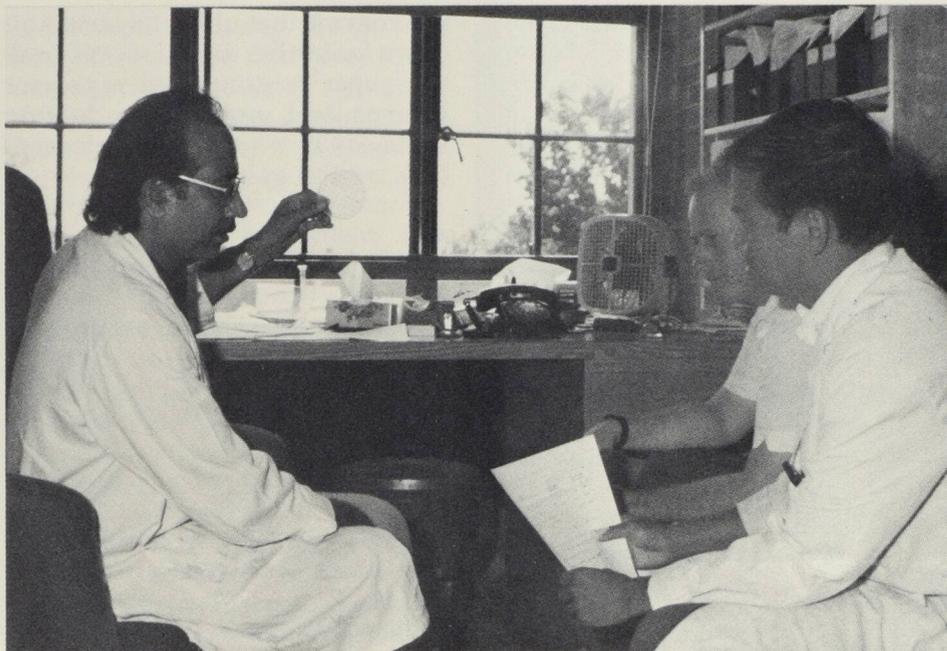
Explains Narang: "We now think that most bacterial genes are controlled by upstream 'operator' regions, which have proteins stuck to them when the genes are 'turned off'; these are called, appropriately, 'repressor' proteins. Gilbert's operator controlled the gene for an enzyme that breaks down the sugar lactose. It is this sugar, when present in the bacterium's environment, that lifts the repressor off the operator, leading to production of



Cornell University

Dr. Ray Wu of Cornell University in Ithaca, New York. The vital biological counterpart to NRC's synthetic chemistry.

pleasure, the first man-made gene that was shown to have the same biological activity as its' natural counterpart. It acted like the real thing.



Saran Narang with his NRC colleagues, Drs. Roland Brousseau and Wing Sung.

The operator experiment with Wu marked the first of a series of collaborations between Ottawa and Cornell, a partnership that ultimately led to the insulin-producing bacterium. Wu, a biochemist experienced in dealing with bacteria and their enzyme systems, particularly enzymes that attached nucleotides or broke the bonds between them, was the vital biological counterpoint to Narang's synthetic chemistry. It was Wu and British biochemist Fred Sanger who came up with one of the key breakthroughs in molecular biology during the 1970s, a means of rapidly determining the sequence of nucleotides in DNA. Called the "wandering spot" method, it used enzymes to first break down the sample of DNA into its letter constituents, then tagged them as A, T, C, or G on the basis of where they wandered under the influence of electric fields and special solvents. "We needed this kind of rapid, accurate check," says Narang. "After all, if you're wrong by just one letter over a molecule that can stretch to several hundred letters long, the entire gene can be defective."

Narang and Wu knew that the really big genes could not be built using chemistry alone. The modified triester approach was good for stringing about 30 to 40 letters

together in precise sequence, but after that, yields of product were simply too low. Wu, however, was set up with bacterial enzymes that joined or ligated smaller DNA strands. Why not have the Ottawa lab produce the entire gene for insulin — say in units of 10-20 letter segments — and then have Cornell join them in their proper sequence with the "ligase" enzymes?

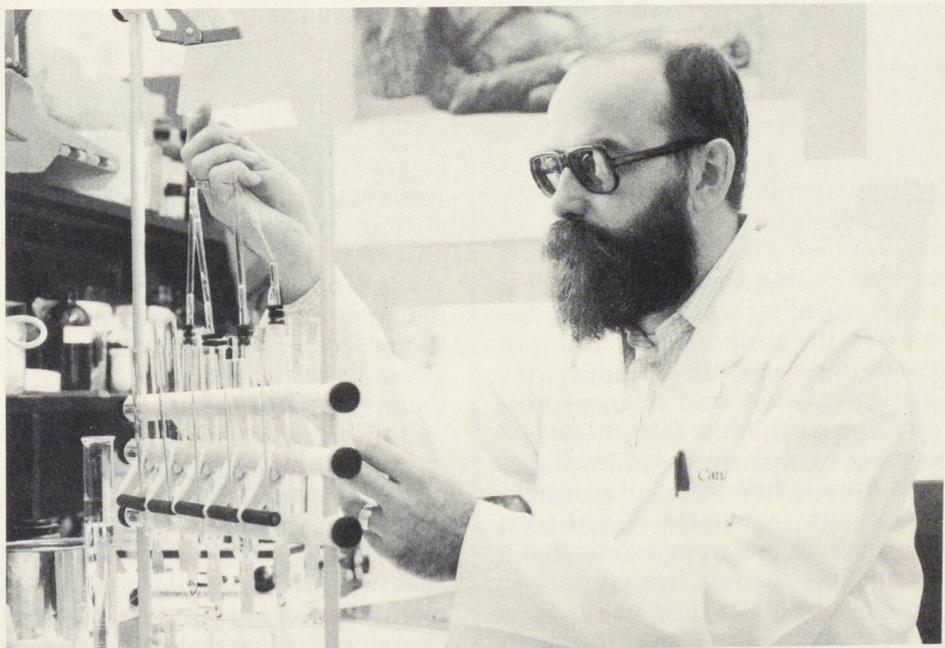
This would give them a gene fairly quickly, and they could then take advantage of recent advances in the manipulation of bacterial genes to 'clone' their synthetic molecule, and, perhaps, see if it worked like the natural gene. These advances,

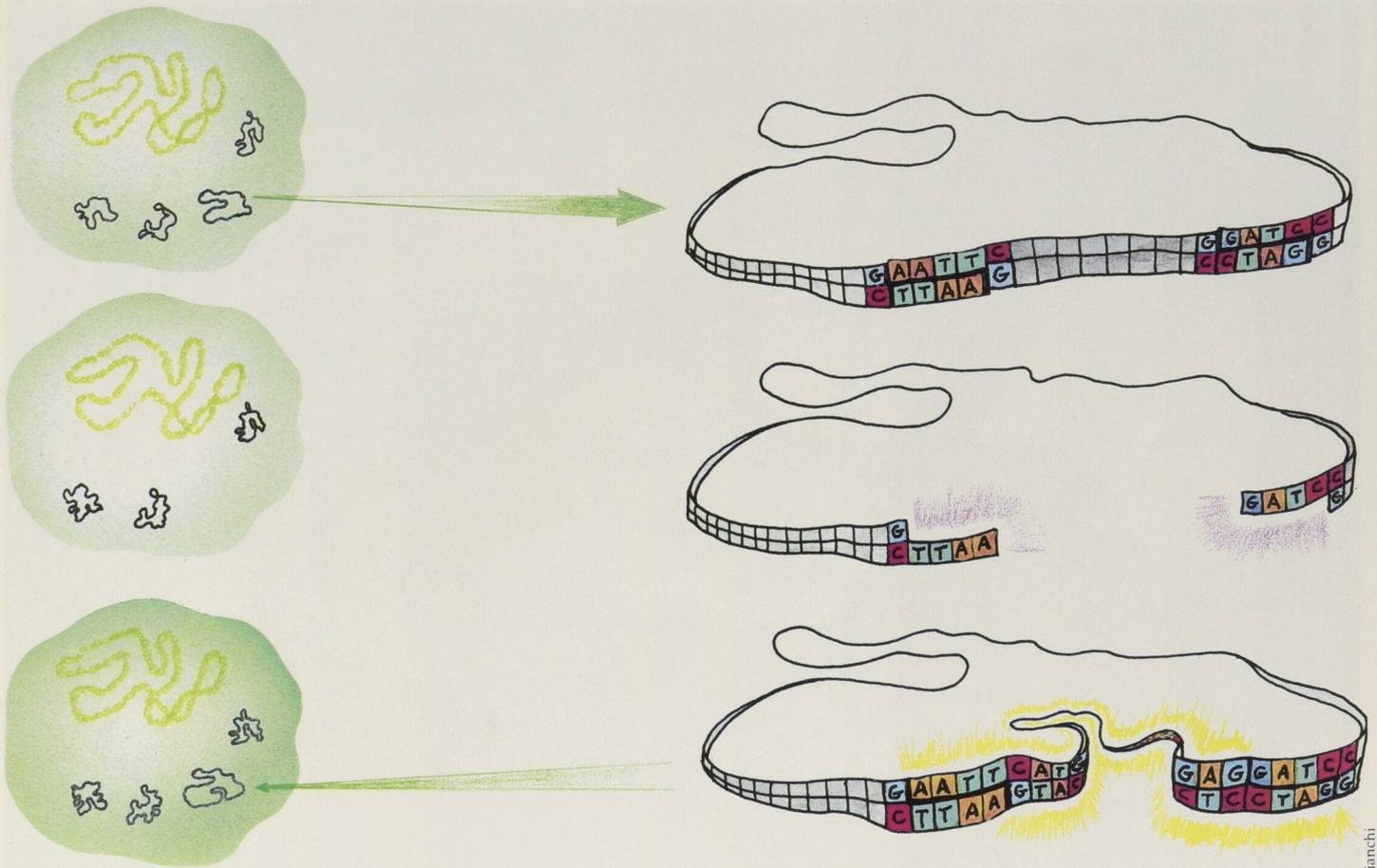
now grouped under the heading, "recombinant DNA technology," involved the use of small loops of DNA called plasmids that exist in a bacterium apart from its main chromosome. Laboratories like Stanley Cohen's at Stanford and Herbert Boyer's at the University of California found that not only could these tiny loops be removed from bacterial cells and put back by making relatively simple changes in the salt environment, but that the DNA could be scissored open using special enzymes, then pieces of foreign DNA added, and the loop reannealed or "recombined." When the bacterium reproduced itself, it also reproduced or "cloned" the hybrid containing the foreign DNA.

"What made the process possible was the scissoring enzymes," explains Narang. "These 'restriction endonucleases' as we call them, cut the DNA only at very specific regions on the helix. Each enzyme — there are about 50 different kinds — recognizes its own 'target' sequence of letters on the DNA and cuts the helix open there."

Moreover, adds Narang, the scissor cuts are usually not directly across the helix, but rather obliquely over a short letter sequence that "reads the same in both directions. It's a palindrome, where the letter sequence on one strand is the

Joseph Michniewicz has been with Narang since the early days of the insulin gene work.





reverse of that on the other." This gives the cut loop "sticky ends," or short stretches of single-stranded DNA dangling on the ends. All Narang and others had to do was build the same kind of single strands on the ends of their genes, but make the letter sequences "complementary" to the loop strands. That way, the gene ends would stick to their complements on the open plasmid, and the loop could be reformed or ligated with enzymes.

Saran Narang: "These enzymes and their easily synthesized target sequences, which we call 'linker' molecules because they are used to connect different DNA regions in plasmids, are the basic tools of the technology. It's really a form of gene surgery, and we routinely design plasmids or 'cloning vehicles,' with great precision."

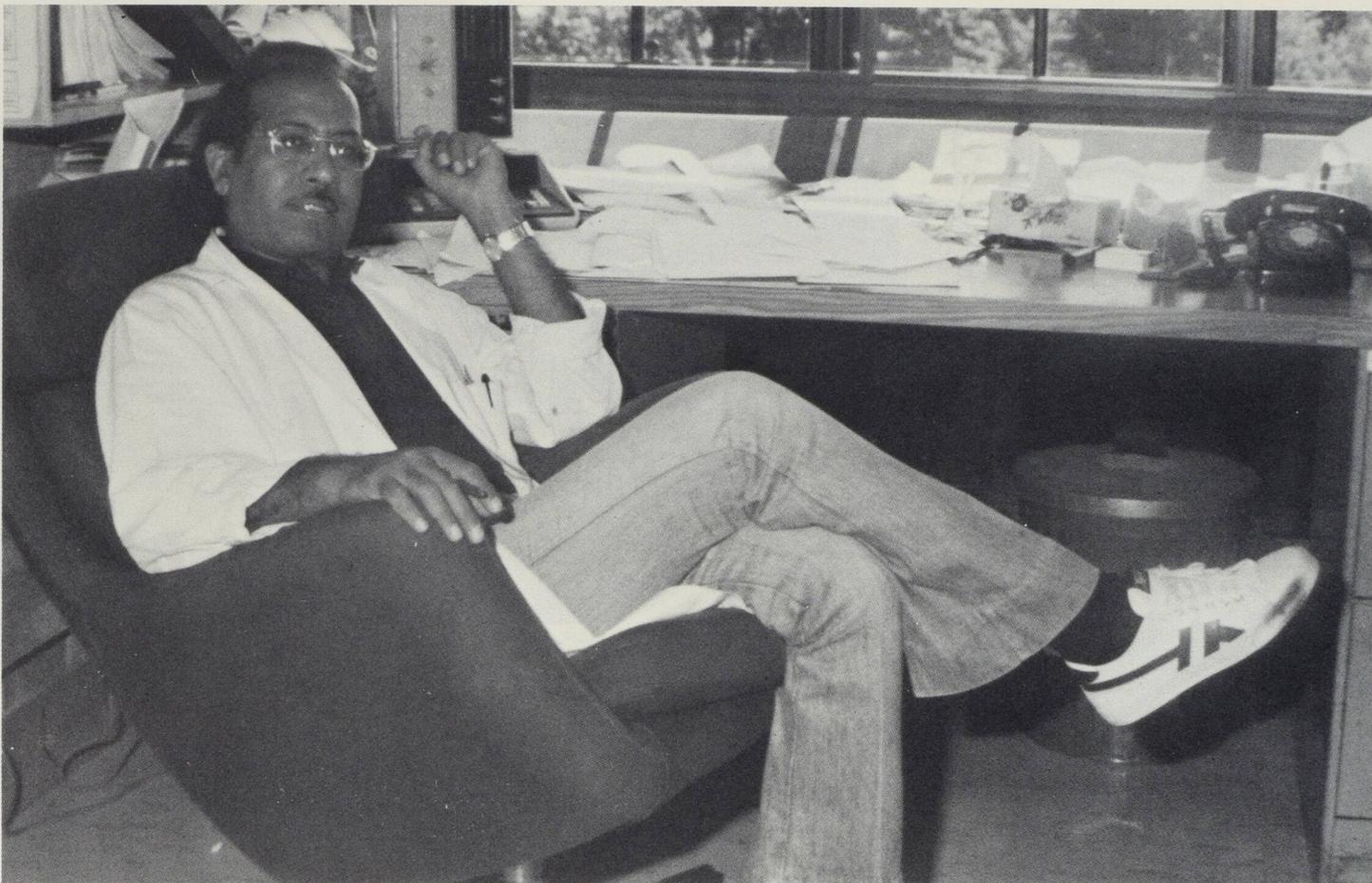
He opens a drawer and removes yet another drawing. It contains a wheel-like figure, broken up into several segments by lines, the various regions identified by strange, abbreviated names. It looks like an engineering drawing of some

strange, esoteric machine. "The plasmid that produced all that protein in the micrograph," he comments.

Getting up and moving to the blackboard, Narang chalks a large, but flattened Z-shape. On the top bar of the letter he writes B, on the oblique mid-bar, C, and on the bottom bar, an A. "When the insulin protein is translated from the messenger RNA molecule in our pancreas cells," he explains, "it is in this form, which we call 'proinsulin.' The molecule comes off the protein assembly line as a linear amino acid chain, BCA, but what we call 'steric' forces within the chain itself cause it to fold roughly into this kind of Z-shape. When this happens, enzymes form two 'disulfide' bonds between the A and B chains, and the C-chain is snipped out of the centre..." Narang rubs out the mid-bar and joins A and B with two red -s-s- bridges, "... to give the active hormone, insulin. The centre C-chain is only there to orient A and B so that the disulfide bonds can form."

Gene splicing, the heart of 'recombinant DNA' technology. The first step involves getting one of the bacterium's own small loops of DNA, called a plasmid, out of the cell, and cut open, by special enzymes, two in this case, each of which does its scissoring at very specific base letter sequences along the helix. Note that each of these sites, GAATTC and GGATCC, is a palindrome: it reads the same in either direction. Thus opened, the plasmid, also called a 'cloning vehicle,' loses a section of DNA, and is left with two special 'sticky' ends. When bioscientists want to clone a gene like insulin, they simply sculpt the gene ends so that they have the right base letter 'fits' for the plasmid's opened ends. These join sites are then annealed by 'ligase' enzymes and the recombined plasmid DNA is reinserted into the bacterium. During growth and reproduction, the bacterium also reproduces the inserted gene and in many instances, proinsulin being one of them, translates the gene into protein.

To get a hormone that worked, then, the scientists would have to produce the proinsulin protein, since it was known that the A and B chains could not be linked efficiently to form the active structure. Narang and Wu were aware by then that *E. coli* would probably clone a large



gene like proinsulin, but they still didn't know if the bug would go to the next important step and translate the gene message into protein. "Even if it did," says Narang, "we suspected that the bacterium contained enzymes whose job it was to break down such 'outsider' proteins.

Nonetheless, they went ahead with their plan to build the proinsulin gene. Ottawa would synthesize it in segments and Cornell would string them together with ligase enzymes. Other laboratories, particularly Walter Gilbert's, and Howard Goodman's at the University of California, were also attempting to clone proinsulin, but they were isolating the natural material rather than building it, and there were problems. To get the proinsulin gene, they had to backtrack, using the messenger RNA for proinsulin retrieved from a living cell to build the DNA gene that coded for it. This retrieval and the enzyme surgery that went along with stitching the gene into a plasmid were very difficult procedures. And, for everyone in the field, there were problems

Saran Narang: The early dream was to make a really large gene that would function like the real thing.

that went beyond the merely technical (see "The double edge of DNA").

The proinsulin gene that Narang and Wu eventually built was 258 base letters of double-stranded or duplex DNA. To get enough material to synthesize such a long molecule, they took advantage of the plasmid techniques to clone the individual chains. These early experiments also allowed Wu's Cornell team to become familiar with manipulating plasmids and work with the 'transformed' bacteria that carried them. The field was so new that virtually everyone enjoyed an amateur status.

"We cloned the A chain first," says Narang. "It was the shortest of the three segments. When you clone a gene, you also need to add the DNA triplets ATG and TGA immediately before and after it on the run of the helix. These are the universal signals that tell the bug's translator system that it is to START building an amino acid chain, and

finally, to STOP building it. Also, to each end of this assembly, we had to attach 'linker' molecules, the short DNA target regions of the plasmid splicing enzymes."

In this way, the two laboratories acquired enough of the three chains to allow Wu to patch them together to form the proinsulin gene code, B-C-A. With the START-STOP and linker regions, the finished molecule stretched to 287 base letters in length, one of the longest ever built. Wu's lab then spliced it into a plasmid, introduced the hybrid loop into *E. coli*, and waited to see what their three years of work would bring.

Narang recalls the tense days during which the Cornell team 'screened' the bacterial cultures for evidence that a transformed *E. coli* was, in fact, cloning their gene. "Finally, the screen turned up a bug that was doing it. From Gilbert's work with the natural gene, we knew that it was possible, but still, you're never certain until it actually happens. Equally important, we showed that the *E. coli* was also translating the gene into the protein, though at very low levels."

Pursuing the practical payoff

The downstream end of the Narang-Wu insulin project, which involves the production of the hormone for use by diabetics, was transferred in 1982 to Connaught Research Laboratories in Toronto. As Dr. Eric James, head of Connaught's recombinant-DNA laboratory explains, it's a long way from a bacterium that carries a plasmid with the proinsulin sequence to one that produces proinsulin; it is an even longer journey to a bottle of the active hormone on a druggist's shelf. "The modified bacterial strain sent to us by Dr. Wu's lab in Cornell was not designed to produce the proinsulin protein. Instead we used it as a source of the gene." The problem Connaught faced was in the bacterium's defensive enzymes, which break down the proinsulin protein produced by the gene before it can exit from the cell. Proinsulin is, after all, a foreign protein to *E. coli*.

"To get around this, we had to 'mask' the protein — that is, link it up to something the bacterium viewed as part of itself." The 'something' James and his Toronto colleagues used was one of the bug's own enzymes, a large protein called beta-galactosidase. Using genetic engineering techniques, they joined the 287 base-pair sequence of the proinsulin gene to the 3000 base-pair enzyme gene. As they hoped, the bacterial defence system ignored the 'chimeric' protein produced from the large hybrid gene.

To make it easy for Connaught to log off the unwanted enzyme por-

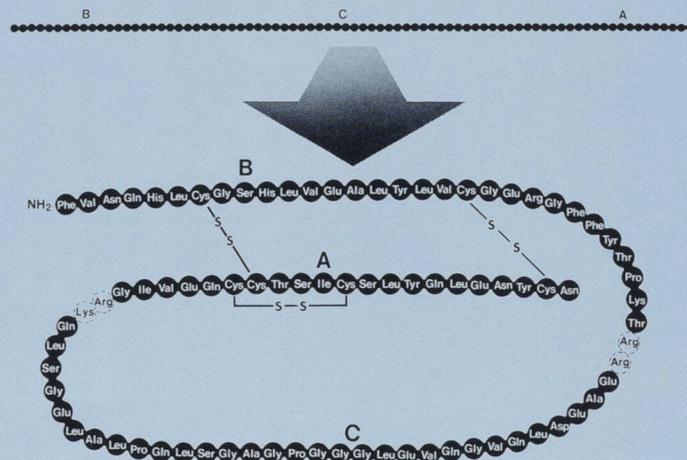
Saran Narang leans back in his chair, savoring the memory of that early success. Granted, Gilbert had produced the first proinsulin protein from transformed bacteria, but he had used a cell-derived gene rather than a man-made gene like that of the Ottawa-Cornell team. Other laboratories, notably the pharmaceutical company Eli Lilly, arrived at the hormone by the more onerous procedure of producing the A and B chains separately in bacteria and then joining them chemically. Eli Lilly also showed clearly in a British study last year that human insulin derived from bacteria is effective in treating diabetics.

There were, and are, other problems to solve in getting insulin production geared up to the same

technological status as beer-making. It was found, for example, that the bacterium did degrade the proinsulin, and to combat this a bacterial gene for one of its own proteins was spliced into the plasmid just in front of the proinsulin. Now, as Narang's darkened micrographs attest, the breakdown enzymes leave the mosaic protein alone, viewing it as one of their own. Narang placed a bridging stretch of DNA into the gene that makes separation of the two proteins an easy chemical procedure.

Today, though NRC still does research in the area, the downstream, or factory-scale process for producing the vital hormone has been passed over to Canadian industry (see "Pursuing the practical payoff"). As

HUMAN PROINSULIN



tion of the protein, the Ottawa-Cornell team built their proinsulin gene with the code for the amino acid methionine appended to the end slated for linkage with the enzyme gene. With this amino acid joining the two parts, it is a relatively simple chemical task to separate them after the hybrid is retrieved from the bacterium. The chemical cyanogen bromide degrades methionine (thereby cleaving the duet) and, luckily, this amino acid does not appear in proinsulin.

"We now have proinsulin from this cleavage," says Dr. James, "and our next step is to carry out the cross-linking reaction that occurs when the linear protein folds over on itself. Lastly, the centre part of the fold will be snipped out using enzymes, and we'll have the active hormone." (see diagram)

Connaught is working hard to produce gram quantities of the hormone by next summer, and hopes to improve the system's efficiency by way of certain modifications. For one thing, the huge enzyme mask — over ten times the size of the proinsulin — represents a lot of waste effort on the part of the biosynthetic system. James says that their research indicates that a fragment of the enzyme molecule, perhaps as little as one quarter of it, will do the needed masking job.

The Toronto team is also looking into the possibility of using other microorganisms — yeast for example — as hosts for the hormone gene. Currently, Connaught is the main supplier of insulin in Canada, obtaining its hormone from the pancreases of hogs and cattle.

for Saran Narang, he still has an interest in how things are going, but his attention has passed on to other things. The making of human insulin has left him expert with the tools of gene synthesis and he is now turning them to a study of what he calls "jumping genes."

Saran Narang: "Certain genes, more properly called 'transposable elements,' seem capable of ferrying genes back and forth between the chromosomes. Wouldn't it be delightful if, one day, we could use them to reintroduce whatever is missing to a diabetic's pancreas cells..."

He pauses, hesitates, and moves to the blackboard, alone despite the company, lost in the new idea. ☪



Great bats, small bats, lean bats, brawny bats, brown bats, black bats, gray bats, tawny bats...

(apologies to Robert Browning)

by Margaret Shibley Simmons
in collaboration with M. Brock Fenton

Creatures of mystery and superstition, these flitting denizens of the twilight have both intrigued and alarmed people for centuries. But with the advance of science has come our ability to understand the behaviour and physiology of bats. Almost 200 years ago, an Italian scientist, Lasarro Spallanzani, concluded from simple experiments that bats "see" with their ears; it took another 150 years for science to reach the point where researchers could figure out *how* they did it. In the 1930's, using microphones sensitive to high frequency sound, Donald E. Griffin and his colleagues at Harvard University discovered that bats produce pulses of sound and use the differences between the original pulse and its echo to locate objects in their path. The same principles are behind the sonar systems that allow subma-

lines to manoeuvre in deep water. Griffin and his team coined the word "echolocation," now sometimes referred to as "sonar sight." Much of the recent work has been done by Dr. M. Brock Fenton of Carleton University. The mug shots shown here are of just a few of his many friends.

Echolocation is a valuable strategy for navigating in the dark. Although we aren't certain how bats analyse acoustic signals, we do know the distance at which they detect their targets and the degree of resolution they can achieve. Typically, bats increase the rate at which they send out sound signals as they approach their target, from 50 to 500 calls per second in some species. The pattern of the calls may also change; usually the calls become shorter and sweep through a broader range of frequencies. They may even add harmonics (or overtones), thereby increasing the bandwidth of their signals and hence the resolution of target detail.

Most people can hear the echolocation calls of Spotted bats. This bat uses echolocation to hunt and to communicate with other Spotted bats.

The intensity of bat cries varies considerably also. Some bats produce very intense signals of over 110 decibels (dB) (as measured at 10 cm from their mouths); others use cries from 60 to 80 dB. Recall that decibels are measured on a logarithmic scale; 60 dB is the equivalent of someone whispering in your ear from 10 cm away — 100 dB is like having your ear 10 cm from a shrieking smoke detector.

Bats use echolocation for various purposes — orientation, hunting, and communication — but they don't all use it in the same way for the same reasons. For example, the Gambian epauletted fruit bat (fig. 1) cannot echolocate, but relies on vision and a highly sensitive sense of smell to locate the ripe fruit on which it dines. Other bats use echolocation

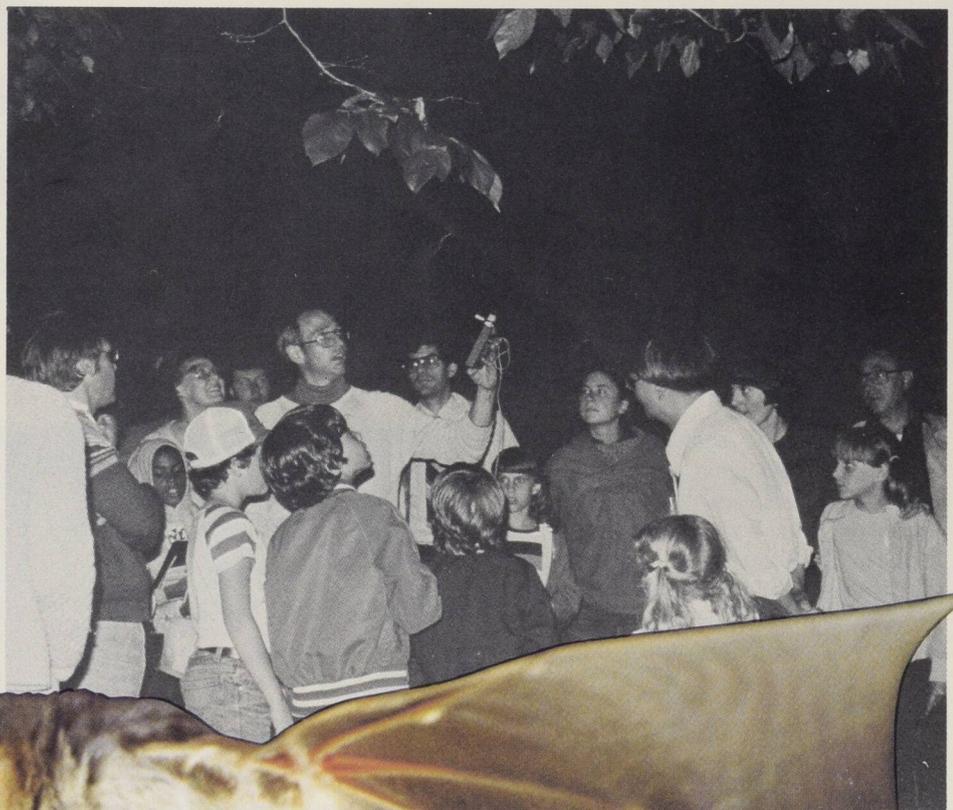
Bats share a problem that politicians often complain of — they get a lot of bad press. The bats, however, are not only oblivious of it, they are far less deserving. For the past four years, Ottawa's National Capital Commission has used a "Bat Walk" programme to inform people about bats. Here Brock Fenton holds a microphone so that a passing echolocating bat can show his talents.

for orientation, but zero in on their prey in silence, again relying on their eyesight (California leaf-nosed bat, fig. 2) or on sounds coming from their target (Pallid bat, fig. 3; Indian false vampire bat, fig. 4;

Egyptian slit-faced bat, fig. 5).

Why should bats turn off their echolocation if it is such a refined orientation system? The simple answer is in the amount of information the bat betrays about itself. There are, after all, a number of tropical bats that eat other bats. Any street-wise bat is certainly not going to constantly broadcast its whereabouts to possible predators. The information leak works in the other direction too. Many insects use high-frequency sounds to communicate, either to avoid each other or to locate mates, and a large variety of moths and some lacewings have ears tuned to the same frequencies the bats are broadcasting on. One of these moths, hearing a faint echolocating call, will turn and fly in another direction. If the call is loud, indicating a nearby bat, the moth will fold its wings and plummet to the ground. A moth already sitting on the ground reacts to an approaching bat by gripping the ground and pulling its body closer to it. A large number of bats, then, use echolocation only when necessary and rarely for hunting.

The moth on the ground presents the bat with an interesting problem, different from that of tracking flying prey. An insect in the air is a "hard" target on a "soft" background; the bats'



G.P. Bell



Indian false vampire bat.

M.B. Fenton

cries bounce off the insect, or continue through the surrounding air, and the bat can hear the clear difference. A moth on the ground or a tree trunk, however, represents a hard target on a hard background, a much more difficult distinction to make. There are only marginal differences between the reflected sound from the target and from the background. Bats that hunt stationary prey are called gleaners. The Pallid bat (fig. 3), a gleaner, prefers to use sounds generated by the insect itself to home in on. The California leaf-nosed bat (fig. 2), even though it can use echolocation to find a hard target on a hard background, uses vision if light levels are sufficient.

Bats also use echolocation to communicate with each other. Whether going out to dinner, going home to roost, looking for a mate or a hibernation site, Little brown bats (fig. 6) fly towards

speakers that are playing recorded Little brown bat echolocation calls. In other words they use echolocation signals to seek one another out, to communicate. Spotted bats (see photo p. 28) use echolocation calls to locate each other, but not for the purpose of meeting. They use the signals to space their numbers out, particularly in hunting areas where prey density is low. Their response to recorded calls is to leave the area, logical when echolocation is seen as a spacing device.

The dusky world of the bat is filled with interesting examples of how this echolocation technique has been refined for specific uses. There are the Bushveld bats of South Africa (fig. 7) that use the Doppler-shifted echoes from their prey's fluttering wings, a strategy that evolved about 60 million years ago. There are the Large slit-faced bats of Africa (fig. 8) that home in on the



mating calls of male frogs, using echolocation to yield information on the background of the target. And, there are our own North American bats, like the Eastern pipistrelles (fig. 9), with an acuity of vision that contradicts the "blind as a bat" aphorism. In short, there are "great bats, small bats, lean bats, brawny bats. . ."

1-The Gambian epauletted fruit bats have no ability to echolocate. Instead they rely on their vision and an acute sense of smell to find the ripe fruit that they eat.

2-California leaf-nosed bats use vision to find their food when there is enough light — for this bat light levels equivalent to a bright star-lit night are enough. How many insects could you catch in that light? In total darkness they use echolocation.

3-Pallid bats, from New Mexico, use echolocation to chart their course. When it comes to snagging dinner though, they use sounds generated by their prospective meal. Many insects have to warm up their bodies before they can fly in the evening, and they usually do this by vibrating their wings. Hunting Pallid bats are quick to locate moths with vibrating wings and make silent (non-echolocating) approaches to catch them.



Photos by M.B. Fenton

4-Indian false vampire bats have a well-developed echolocation system, but, when hunting, still rely frequently on sounds that come from the prey.

5-This Egyptian slit-face bat is coming to take a moth which is frantically vibrating its wings in an effort to escape. The bat is producing echolocation calls at this stage of its attack, but it is relying on sounds from the moth to locate its target.

6-The basic technique for echolocation is the same, but the specifics vary as much as the faces of the bats in these photos. This fuzzy face belongs to a Little brown bat, the most common species in Canada, and the experimental subject of some of the early work on echolocation. Little brown bats use echolocation to locate their flying prey, usually aquatic insects.

7-For most bats, Doppler shifting of echoes is a source of error, minimized by using signals that cover a wide range of frequencies. This Bushveld bat from Zimbabwe has mechanical and neurological tuning of his cochlea that permits him to use an extremely narrow band call and hence exploit the Doppler-shifted echoes that the fluttering wings of his prey produce.

8-Large slit-faced bats, common in some parts of Africa, have a remarkably variable diet: bats, fish, frogs, birds, and insects. They use echolocation to gather background information, literally.

9-The large eyes in this grinning face put to rest the notion of being "blind as a bat." This is an Eastern pipistrelle, a widespread but little known bat from eastern North America. These bats also use echolocation to catch dinner, but their eyesight is just fine.

1983 INDEX

- Acoustics**
Acoustic microscope: A new branch of microscopy. **15(5):** 22-27.
Sounding the heart: A new acoustic therapy. **15(4):** 23-27.
Tune your room. **15(4):** 28-31.
Voice of steel. **15(4):** 8-11.
- Agriculture**
Building character in Prairie plants: New tools to measure unseen traits. **15(2):** 28-31.
Cold region crops: Agriculture's northern challenge. **15(5):** 10-17.
- Astronomy**
Forecast: High winds and methane rain. **15(3):** 12-13.
Tracking back to the Big Bang. **15(2):** 10-17.
- Aurora borealis**
Blue aurora: Investigating earthspace. **15(5):** 18-21.
Polar views of planet Earth. **15(2):** 7-9.
- Bats**
Great bats, small bats. **15(6):** 28-30.
- Biology**
Cold region crops: Agriculture's northern challenge. **15(5):** 10-17.
Dulse on the distaff side: A seaweed tells its life story. **15(1):** 23-25.
Great bats, small bats. **15(6):** 28-30
Sounding the heart: A new acoustic therapy. **15(3):** 23-27.
The eggs have it: Industrial antibiotic. **15(4):** 17-19.
The making of human insulin. **15(6):** 18-27.
Underground allies of plants: At the root of the matter. **15(1):** 18-22.
- Cancer**
A quiet revolution: Cancer in the service of science. **15(1):** 12-17.
Distant early warning protein: Signalling cancer's onslaught. **15(3):** 28-31.
Pions against cancer: New tumour therapy at U.B.C. **15(4):** 12-16.
- Chemistry**
Conducting crystals: A latticework for microchips. **15(3):** 18-22.
Scheiner's halo, Saturn's rings, and ice-nine: Studying solar haloes. **15(6):** 8-10.
Quenching a chain reaction: Vitamin E. **15(2):** 25-27.
- Computer information systems**
A farewell to drudgery: The digital librarian. **15(2):** 20-24.
Swift completion: The video mailbox. **15(3):** 14-15.
- Energy**
Gas misers: Do they really work? **15(3):** 23-25.
Project ÉOLE: Catching Gaspé's winds. **15(6):** 11-14.
- Fire research**
Up in smoke: Fire research at NRC. **15(5):** 28-31.
- Fuel economy**
Gas misers: Do they really work? **15(3):** 23-25.
- Fungi**
Underground allies of plants: At the root of the matter. **15(1):** 18-22.
- Gas analysis**
The fifth generation. **15(1):** 7-11.
A nose for danger: Sniffing a bomb's tell-tale traces. **15(3):** 26-27.
- Genetic engineering**
A quiet revolution: Cancer in the service of science. **15(1):** 12-17.
Building character in Prairie plants: New tools to measure unseen traits. **15(2):** 28-31.
The making of human insulin. **15(6):** 18-27.
- Ice**
Scheiner's halo, Saturn's rings, and ice-nine: Studying solar haloes. **15(6):** 8-10.
- Industry**
A nose for danger: Sniffing a bomb's tell-tale traces. **15(3):** 26-27.
Cherries: In the pink from the red. **15(3):** 16-17.
Conducting crystal: A latticework for microchips. **15(3):** 18-22.
From wood carvings to electroplating: Helping small business in Quebec. **15(2):** 18-19.
NRC backs a winner. **15(1):** 26-27.
The battle against plastics fatigue: Improving a priceless polymer. **15(4):** 20-22.
The eggs have it: Industrial antibiotic. **15(4):** 17-19.
Voice of steel. **15(4):** 8-11.
- Insulin**
The making of human insulin. **15(6):** 18-27.
- Immunology**
A quiet revolution: Cancer in the service of science. **15(1):** 12-17.
- Mass spectrometry**
The fifth generation. **15(1):** 7-11.
- Microchips**
Conducting crystals: A latticework for microchips. **15(3):** 18-22.
- Microscopy**
Acoustic microscope: A new branch of microscopy. **15(5):** 22-27.
- Physics**
The fifth generation. **15(1):** 7-11.
- Plastics**
The battle against plastics fatigue: Improving a priceless polymer. **15(4):** 20-22.
- Robotics**
Freeing the robots: Automated welding research. **15(6):** 15-17.
- Safety**
A nose for danger: Sniffing a bomb's tell-tale traces. **15(3):** 26-27.
Promoting air safety: Crash diagnosis. **15(1):** 28-31.
Space age SOS: Search and rescue by satellite. **15(3):** 9-11.
- Satellite**
Polar views of planet Earth. **15(2):** 7-9.
Space age SOS: Search and rescue by satellite. **15(3):** 9-11.
- Scheiner's halo**
Scheiner's halo, Saturn's rings, and ice-nine: Studying solar haloes. **15(6):** 8-10.
- Seaweed**
Dulse on the distaff side: A seaweed tells its life story. **15(1):** 23-25.
- Semiconductors**
Conducting crystals: A latticework for microchips. **15(3):** 18-22.
- Speakers**
Tune your room. **15(4):** 28-31.
- Vitamin E**
Quenching a chain reaction: Vitamin E. **15(2):** 25-27.
- Welding**
Freeing the robots: Automated welding research. **15(6):** 15-17.
- Wind energy**
Project ÉOLE: Catching Gaspé's winds. **15(6):** 11-14.

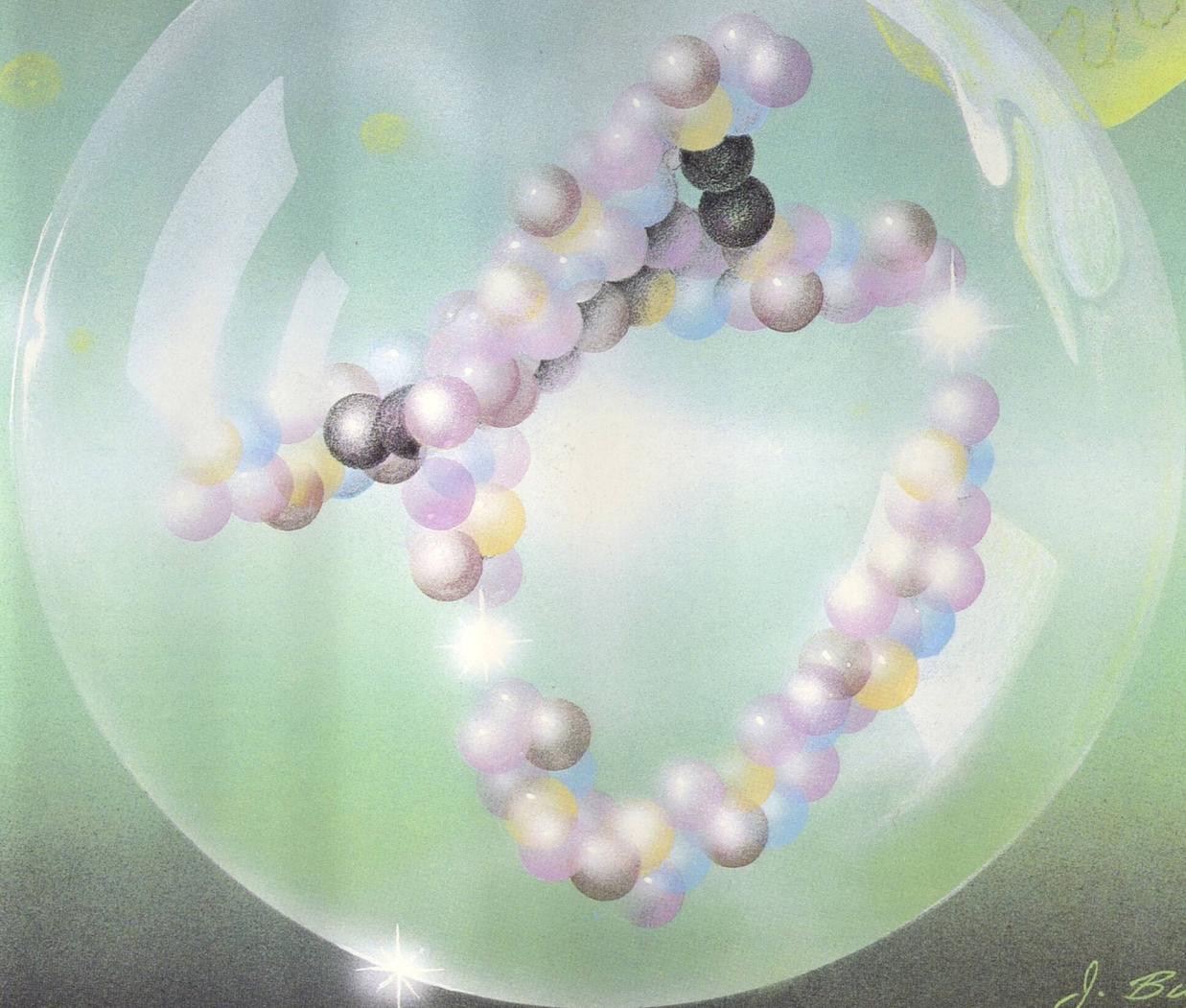
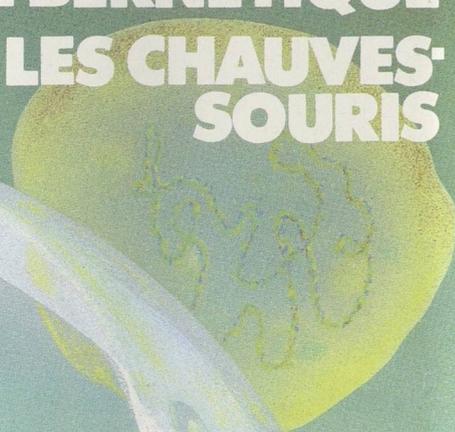
Canada Post	Postes Canada
Bulk Third Class	En nombre Troisième classe
K1A 0P6 Canada	

DIMENSION SCIENCE

1983/6

**L'INSULINE
HUMAINE**

**LE HALO
DE SCHEINER
LE SOUDAGE
CYBERNÉTIQUE
LES CHAUVES-
SOURIS**



J. Bianchi



Le Télescope Canada-France-Hawaii se dresse dans l'air pur et froid du Mauna Kea, le plus haut sommet d'Hawaii. Cet emplacement fournit une vision plus nette de l'espace que de l'océan qui entoure l'île. Dans DIMENSION SCIENCE N° 1 de 1984, un article sur l'astronomie optique terrestre s'intéressera aux travaux actuels des astronomes qui se servent du télescope pour observer les étoiles.

DIMENSION SCIENCE

VOLUME 15, N° 6, 1983

Rédacteur en chef Madeleine Vaillancourt
Rédacteur gérant Margaret Shibley Simmons
Rédacteur arts graphiques Jean L. Richard
Photographe Bruce Kane
Coordonnateur de l'impression Robert Rickerd
Production graphique Carisse Graphic Design Ltd.
Imprimé au Canada par Imprimerie Beauregard Ltée

31159-2-1019

Capsules 4

Le halo de Scheiner, les anneaux de Saturne et la glace IX 8

La cristallographie de la glace au CNRC

Avec Éole 11

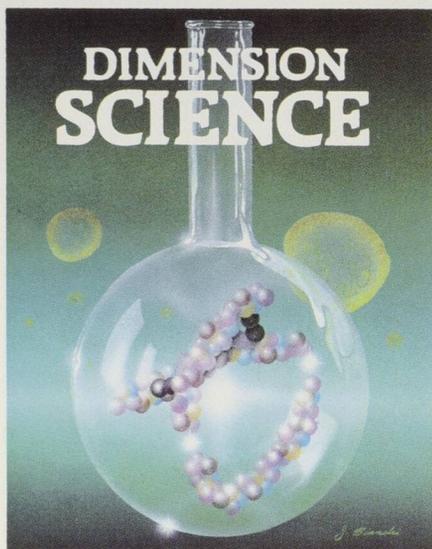
Face aux vents de la Gaspésie

Affranchir les robots 15

Le soudeur cybernétique

Production d'insuline humaine 18

Des chauves-souris pour tous les goûts 28



Couverture:

Il y a peu de temps encore seul le pancréas humain pouvait produire de la pro-insuline, précurseur de l'hormone insuline. Aujourd'hui, grâce à un heureux mariage de la chimie et du génie génétique, des scientifiques canadiens ont réussi à contraindre des bactéries à produire cette protéine qui est par la suite transformée en hormone active en une seule étape. Ils prévoient, d'ailleurs que l'insuline pourra très bientôt être fabriquée à grande échelle avec la même facilité que la bière. Les travaux qui ont permis d'arriver à ce stade n'ont pas été faciles, mais ils se sont avérés fort intéressants comme le prouve notre article à la page 18. Illustration: John Bianchi

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.

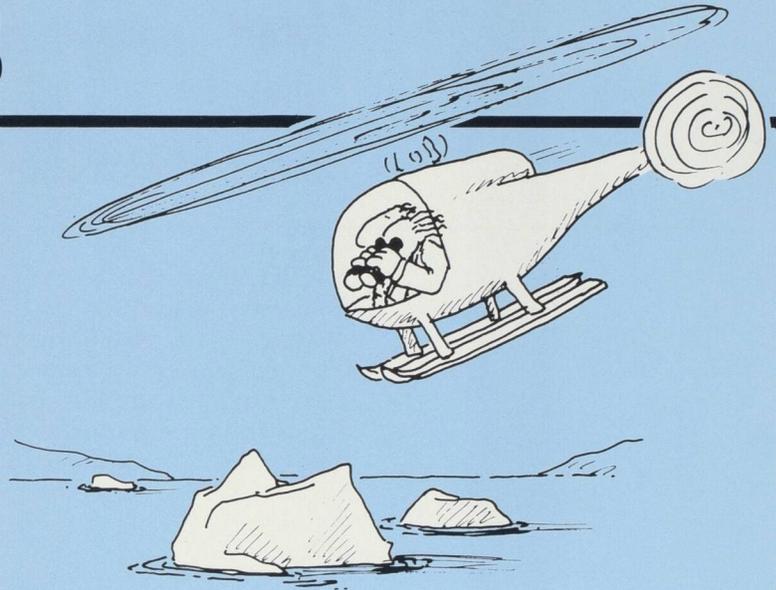
This publication is also available in English, under the name *Science Dimension*.

Capsules

La pointe de l'iceberg

Des scientifiques de Terre-Neuve ont mis au point une technique permettant de prédire les mouvements d'icebergs et qui pourrait s'avérer très utile au Canada pour l'exploitation des champs pétrolifères sous-marins des océans nordiques.

L'exploration pétrolière dans les océans nordiques soulève évidemment des problèmes énormes, dont le moindre n'est pas la variabilité du temps, comme l'a démontré le désastre de l'*Ocean Ranger*. La glace constitue un danger peut-être plus grand encore. Toutefois, dans le champ pétrolifère d'Hibernia, ce ne sont pas tant les banquises dérivantes (glace de mer) que les icebergs qui posent un problème. Ces icebergs proviennent du "vêlage" des glaciers le long des côtes du Groenland; au bout d'une période variant de quelques mois à plusieurs années, ils dérivent parfois vers le sud où ils constituent un danger pour la navigation. Certains de ces visiteurs inattendus pèsent plus de 5 millions de tonnes, soit environ 10 000 000 000 de livres. Ils sont formés de neige, dont l'origine peut remonter à une période antérieure à la naissance du Christ, et qui a été congelée et comprimée jusqu'à ce qu'elle devienne dure comme de l'acier. L'un de ces monstres pourrait avoir causé le naufrage du *Titanic*, bien que la propre vitesse du navire ait été directement responsable de la catastrophe. En effet, un iceberg de grandes di-



mensions qui se déplace à une vitesse aussi faible que 30 cm/s sous l'action du vent et des courants peut facilement anéantir une structure amarrée, par exemple, une plate-forme de forage, comme si c'était du papier. Une seule solution: ne pas se trouver sur son passage!

Toutefois, déménager ou déplacer une plate-forme de forage en mer est une opération non seulement risquée mais coûteuse... que vous ne voudriez pas entreprendre inutilement. Vous aimeriez par conséquent avoir une méthode permettant de prédire les déplacements immédiats d'un iceberg se trouvant dans le voisinage et d'évaluer les risques de collision et c'est précisément ce que des scientifiques de NORDCO Limited, entreprise située à Saint-Jean de Terre-Neuve, tentent actuellement d'obtenir.

NORDCO, qui se spécialise dans l'étude de la glace, se sert de systèmes de

poursuite embarqués à bord de navires et d'avions pour recueillir de l'information sur les déplacements d'icebergs, information qui est ensuite transmise à des ordinateurs à bord des plates-formes de forage et analysée à l'aide d'algorithmes spéciaux, ou procédures de logique formelle, en vue de prédire les déplacements de la glace sur une courte période.

Bien qu'il en soit encore aux premiers essais, le nouveau logiciel mis au point dans le cadre du projet de NORDCO a permis d'intégrer avec succès les données sur les courants, les vents et les déplacements antérieurs d'icebergs pour prédire les mouvements à petite échelle d'icebergs réels de l'Atlantique Nord et de la mer du Labrador.

(Ce sujet fera l'objet d'un article approfondi dans un prochain numéro de *Dimension Science*.)

Les compagnons de Véga

La détection récente de signaux infrarouges en provenance de Véga, étoile brillante située dans le voisinage du système solaire, permet de supposer l'existence d'un système planétaire différent du nôtre. Distante de seulement 26 années de lumière (notre galaxie mesure environ cent mille années de lumière), Véga est entourée d'un nuage dense de fragments, dont une partie s'est peut-être déjà condensée pour former des planètes. Cette découverte a été effectuée grâce à un nouvel instrument scientifique, l'*Infrared Astronomy Satellite* (IRAS), lancé en janvier dernier et exploité par des chercheurs des Pays-Bas, du Royaume-Uni et des États-Unis.

Ayant plus de deux fois la masse du Soleil et un éclat très supérieur, Véga

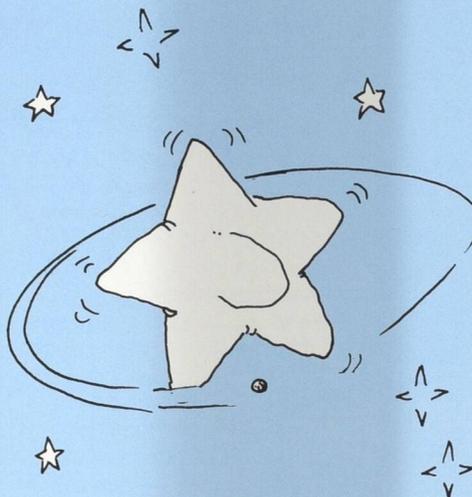
n'aurait par contre que le quart de son âge. Il y a plus de quatre milliards d'années, peu après sa formation, le Soleil était entouré d'un nuage discoïde similaire composé de fragments rocheux, de gaz et de poussières. Avec le temps, certains de ces éléments se sont condensés pour former les planètes et les satellites qui font aujourd'hui partie de notre système solaire. Un processus comparable pourrait bien être en cours dans le voisinage de Véga.

La détection de ce nuage de fragments a été rendue possible par l'étude de la portion infrarouge du spectre de rayonnement de Véga. Le rayonnement infrarouge, qui ne peut être détecté à partir de la Terre parce qu'il est absorbé par la vapeur d'eau atmosphérique, fournit des informations qui ne peuvent être obtenues à l'aide d'autres méthodes d'observation. Les objets chauds, comme les

étoiles, émettent la plus grande partie de leur rayonnement sous forme d'ultraviolets ou de lumière visible tandis que les objets froids, comme les planètes, absorbent ces courtes longueurs d'onde et ont tendance à les réémettre sous forme d'infrarouges. La détection, grâce à IRAS, d'un rayonnement infrarouge inhabituel en provenance de Véga indique qu'il existe des objets solides dans le voisinage de l'étoile qui sont réchauffés par le rayonnement stellaire.

Les scientifiques canadiens ont applaudi à cette découverte et intensifié leurs propres investigations en vue de détecter des compagnons planétaires au sein d'étoiles voisines. Bruce Campbell, de l'Institut Herzberg d'astrophysique, et Gordon Walker, de l'Université de la Colombie-Britannique, se servent d'une technique améliorée permettant de mesurer des "oscillations" inhabituelles qui

pourraient indiquer la présence, dans le voisinage de l'étoile, d'objets assez gros pour influencer le mouvement stellaire. Ces objets pourraient être des planètes. Jusqu'à récemment, les techniques de détection ne permettaient de déceler qu'un compagnon planétaire au moins vingt fois gros comme Jupiter, la plus grosse planète de notre système. Selon Campbell, la nouvelle méthode permet de détecter un objet n'ayant que le cinquième de la masse de Jupiter, soit un peu moins gros que la Terre, et c'est dans le voisinage des étoiles actuellement à l'étude que l'on a le plus de chances de trouver des planètes de cette taille. Au



cours des deux dernières années, les chercheurs ont recueilli des données sur certaines de ces étoiles à l'aide du Télescope Canada-France-Hawaii; toutefois, celui-ci ne permet d'observer que les étoiles ayant une taille équivalente à celle du Soleil (ce qui explique pourquoi il n'a pas permis de détecter le rayonnement infrarouge de Véga) et l'étude des données recueillies vient à peine de commencer. Campbell est convaincu que la nouvelle technique de détection des oscillations d'étoiles permettra de déterminer l'existence de compagnons planétaires, si compagnons il y a...

Astronautes canadiens

Presque 4 400 candidatures de personnes désirant devenir membres du premier corps d'astronautes canadiens avaient été enregistrées au 8 août 1983. Sur les six équipiers qui ont été finalement sélectionnés, deux seulement seront appelés à voler en qualité de "spécialistes de charges utiles", c'est-à-dire d'astronautes entraînés pour exécuter une seule et unique expérience au cours d'une seule mission. Ces deux astronautes exécuteront l'une ou l'autre des expériences prévues et qui portent sur le système de vision spatiale et sur le syndrome d'adaptation spatiale. Ils procéderont ensuite à leur évaluation avec l'aide de deux astronautes de réserve. Le système de vision spatiale utilise les derniers perfectionnements de la technologie robotique pour donner des yeux à la navette et ceci

est particulièrement important lorsqu'on se sert du Canadarm. L'autre expérience, entièrement différente, porte sur le syndrome d'adaptation spatiale, euphémisme utilisé pour désigner un état de malaise. Si vous pensez qu'il est désagréable d'être malade en voiture, imaginez la même situation en l'absence de pesanteur alors que vous avez un travail qu'il vous faut absolument exécuter.

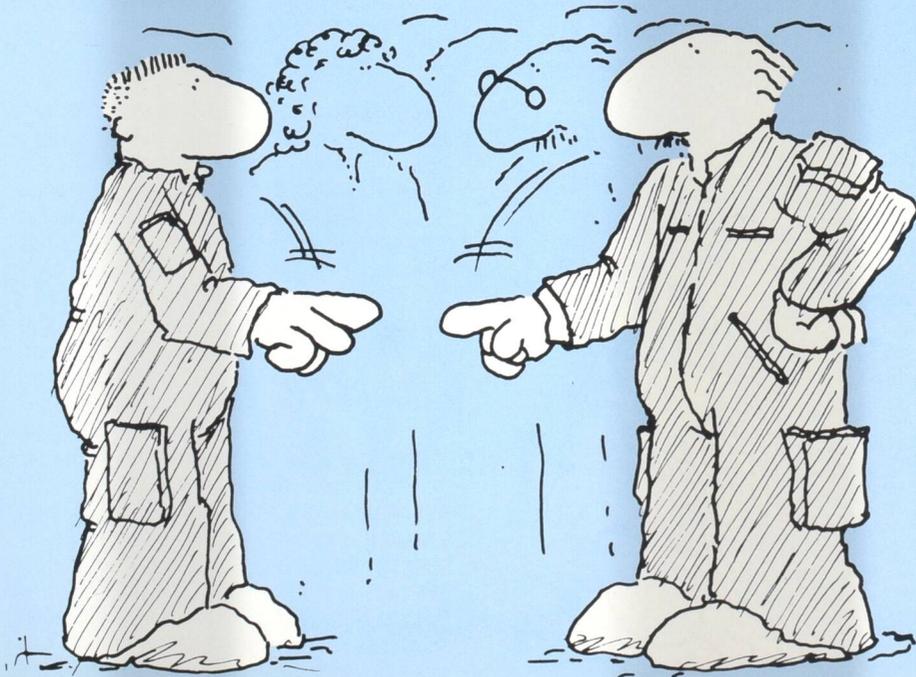
La sélection de ces six astronautes est l'aboutissement d'un processus long et fastidieux qui a dû être suivi avec beaucoup de soins. Une première sélection des candidatures reçues a donné lieu à l'envoi de 1 816 liasses de documents d'information accompagnés de très longs questionnaires dont environ 1 600 nous furent retournés. L'étape suivante appelait les candidats à passer devant le Comité de présélection. Ce comité de cinq membres était composé de représentants

du CNRC, du ministère de la Défense nationale et du ministère d'État chargé des Sciences et la Technologie. Soixante-huit candidats venant de toute les régions du Canada ont été invités à se présenter à des entrevues qui ont eu lieu du 18 octobre au 9 novembre à Halifax, Montréal, Ottawa, Toronto, Calgary et Vancouver, et au cours desquelles ils ont été informés, questionnés à fond et présentés aux médias. Sur ce total, seulement 20 d'entre eux ont été invités à se soumettre à des entrevues complémentaires à Ottawa.

Le Sous-comité d'examen des finalistes, composé de représentants des ministères déjà mentionnés, comprenait également des personnes des ministères des Communications et de l'Énergie, des mines et des ressources. Ces 20 candidats se sont soumis à des séances d'orientation, d'information technique sur les deux expériences et à des examens médicaux complets donnés par le MDN et évalués en fonction des normes de la NASA. Il a été tenu compte des conseils de Paul J. Weitz, commandant de la sixième mission d'avril 1983 de la navette, qui correspondait aussi au premier vol de *Challenger*, pour établir la liste réduite que le Sous-comité d'examen des finalistes a passé aux responsables de la sélection finale, c'est-à-dire au Comité de sélection.

Le 6 décembre 1983, le Comité de sélection a choisi les six candidats les plus qualifiés et les a recommandés au Conseil national de recherches (les astronautes deviennent des employés du CNRC pour une durée pouvant atteindre trois ans). L'honorable Donald Johnston, ministre d'État chargé des Sciences et de la Technologie, a rendu public le nom des premiers astronautes canadiens au cours d'une conférence de presse du CNRC donnée le jour suivant.

Les astronautes commenceront leur entraînement en janvier 1984.

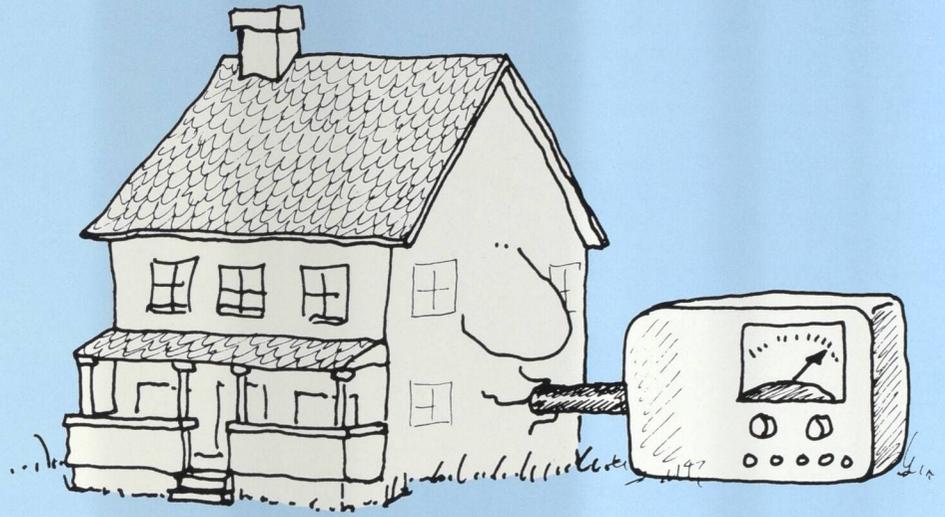


La qualité de l'air ambiant

Les personnes qui occupent des maisons isolées à la mousse d'urée-formaldéhyde disposent maintenant d'un moyen qui leur permet de déterminer facilement et en peu de temps la qualité de l'air qu'elles respirent. La compagnie Kemic Bioresearch Laboratories Limited, de la Nouvelle-Écosse, a lancé sur le marché une petite trousse qui vous permet de déterminer la concentration du formaldéhyde dégagé par la mousse et d'autres matériaux. On prévoit que cette trousse, mise au point avec l'appui du Programme d'aide à la recherche industrielle du CNRC, sera très bien accueillie par les propriétaires de maisons et par l'industrie et qu'elle pourra également servir d'outil pédagogique.

Jusqu'à présent, l'analyse de l'air ambiant nécessitait l'utilisation d'équipements complexes et le recours à des techniciens. Mais, en adaptant des techniques chimiques et électroniques récentes, Kemic Bioresearch Laboratories Limited a réussi à mettre au point un dispositif léger et facile à utiliser qui permet à l'utilisateur profane d'obtenir des résultats fiables et précis. Au déclenchement d'une petite pompe, l'air ambiant est aspiré à travers un tube contenant des produits chimiques spéciaux qui changent de couleur au contact du formaldéhyde et la mesure électronique de cette variation permet de déterminer la concentration du gaz en question. Bien que ce dispositif ait été conçu pour réagir à la présence de formaldéhyde, la compagnie envisage de le modifier pour permettre la mesure de la concentration d'autres corps.

La présence de formaldéhyde est un problème qui touche bien plus d'habitations et de bureaux que l'on pensait. De



récents travaux de recherche ont montré que la mousse d'urée-formaldéhyde qui, à un certain moment fut l'isolant de choix utilisé dans la rénovation d'anciennes maisons, se décompose lentement en dégageant des vapeurs nocives pendant des périodes prolongées. Même si c'est au gaz provenant de l'isolant que l'on s'est particulièrement intéressé ces dernières années, on sait que certains bois traités et certains textiles et cosmétiques en dégagent également. En fait, l'industrie utilise des composés de formaldéhyde dans de nombreuses applications. Bien que ses effets sur les êtres humains ne soient pas entièrement déterminés, on enregistre divers types de troubles respiratoires et nerveux à la suite d'une exposition prolongée. Ils existent bien des normes d'exposition maximale, mais la plupart d'entre elles s'appliquent à des

milieux de travail variés pour des durées n'excédant pas huit heures par jour. Les concentrations jugées tolérables dans ce contexte peuvent varier de 1 à 10 ppm (parties par million), mais on a proposé d'abaisser ces normes à 0,1 ppm lorsqu'il s'agit d'exposition domestique car celle-ci est permanente et peut affecter des jeunes enfants et des personnes âgées dont la tolérance à ces vapeurs est bien plus faible.

La compagnie en question pense que cette trousse sera bien acceptée dans tout le Canada et entrevoit des possibilités intéressantes sur le plan de l'exportation. Du point de vue éducatif, ce dispositif pourra également servir à la démonstration des techniques d'échantillonnage utilisées pour mesurer la pollution de l'air ou à celle de l'application de la colorimétrie à l'analyse chimique.

Les microbes de l'aube des temps

À mesure qu'on améliore notre connaissance des bactéries, il devient de plus en plus évident qu'elles ne peuvent plus être groupées dans les catégories vastes et mal définies auxquelles elles avaient appartenu dans le passé. Certaines d'entre elles s'écartent tant de toutes les formes de vie connues que l'on a même décidé de les classer séparément. Appelées archéobactéries car leur origine est extrêmement lointaine (le préfixe archéo signifiant ancien), elles semblent même dans certains cas avoir conservé leur adaptation aux conditions rencontrées sur Terre il y a des milliards d'années. Ceci expliquerait pourquoi elles se développent spécifiquement dans des milieux où la vie telle que nous la connaissons est inconcevable, notamment dans



des acides fumants, dans des solutions de sels saturées ou à des concentrations de soufre élevées. D'autres bactéries, peut-être les plus anciennes du groupe, vivent non seulement dans un milieu complètement exempt d'oxygène, mais dégagent également du méthane (d'où leur nom de bactéries 'méthanogènes'); or ce gaz, utilisé aujourd'hui comme combustible, était probablement l'un des principaux constituants de l'atmosphère primitive. Certains de ces mystérieux microbes ont même été récemment détectés dans des cratères sous-marins où la température peut dépasser 250°C et où les pressions sont énormes. En se fondant sur ces observations, on pourrait facilement imaginer la vie dans un enfer dan-tesque.

Ces découvertes ont toutefois mené les biologistes à apporter des modifications considérables à la systématique bacté-

rienne. Outre les organismes eukaryotes qui comprennent toutes les formes de vie supérieures, on compte deux types de bactéries: les eubactéries que l'on considère comme bactéries 'normales' et les archéobactéries qui semblent s'être séparées de leurs congénères tôt dans l'échelle de l'évolution.

Bien que l'étude concertée de ces bactéries n'ait été entreprise que depuis peu de temps, les scientifiques ont déjà acquis une quantité considérable de connaissances sur leur structure moléculaire et sur la chimie de leur métabolisme. L'un des groupes en tête de file sur ce plan comprend les Drs Dennis Sprott et Ken Jarrell, de la Division des sciences biologiques du CNRC, et le Dr Morris Kates, de l'Université d'Ottawa. Ces chercheurs s'intéressent aux bactéries méthanogènes et, notamment, à leur membrane externe. Le Dr Sprott a même réussi à prouver ce que d'autres scientifiques avaient seulement prévu. En effet, il a démontré que même si ces bactéries ont une membrane plasmique comme toutes les autres cellules vivantes, sa structure en est considérablement différente.

Chez les eubactéries, la membrane cellulaire est constituée de deux couches

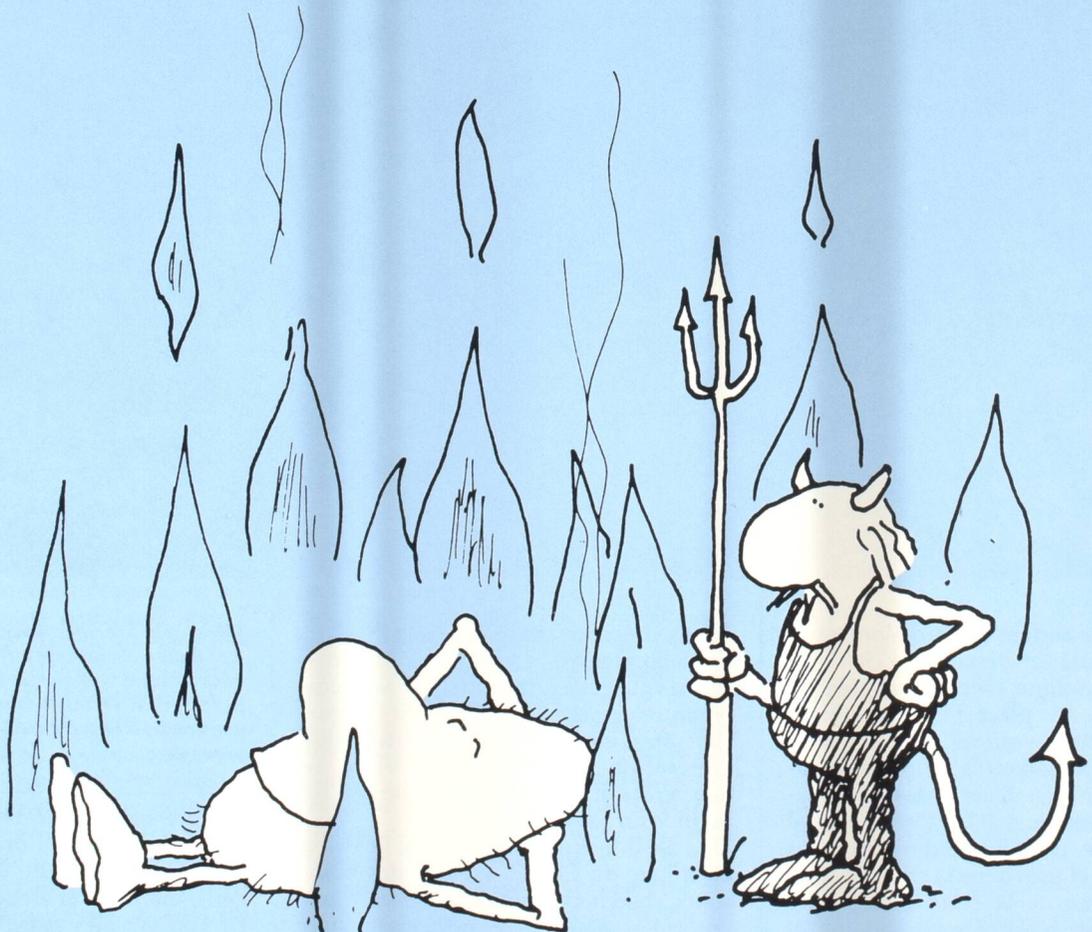
lipidiques composées de molécules polaires ou 'têtes', solubles dans l'eau et reliées par des liaisons 'esters' à des 'queues' liposolubles qui occupent l'intérieur de la membrane. Sa coupe transversale fait penser à un sandwich, les queues partant des chaînes périphériques et se rejoignant près du centre.

Les archéobactéries, par contre, ont une membrane lipidique bien plus stable, les têtes périphériques étant cette fois-ci reliées aux queues par les liaisons 'éthers'. Outre leur stabilité, les membranes plasmiques de ces bactéries ne semblent pas avoir de structure double; les queues s'étendent d'une surface à l'autre et traversent même la membrane.

Les Drs Sprott, Jarrell et leurs collègues ont également été les premiers à extraire la membrane plasmique de ces bactéries en une seule pièce. Cette étape, essentielle à l'étude de ses fonctions, était impossible à réaliser avec les méthodes courantes en raison de la nature de son revêtement protéique. Mais, en cultivant les archéobactéries dans un milieu nutritif contenant des substances capables d'inhiber le développement de ce revêtement cellulaire sans nuire au reste de la cellule, les chercheurs sont

parvenus à contourner toutes les difficultés et à isoler la membrane intacte.

Selon ces scientifiques, l'explication de l'activité méthanogène de ces bactéries réside dans leur membrane cellulaire et c'est pourquoi ils s'y intéressent tant. En effet, leur potentiel électrique et leur gradient d'acidité fait penser aux membranes internes des cellules végétales où l'énergie lumineuse est retenue sous forme d'énergie chimique dans le glucose. D'après les résultats obtenus, il semblerait qu'une partie des mécanismes intervenant dans la production du méthane prend place à l'intérieur de la membrane et que l'énergie emmagasinée sous forme de potentiel électrique ou de gradient d'acidité est utilisée pour la synthèse de ce gaz. Le Dr Sprott fait remarquer que cette membrane épaisse sert également à protéger la cellule contre les concentrations localisées de méthane susceptibles de la détruire. Il souligne finalement que tout au moins sur le plan biochimique ces mystérieuses archéobactéries sont aussi éloignées des eubactéries que des autres cellules eukaryotes. Vous pourrez lire d'autres faits surprenants sur ce nouveau champ d'investigation dans un prochain numéro de DIMENSION SCIENCE.

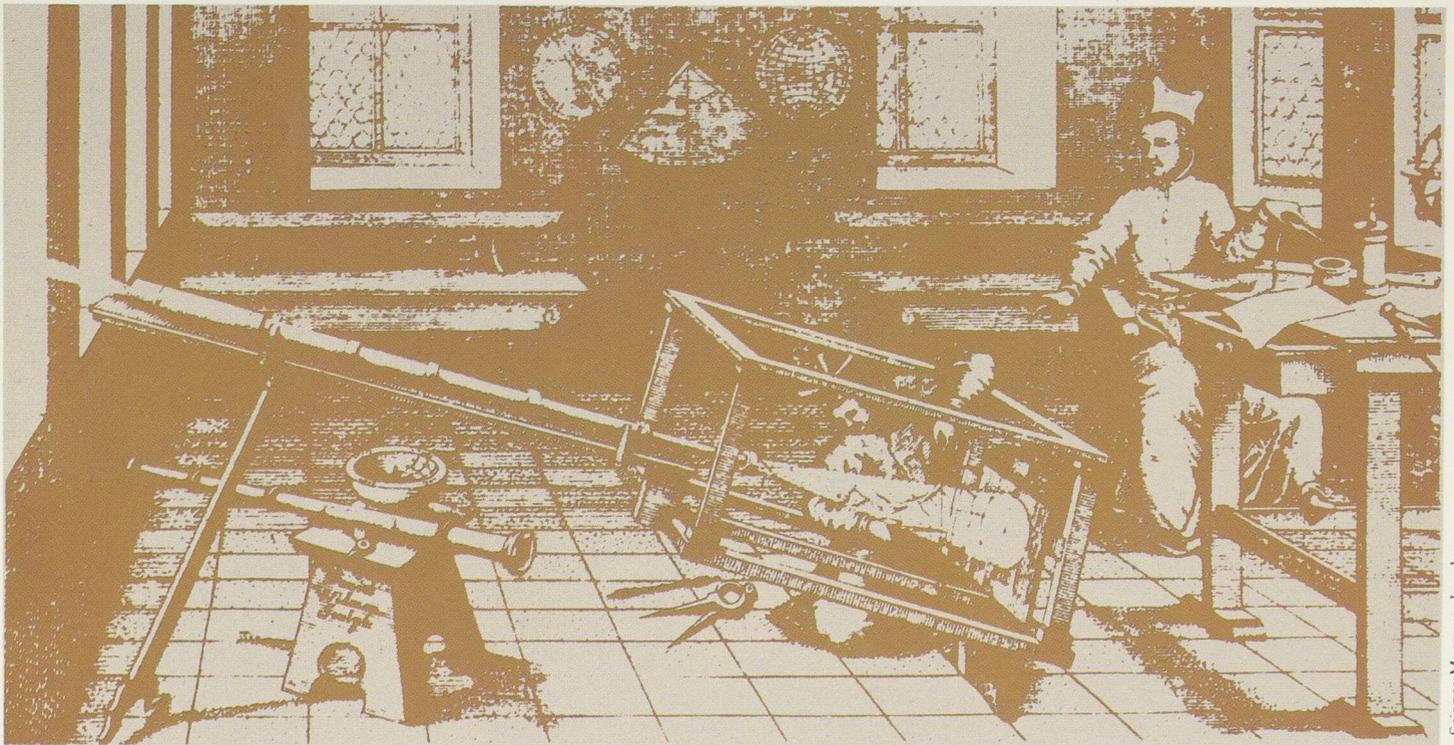


Le halo de Scheiner, les anneaux de Saturne et la glace IX

La cristallographie de la glace au CNRC

par Bill Atkinson

Adaptation française: Annie Hlavats



Dans le roman de Kurt Vonnegut, intitulé *Le Berceau du chat*, un scientifique excentrique crée un monocristal de 'glace IX' ressemblant aux huit autres variétés de glace connues, mais possédant la propriété particulière de se cristalliser à des températures supérieures à 0°C. Or, ce cristal synthétique tombe accidentellement dans la mer et provoque la cristallisation de toute l'eau de la Terre à sa propre image. Notre biosphère se solidifie et c'est la fin du monde.

Vous éprouverez peut-être quelque inquiétude en apprenant que nous fabri-

quons couramment de la 'glace IX' dans nos laboratoires, ici au CNRC, mais rassurez-vous, elle ne se forme qu'aux températures proches de -100° C. Et s'il vous arrivait d'en mettre dans votre soda l'opération n'aurait d'autre effet, sa température augmentant, que de lui donner un aspect vitreux.

Le Dr Edward Whalley, de la Division de chimie du CNRC, est l'un des nombreux chercheurs qui s'intéressent aux propriétés moléculaires de la glace, mais il est probablement le seul à avoir cité *Le Berceau du chat* dans une de ses communications scientifiques. La glace est une

Christophe Scheiner, scientifique du XVII^e siècle, dans son laboratoire. La découverte du halo solaire qui porte son nom représente peut-être la première observation d'un phénomène lié à la présence d'une variété allotropique de glace.

matière qui touche particulièrement le Canada et diverses divisions du CNRC étudient sa structure dans l'optique du génie maritime et arctique et la tâche du Dr Ted Whalley est d'en déterminer la structure à l'échelle cristallographique. Dans le cadre de ses recherches, il s'est intéressé à des phénomènes aussi variés

que ceux observés de Rome en 1629 ou détectés dans les anneaux de Saturne à l'aide des moyens actuels.

"Comme nombre de substances", explique-t-il, "l'eau à l'état solide peut se présenter sous plusieurs formes que l'on appelle variétés allotropiques. Le graphite, le charbon, le noir de fumée et le diamant sont des variétés allotropiques du carbone; le soufre, autre élément pur, peut également se présenter sous des formes allotropiques amorphes ou cristallines. Et, bien qu'étant un composé chimique d'hydrogène et d'oxygène, l'eau peut donc aussi, dans sa phase solide, adopter diverses structures."

La glace ordinaire est représentée par le symbole Ih, 'h' signifiant 'hexagonal', car ses cristaux ont la forme de cylindres à base hexagonale. Bien que la glace II, la glace III et même la glace IX diffèrent l'une de l'autre, elles entrent toutefois dans la catégorie allotropique Ih.

Cependant, il existe une seconde variété allotropique de glace que l'on appelle Ic ('c' signifiant 'cubique'). Dans cette glace, la différente disposition des molécules d'eau donne aux cristaux une structure cubique de base octaédrique. La découverte de la glace Ic, comme nombre de découvertes réalisées dans le cadre de la recherche pure, a été accidentelle. En effet, en 1906, Sir James Dewar, physicien écossais qui inventa le thermos, soumis la glace Ih (glace I) à une pression de 15 000 atm et la refroidit à l'aide d'azote liquide. Lorsque la glace fut replacée dans des conditions normales, il constata qu'elle prenait un aspect vitreux et il attribua ce phénomène à la formation d'une nouvelle structure cristalline. Cette remarquable déduction allait s'avérer exacte. En 1935, deux scientifiques canadiens (E.F. Burton et F. Oliver), de l'Université de Toronto, synthétisèrent également de la glace Ic en provoquant la condensation de vapeur d'eau sur une plaque froide et ils identifièrent cette nouvelle phase de glace à l'aide de la diffraction des rayons X. Finalement, en 1942, un scientifique allemand nommé König démontra à l'aide d'une nouvelle technique de diffraction électronique que cette glace vitreuse présentait une structure cubique qui n'avait jamais été observée auparavant. À ce moment-là, tout permettait de penser que la variété allotropique Ic n'était qu'une curiosité de laboratoire.

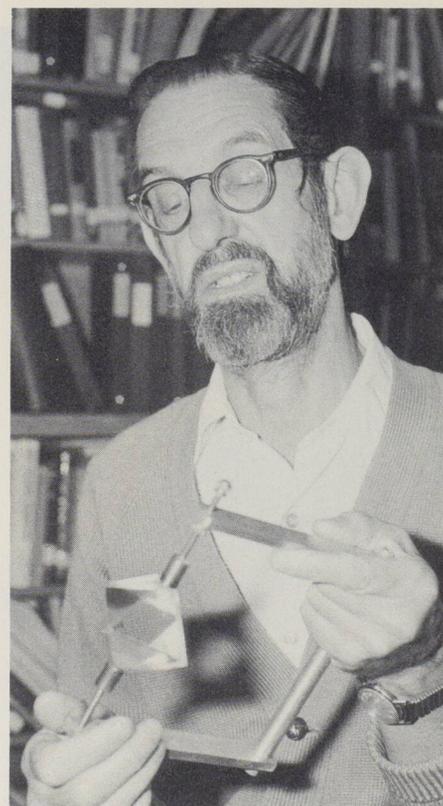
Mais, n'avait-elle vraiment jamais été observée dans la nature? Cette possibilité n'est pas à réfuter car il se peut que l'on ait détecté sa présence dans la haute atmosphère il y a plus de trois siècles. En 1629, l'astronome Christophe Scheiner, jésuite travaillant à Rome, observa un halo lumineux autour du Soleil. Les halos ne représentent à proprement parler rien de nouveau; ce sont des anneaux qui

apparaissent fréquemment autour du Soleil et de la Lune et que l'on peut facilement observer de la Terre. Ils proviennent de phénomènes optiques dus à la réfraction de la lumière de ces objets célestes par des cristaux de glace Ih en suspension dans la haute atmosphère. Les plus courants sont les halos de 22° et 45°. Ils apparaissent lorsque le Soleil est couvert par une mince couche de nuages du type cirro-stratus résultant de l'approche d'une masse d'air chaud. Leur rayon angulaire mesure l'angle compris entre le centre de la source lumineuse et la circonférence intérieure de l'anneau. Des anneaux plus rares apparaissent également à 8¹/₂, 18, 19¹/₂ et 34°. Le halo que Scheiner avait observé présentait cependant une ouverture de 28°, paramètre que l'analyse des différents cristaux de glace Ih ne permettait pas d'expliquer. Mais, donnons plutôt la parole à Ted Whalley:

"C'est après avoir écouté les déclarations d'un professeur de météorologie invité que j'ai commencé à m'intéresser au halo de Scheiner. D'après lui, ce halo qui apparaissait à 28° du Soleil était le plus mystérieux de tous. Mais, bien qu'aucun des cristaux de glace Ih ne permettait d'obtenir un halo d'une pareille ouverture, les cristaux de glace Ic l'aurait peut-être permis si leur structure avait été octaédrique. Or, cette configuration étant une variation du cube, je commençais à me demander si ce n'était pas la glace cubique dont l'existence dans la nature n'avait pas encore été prouvée qui était responsable du halo de Scheiner."

Comme les forces thermodynamiques intervenant dans la formation de la glace favorisent en général la formation de la variété Ih, on pensait que la glace Ic ne pouvait être obtenue qu'artificiellement. "Il est possible, cependant, qu'à certains moments les conditions de la haute atmosphère se prêtent à la formation de quelques cristaux de glace cubique", ajoute Whalley. "Une fois formés, ceux-ci pourraient se développer et atteindre un diamètre d'environ 10 micromètres, soit un centième de millimètre. Puis, après l'apparition d'un nombre suffisant de cristaux relativement gros, on pourrait voir de la Terre un anneau lumineux autour du Soleil ou de la Lune dû à la réfraction de la lumière par le nuage de cristaux. Étant donné la structure octaédrique des gros cristaux de glace Ic, cet anneau apparaîtrait à un rayon angulaire de 27,46° de la source lumineuse. C'est probablement ce qui explique le halo de Scheiner."

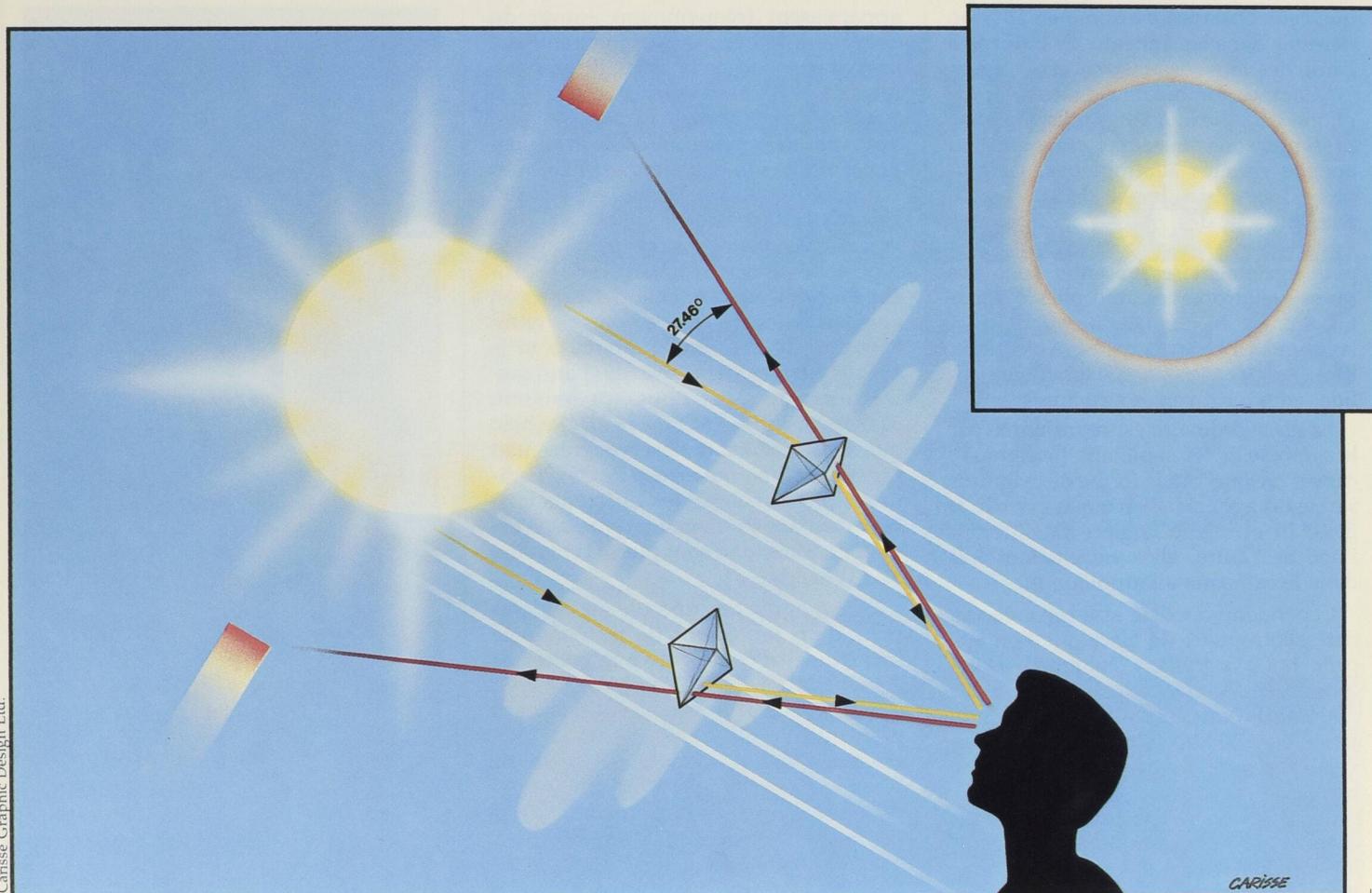
Cette interprétation est peut-être audacieuse. Mais, dans un article publié récemment dans la revue *Science* de l'AAAS (Vol. 211, pp. 389-390; 1981), Whalley justifie ses arguments et va



Dan Getz

Le Dr Ted Whalley, chimiste du CNRC.

"Lorsque suffisamment de cristaux cubiques parviennent à se former dans la haute atmosphère, on peut voir de la Terre un anneau lumineux autour du Soleil ou de la Lune qui correspond probablement au halo de Scheiner."



D'où proviennent les halos? Ces anneaux lumineux qui apparaissent autour du Soleil ou de la Lune sont le résultat de la réfraction des rayons de lumière parallèles provenant de ces corps célestes par des nuages de cristaux de glace. L'angle compris entre le centre de la Lune ou du Soleil et la circonférence intérieure du halo permet de déterminer la nature des cristaux mis en oeuvre; dans le cas du halo de Scheiner, il s'agit probablement de cristaux de glace cubique ou Ic.

même jusqu'à ajouter que des cristaux cubiques synthétiques d'iodure d'argent pourraient précipiter la formation de cristaux de glace Ic dans la haute atmosphère tout comme leurs homologues de forme hexagonale provoquent l'agrégation de cristaux de glace Ih lors de l'ensemencement des nuages.

Mais les travaux du Dr Whalley l'ont conduit bien au-delà de la haute atmosphère, de la Lune ou du Soleil car, en effet, c'est à Saturne qu'il s'intéresse actuellement. Des ingénieurs de la NASA ont mesuré le rayonnement de micro-ondes émis par cette planète et ses anneaux, puis ils en ont extrapolé des paramètres précis ainsi qu'une théorie expliquant l'absorption par la glace de la lumière infrarouge provenant de sources lointaines pour aider le Dr Whalley et ses collègues, Dennis Klug et Osamu Mishima, à interpréter leurs données sur le

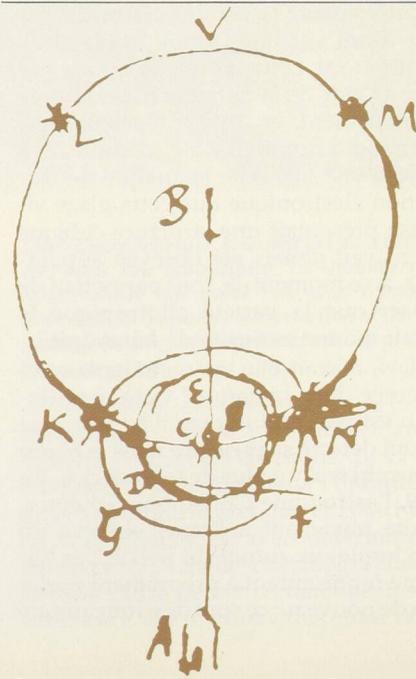
rayonnement saturnien. Se fondant sur les résultats obtenus, les scientifiques de la NASA pensent que l'épaisseur totale de la glace (variété ordinaire Ih) des anneaux de Saturne n'atteint en moyenne que 30 cm, soit à peu près la longueur de ce numéro de Dimension Science.

"Ces résultats", ajoute le Dr Whalley, "ont été la source d'une grande satisfaction. Car même s'il ne m'est jamais donné d'aller dans l'espace, ces travaux m'auront au moins permis d'explorer Saturne sans quitter mon bureau."

Que peut-on dire de la possibilité de créer une variété allotropique de glace aussi dangereuse que la glace IX de Vonnegut? "Nous n'avons vraiment rien à craindre, car elle relève strictement de l'imaginaire. Si la solidification de l'eau pouvait se produire à des températures supérieures à 0°C, ce phénomène se serait déjà manifesté depuis bien longtemps."

Laissez donc fondre votre crainte car, sur ce plan, il n'y a aucun risque! ☾

Représentation d'un halo solaire tirée des notes de Christiaan Huygens, scientifique contemporain de Scheiner. La lettre B indique le zénith, point culminant situé sur la verticale ascendante d'un observateur et la lettre C représente le centre du Soleil. On peut voir un premier anneau lumineux qui encercle le Soleil et un second qui traverse cet astre, parallèle à l'horizon.



Avec ÉOLE

Face aux vents de la Gaspésie

par Wayne Campbell

Adaptation française: Claude Devismes

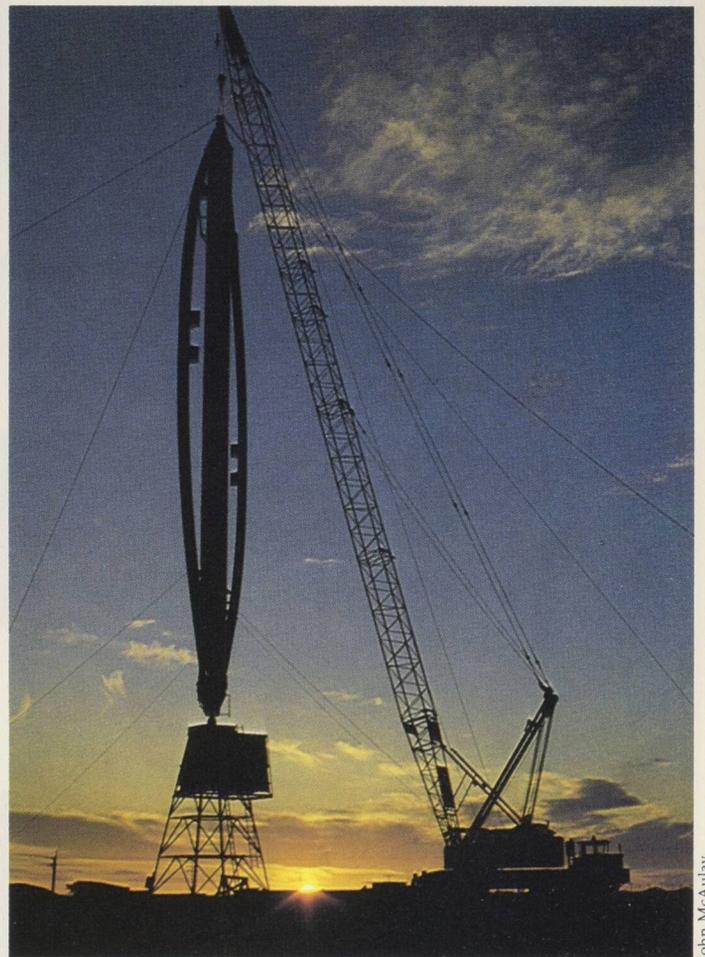
Même à plus d'un demi-kilomètre de la route de la Gaspésie, cette éolienne géante qui porte le nom du Dieu grec des vents constituera un spectacle peu ordinaire quand elle sera mise en place vers la fin de 1985. Construite conjointement par le CNRC et Hydro-Québec, elle tirera de l'énergie des vents qui soufflent du Saint-Laurent, près du village de Cap-Chat, à 425 km au nord-est de Québec. Tournant à la vitesse constante de 14,5 t/mn, ce colosse aérodynamique devrait en principe être en mesure d'injecter jusqu'à 4 MW dans le principal réseau électrique d'Hydro-Québec, c'est-à-dire suffisamment pour couvrir la consommation électrique moyenne de 1 000 maisons canadiennes (à l'exclusion du chauffage). Sa conception a été confiée à la compagnie d'ingénierie Experts-Conseils Shawinigan Inc. et sa réalisation à différentes entreprises canadiennes, sous la direction d'Hydro-Québec. Le CNRC et Hydro-Québec assumeront à parts égales son coût approximatif de 30 millions de dollars.

Le concept dont s'inspire ÉOLE surprendra certainement les personnes habituées à l'éolienne agricole classique dont les pales tournent autour d'un axe horizontal comme une roue de foire. S'élevant à 110 m au-dessus du sol (dépassant donc en hauteur la Tour de la Paix du Parlement), la turbine prototype ressemble à un énorme batteur à oeufs avec un axe central de 96 m de haut servant d'appui à deux rotors cintrés conçus pour capter le vent. Ses pales ont la forme d'un profil d'aile d'avion (les vents les déplacent de la même façon que l'air 'soulève' un avion) et elles tournent verticalement.

ÉOLE est une éolienne à axe vertical de type Darrieus (du nom de son regretté inventeur Georges Darrieus) et, une fois achevée, sera la plus puissante machine du genre dans le monde. Seule l'éolienne à axe horizontal de Medicine Bow, dans le Wyoming, a une puissance égale à celle attendue d'ÉOLE.

L'efficacité de l'éolienne Darrieus moderne témoigne des progrès réalisés dans la conception de ces machines au cours des trois dernières décennies et, en particulier, de la qualité des travaux des ingénieurs Raj Rangi et Peter South, du CNRC. Au début des années soixante, Rangi et South ont redécouvert l'éolienne de l'ingénieur français et l'ont améliorée. Sous la conduite de Jack Templin, chef du laboratoire d'aérodynamique des basses vitesses du CNRC, leurs analyses mathématiques et essais de maquettes à échelle réduite en soufflerie ont montré que la turbine à axe vertical était puissante, efficace et mécaniquement plus simple que les modèles à axe horizontal.

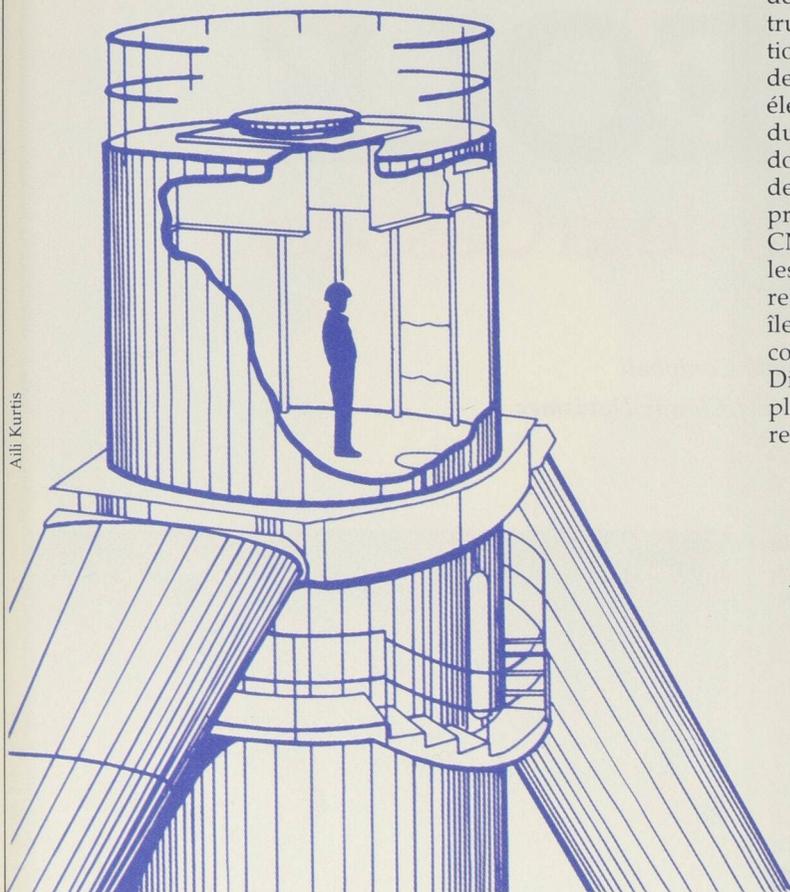
On voit donc qu'ÉOLE n'est pas sortie telle quelle de l'imagination de quelque ingénieur mais qu'elle représente au contraire l'aboutissement de beaucoup de travaux de recherche et de développement, en particulier au cours de la pénurie d'énergie des années 70. C'est à cette époque que les construc-



John McAulay

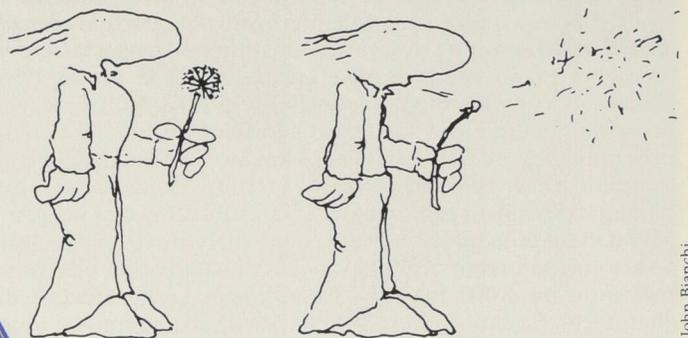
Une éolienne d'un type et de dimensions inhabituels a été installée sur les îles de la Madeleine, dans le golfe du Saint-Laurent, le 18 mai 1977. Il s'agit d'une machine de proportions industrielles dont le rotor bipale décrit une boucle de 37 m (120 pieds) de haut et de 24 m (80 pieds) de large. Elle peut injecter jusqu'à 200 kW d'énergie électrique dans le réseau local et permet ainsi de faire l'économie de l'énergie qui devrait autrement être fournie par la centrale thermique de l'île que l'on alimente avec du carburant importé.

teurs se sont attaqués aux turbines Darrieus de grande puissance en partant du raisonnement que les facteurs techniques et économiques qui lient les dimensions des éoliennes au rendement énergétique militaient en faveur de machines plus puis-

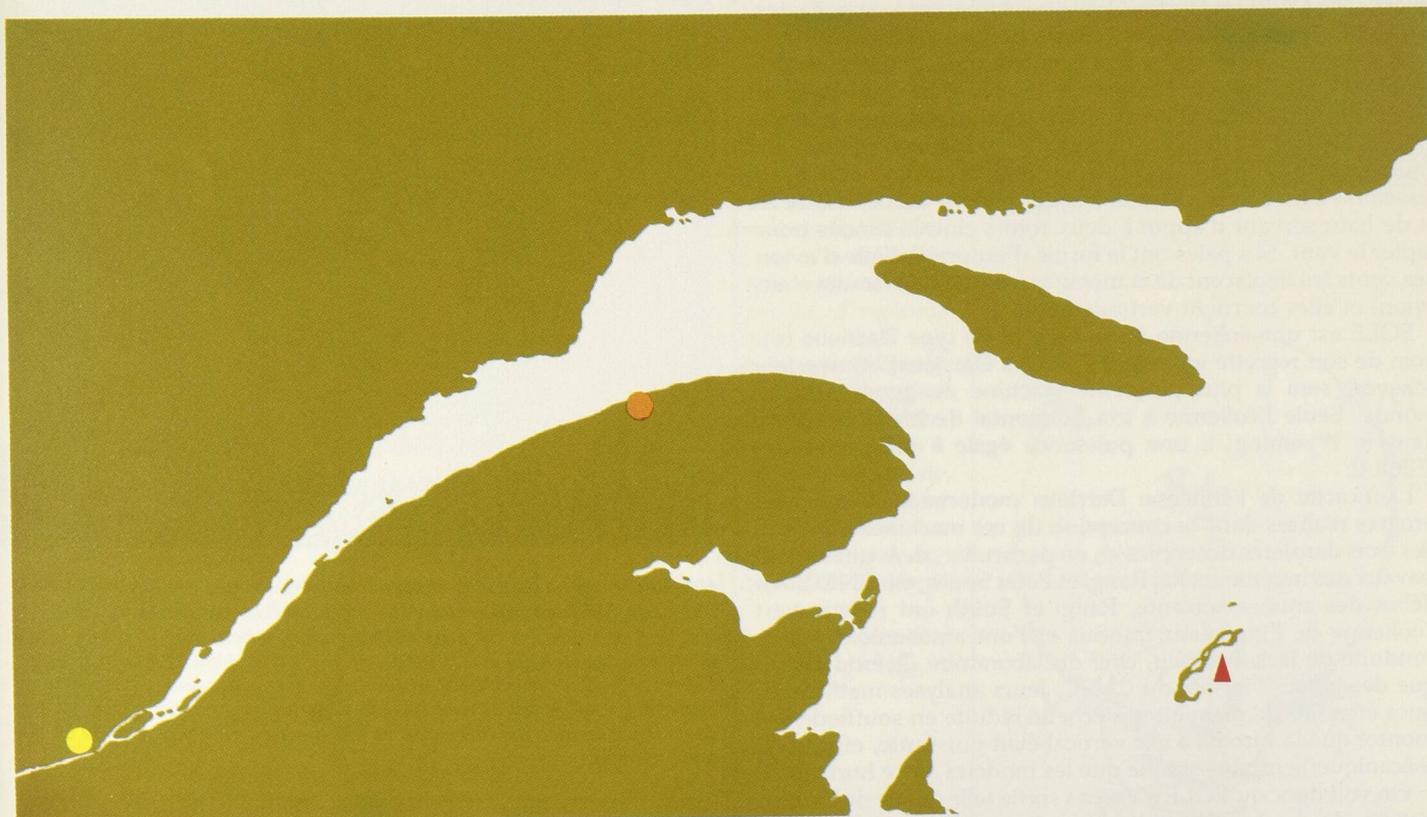


Ali Kurtis

santes. Quelques turbines de 3 kW auxquelles devaient succéder des installations de plus en plus puissantes furent construites pour alimenter des stations relais de télécommunications isolées. Vers la fin des années 70 et le début des années 80, des turbines Darrieus de 50 kW ont été connectées aux réseaux électriques de la Colombie-Britannique, de la Saskatchewan, du Manitoba et de Terre-Neuve. Ces machines de 20 m de haut donnèrent l'occasion aux compagnies d'électricité canadiennes de se familiariser avec l'énergie éolienne en fournissant de précieuses données techniques à leurs ingénieurs. En 1977, le CNRC et Hydro-Québec installaient le précurseur d'ÉOLE sur les venteuses îles de la Madeleine, dans le golfe du Saint-Laurent. Cette machine, s'élevant à 47 m au-dessus des sables des îles, était la plus grosse et la plus puissante turbine Darrieus construite à l'époque, apportant 230 kW au réseau électrique Diesel de l'île. L'intention était de l'utiliser comme complément plutôt que comme source d'énergie unique, concept qui est repris dans ÉOLE et pour l'énergie éolienne en général. La



John Bianchi



L'éolienne Éole sera construite près de Cap Chat sur la péninsule de Gaspé (point orange) à 425 km au nord est de la ville de Québec (point jaune). Les îles de la Madeleine (triangle rouge), situées dans le golfe du Saint-Laurent, sont le site qui a été choisi pour la première éolienne Darrieus de grandes dimensions.

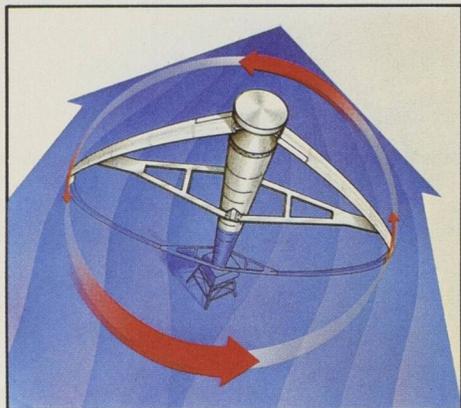
Ali Kurtis

turbine des îles de la Madeleine a subi cinq ans d'essais, de modifications et d'essais complémentaires pour explorer les caractéristiques structurelles et aérodynamiques fondamentales de ce type de machine. On en a tiré de précieuses leçons qui ont par la suite servi pour la conception d'ÉOLE (les essais poussés sont maintenant terminés mais l'éolienne continue à fournir de l'électricité aux réseaux des îles de la Madeleine).

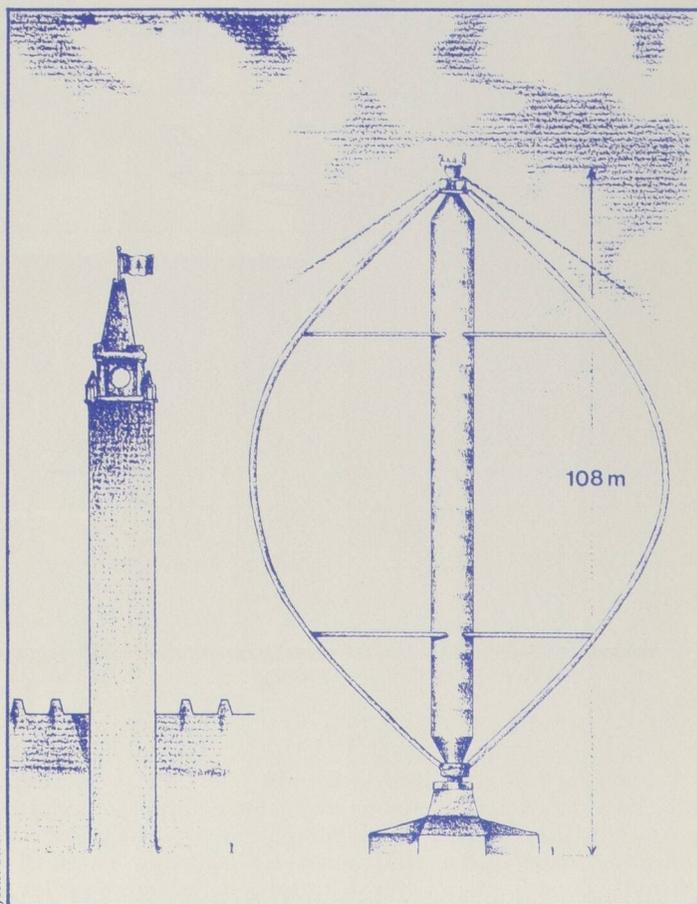
Un des arguments souvent entendus au cours de la crise du pétrole était que puisque l'énergie totale que recèlent les vents soufflant sur le Canada dépasse considérablement nos besoins et que les éoliennes ont un rendement de 40 à 45% (ce qui représente environ le double de celui des installations solaires), pourquoi ne pas exploiter cette source à grande échelle?

Une des raisons qui s'y opposent est que les vents les plus forts ont tendance à souffler dans les régions isolées où l'énergie n'est pas nécessaire et où il n'existe pas de méthodes bon marché et commodes pour la stocker et le transporter. L'énergie

Le concept de l'éolienne à axe vertical est fondamentalement simple. Contrairement aux éoliennes classiques dont les pales ne tournent que lorsqu'elles font face au vent, l'éolienne à axe vertical entre en rotation quelle que soit la direction du vent.

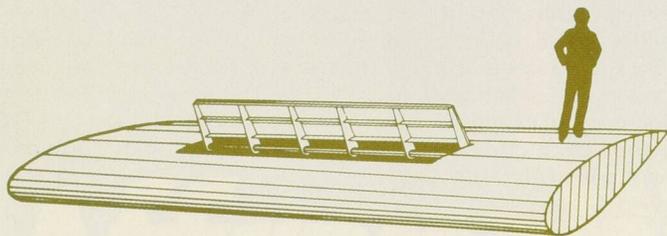


John Bianchi

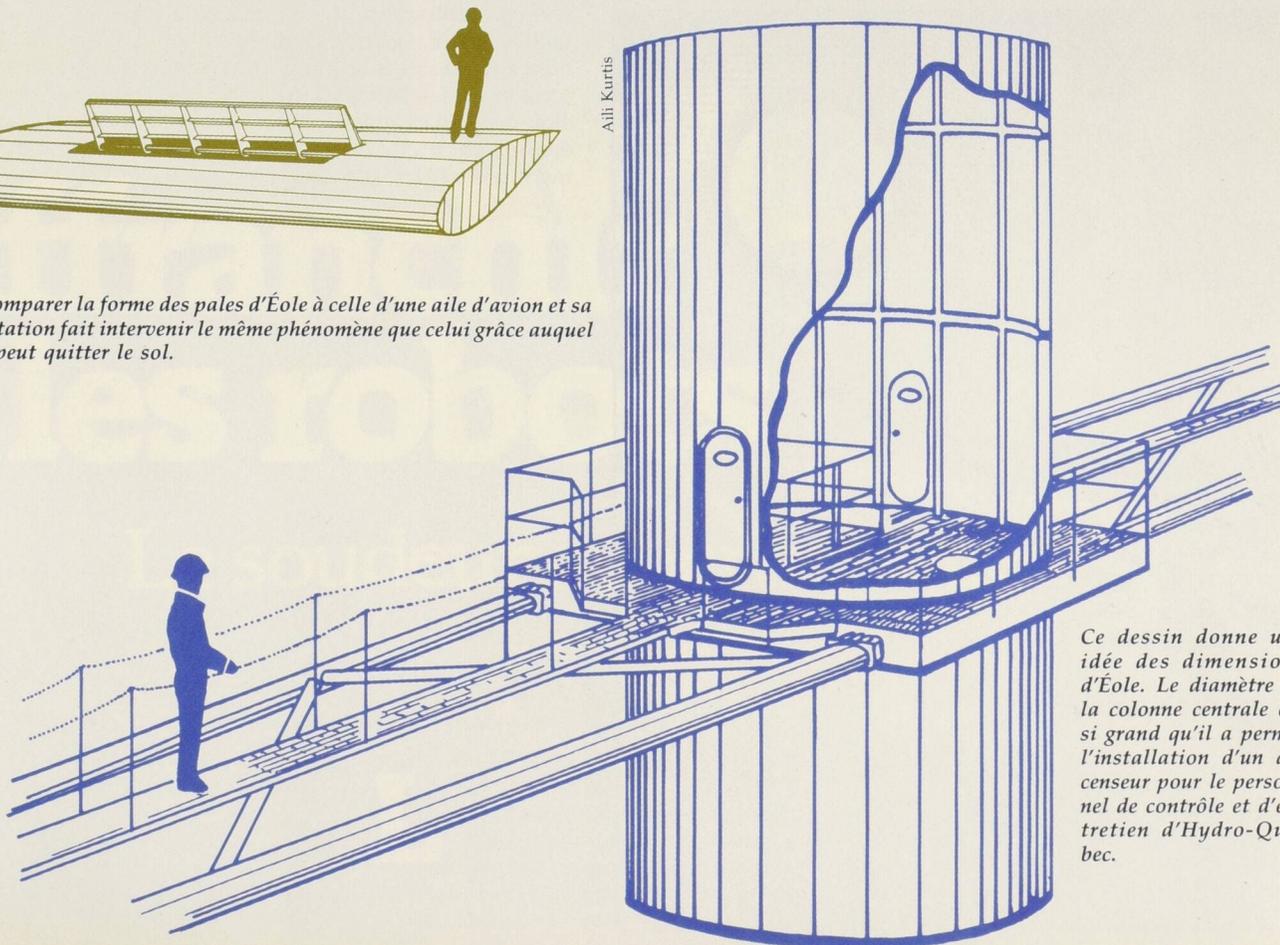


John Bianchi

Avec 108 m de hauteur, Éole dépassera la Tour de la Paix.



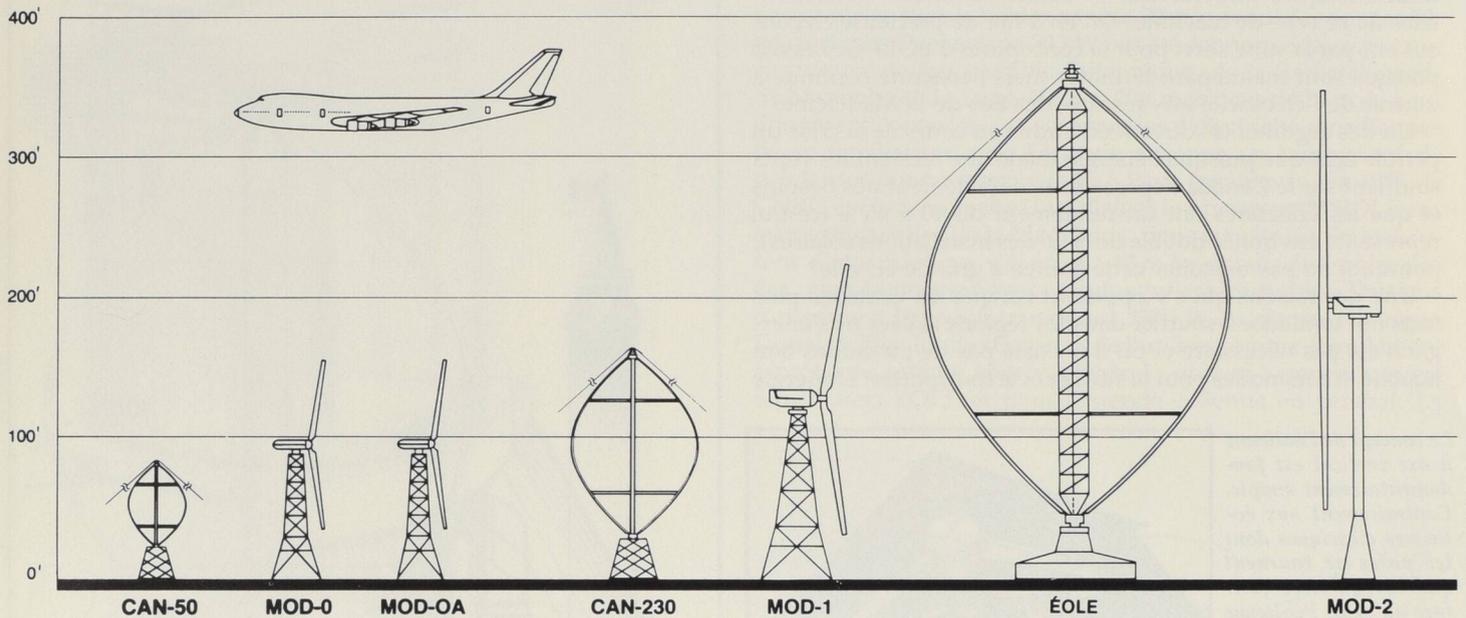
On peut comparer la forme des pales d'Éole à celle d'une aile d'avion et sa mise en rotation fait intervenir le même phénomène que celui grâce auquel un avion peut quitter le sol.



Aili Kurtis

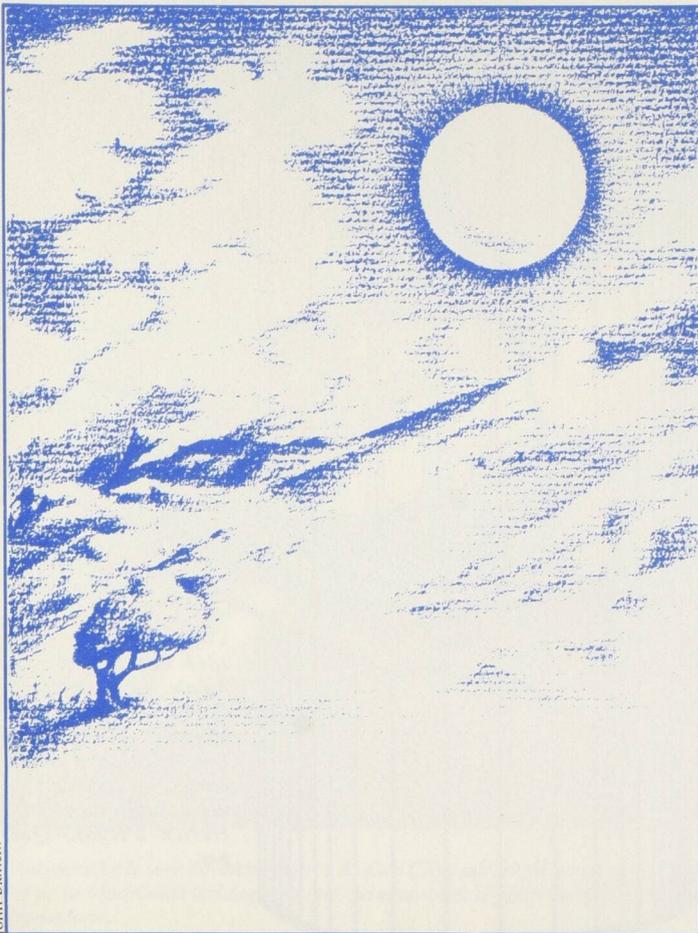
Ce dessin donne une idée des dimensions d'Éole. Le diamètre de la colonne centrale est si grand qu'il a permis l'installation d'un ascenseur pour le personnel de contrôle et d'entretien d'Hydro-Québec.

LES GRANDES ÉOLIENNES ACTUELLEMENT RELIÉES AU RÉSEAU



contenue dans les vents est considérable, c'est vrai, mais c'est également une source d'énergie fluctuante et diffuse qui n'est pas uniformément répartie sur l'ensemble du pays. Rappelons-nous également que le coût initial des éoliennes est élevé (même si l'on n'a pas à payer de factures de mazout pour les faire tourner!).

Quoi qu'il en soit, le vent soufflera aussi longtemps que le soleil brillera et il réunit à tout le moins les conditions nécessaires pour en faire une source d'énergie complémentaire des sources classiques comme l'énergie hydraulique, thermique et nucléaire. Pour être en mesure de déterminer la quantité d'énergie que nous pouvons extraire du vent il nous faudra acquérir beaucoup plus d'expérience dans des conditions réelles d'utilisation et, en particulier, avec des modèles de la taille d'ÉOLE. Les calculs montrent que si l'on mettait en place des centaines de machines là où les vents sont raisonnablement forts et où les lignes de transport électrique ne sont pas trop éloignées, elles pourraient couvrir jusqu'à 5% des besoins en énergie électrique du Canada, pourcentage qui n'est certainement pas négligeable! ☺





Affranchir les robots

Le soudeur cybernétique

par Séan McCutcheon

*Adaptation française:
Claude Devismes*

Les robots nous préparent une autre révolution industrielle. En Europe, au Japon, et en Amérique du Nord, ils se chargent des tâches répétitives et dangereuses. Ici, au Ca-



Un capteur constitué d'une caméra de télévision et d'un laser assure la conduite du soudage. La lumière laser, projetée sur les plaques à souder, détermine les ligne et plan de référence. Une caméra de télévision voit ces points de référence sous un certain angle. Le logiciel de l'ordinateur calcule le profil tridimensionnel du cordon de soudure en partant de l'image vidéo. Grâce à ce type de capteur, la quantité de matière déposée dans un joint de soudure au cours de passes multiples peut être dosée avec précision.



Presque un robot: Cette machine à souder se dispense d'une intervention humaine pendant le soudage mais à condition bien entendu que l'opérateur lui ait préalablement fourni les paramètres nécessaires. Prévu pour le soudage gaz-tungstène et à l'arc de plasma, le système ressemble à ceux que les américains utilisent pour souder les plaques d'aluminium de la navette spatiale.

nada, ils nous aident à fabriquer des automobiles, des aéronefs et des moteurs à réaction, pour ne citer que ces exemples, et bon nombre d'entre eux sont des robots soudeurs.

Un robot ne soude pas plus vite qu'un être humain, mais alors qu'un ouvrier doit s'arrêter fréquemment pour vérifier son travail, allumer une cigarette ou se reposer, un robot n'est jamais fatigué ni incommodé par les gaz délétères ou affecté par les dangers qui menacent la santé et la sécurité de l'Homme. Comme ils s'accommodent des cadences et des conditions de travail les plus infernales, permettant ainsi d'augmenter considérablement la productivité, les robots soudeurs sont maintenant utilisés en nombre croissant.

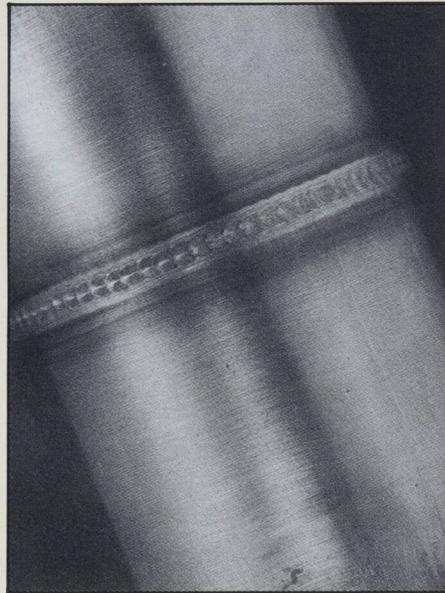
Toutefois, selon Ghislain Bégin, chercheur attaché à l'Institut de soudage du Canada et qui travaille à l'Institut de génie des matériaux du CNRC (IGM), à Montréal, la plupart des robots soudeurs actuellement sur le marché sont limités; ils ne sont pas "interfacés avec leur milieu". Prisonniers de programmes inflexibles, ils sont incapables de s'adapter à des changements mineurs. Ils persistent bêtement à souder à l'endroit pré-programmé même si les petites irrégularités qui affectent les pièces de métal à joindre devraient les en écarter.

En les rendant intelligents, en leur donnant des yeux et un cerveau, Ghislain Bégin et d'autres spécialistes espèrent arriver à les libérer.

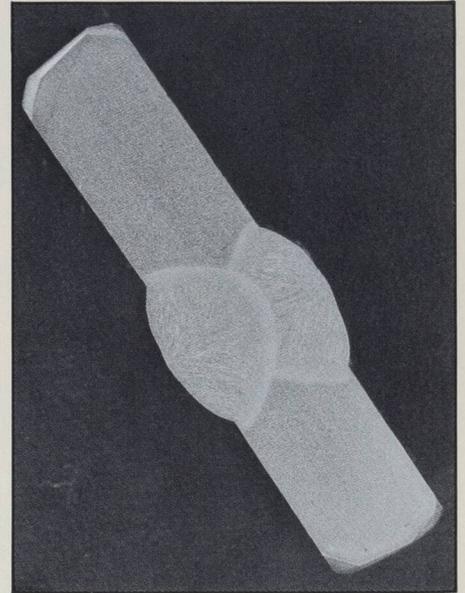
Dans la réalité, ceci signifie qu'il faut mettre au point des systèmes de commande à rétroaction informatisés avec des capteurs pour surveiller les opérations de soudage et des logiciels qui réagissent aux signaux des capteurs en modifiant instantanément les signaux de commande du chalumeau.

L'affranchissement des robots soudeurs devra s'accompagner de la mise au point de nouvelles méthodes d'instruction. Les machines à souder classiques apprennent la séquence des tâches qu'elles doivent accomplir en copiant l'instructeur humain. Ce n'est pas très efficace et comme un être humain doit pénétrer dans l'ère de travail du robot pour faire un peu de soudage cela peut être dangereux. Georges Bata, directeur de l'institut, espère que les robots de l'avenir seront autodidactes, c'est-à-dire capables d'assembler le produit final en partant de bases de données machine.

Le robot soudeur cybernétique autodidacte n'existe pas encore, mais ce que vous voyez sur ces pages vous donnera peut-être une idée de ce à quoi il pourrait ressembler. 🤖



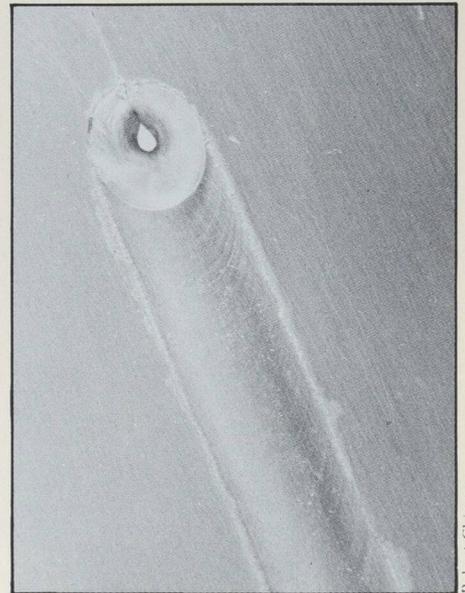
Suivage automatique du cordon.



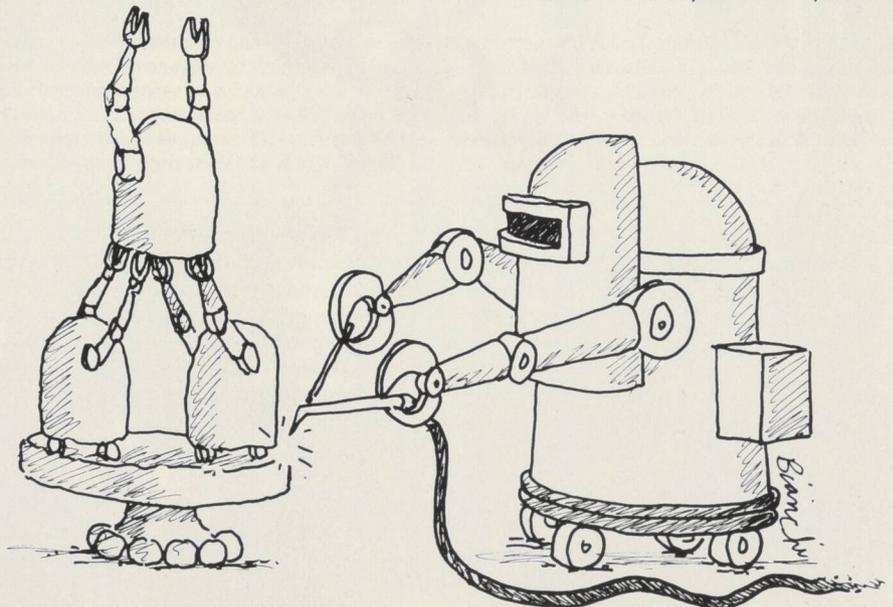
Une passe de chaque côté.



Pénétration totale sur un côté.



Soudure obtenue par courant pulsé.



Robert Chisson

John Bianchi

Production d'insuline humaine

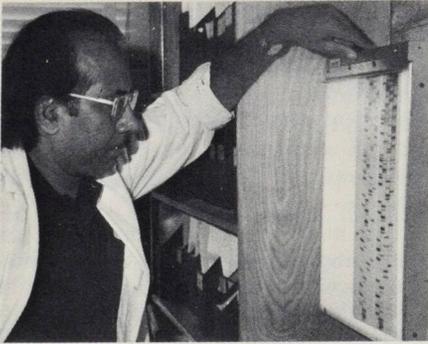
par Wayne Campbell
Adaptation française: Annie Hlavats

Le Dr Saran Narang, organicien de la Division des sciences biologiques du CNRC, à Ottawa, observe attentivement des photomicrographies de bactéries qui ont été induites à produire de l'insuline humaine. Grossies 40 000 fois, ces cellules contiennent des zones denses et sombres qui témoignent du succès remporté par les scientifiques dans leur tentative de détournement de l'énergie bactérienne pour la mettre au service de l'Homme.

Un spécialiste de l'interprétation des photomicrographies fait remarquer au Dr Narang que les bactéries *Escherichia coli* se sont littéralement suicidées en exécutant les ordres génétiques qu'il leur a donnés. Les instructions données pour

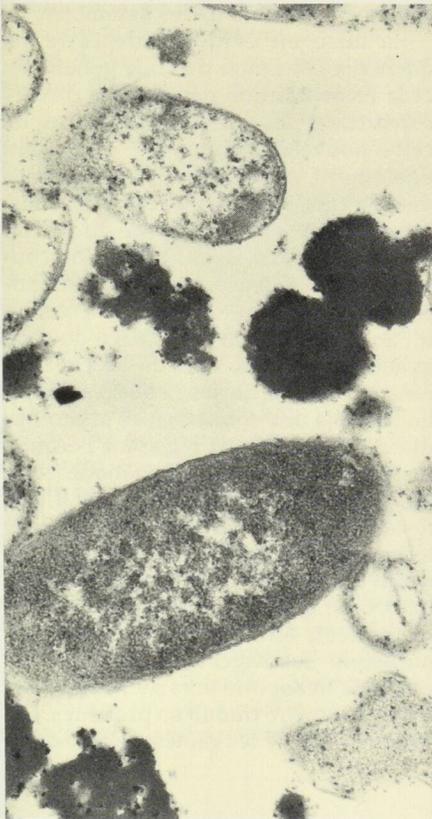


J. Bianchi



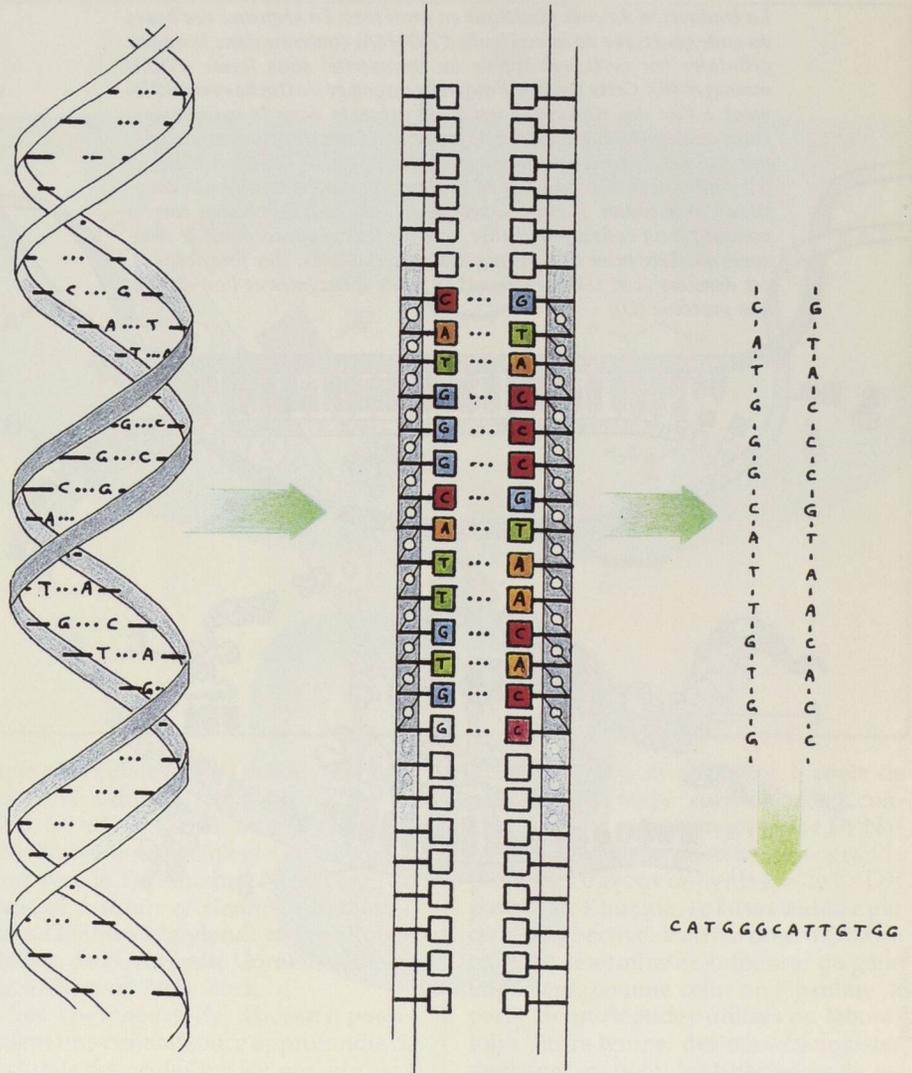
Le Dr Narang examine la séquence de bases d'un échantillon d'ADN synthétique.

fabriquer cette hormone vitale sont si irrésistibles que la bactérie a épuisé presque toutes ses réserves, y compris l'énergie chimique indispensable à ses propres fonctions, pour les exécuter. "Cette protéine vitale pour les diabétiques s'est avérée néfaste pour l'*E. coli*", explique le Dr Narang en fermant la fenêtre de son laboratoire en prévision d'un orage qui se prépare.



Saran Narang

Photomicrographie de l'*E. coli* recombiné et capable de produire de la pro-insuline. Les zones sombres à l'intérieur de la cellule représentent des molécules de pro-insuline masquées par de grosses protéines qui les protègent contre toute dégradation enzymatique. La pro-insuline est produite en si grandes quantités qu'elle s'accumule à l'intérieur des bactéries et les étouffe. (x 40 000)



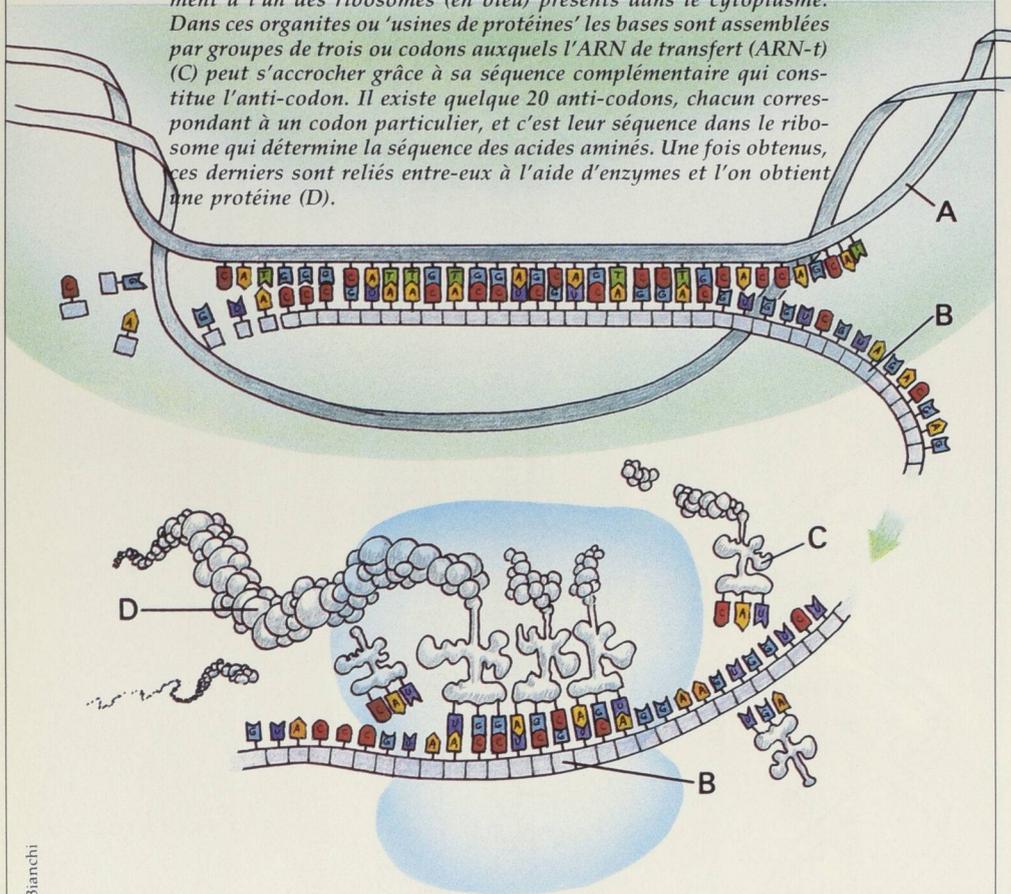
Les lettres symbolisant les bases qui font penser à des barreaux d'échelle dans la double hélice d'ADN (à gauche) sont normalement représentées en colonnes verticales parallèles (au centre). Les chimistes simplifient davantage ce schéma en n'inscrivant que deux rangées de lettres (à droite). Et, comme la séquence d'un brin détermine celle de l'autre car la cytosine (C) est toujours appariée à la guanine (G) et l'adénine (A) à la thymine (T), les chimistes se contentent d'écrire une seule rangée de lettres (au bas du schéma) pour représenter la double hélice.

Ces bactéries déterminées sont, pour le Dr Saran Narang, la concrétisation de plus de dix années de recherche dans l'un des domaines scientifiques les plus fascinants. En l'espace de deux décennies, les scientifiques ont mis au point une série de techniques puissantes que l'on désigne couramment par le nom de 'génie génétique' et qui leur permettent de reconstituer des gènes à partir de produits chimiques courants et d'induire leur traduction en protéines thérapeutiques de grande valeur, comme l'insuline, à l'aide de bactéries et de levures. Le Dr Narang porte un intérêt particulier à

l'histoire de ce domaine en plein développement, en ayant lui-même écrit quelques chapitres. C'est en effet dans son laboratoire, à Ottawa, que l'on a mis au point une partie des procédés chimiques qui soutendent la reconstitution du gène de l'insuline et l'asservissement des fonctions génétiques bactériennes.

À l'extérieur, l'orage a éclaté; des nuages menaçants se détachent des collines de la Gatineau et avancent au-dessus de la rivière des Outaouais; une pluie battante frappe les grandes fenêtres de son bureau. À l'intérieur, dans la salle soudainement assombrie, de longues chaî-

La traduction du code génétique en protéines. La séquence des bases ou code génétique de la molécule d'ADN (A) contenue dans le noyau cellulaire (en vert), est copiée ou 'transcrite' sous forme d'ARN messenger (B). Cette molécule quitte le noyau et s'attache éventuellement à l'un des ribosomes (en bleu) présents dans le cytoplasme. Dans ces organites ou 'usines de protéines' les bases sont assemblées par groupes de trois ou codons auxquels l'ARN de transfert (ARN-t) (C) peut s'accrocher grâce à sa séquence complémentaire qui constitue l'anti-codon. Il existe quelque 20 anti-codons, chacun correspondant à un codon particulier, et c'est leur séquence dans le ribosome qui détermine la séquence des acides aminés. Une fois obtenus, ces derniers sont reliés entre-eux à l'aide d'enzymes et l'on obtient une protéine (D).



John Bianchi

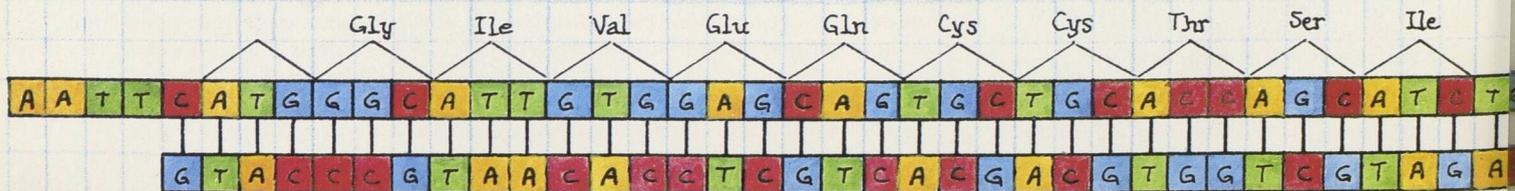
nes de lettres reliées par des tirets semblent se détacher des tableaux qui encombrent les murs. En examinant ces chaînes qui, à première vue, paraissent dépourvues de sens, on ne tarde pas à s'apercevoir que seules les lettres A, T, C et G les composent; elles symbolisent les bases: adénine, thymine, cytosine et guanine ou les nucléotides correspondants: adénosine, thymidine, cytosine et guanosine. Ces lettres que Narang connaît depuis bien longtemps sont les unités de base de la molécule d'acide désoxyribonucléique, ou ADN, sur laquelle se trouvent les gènes. Elles représentent en quelque sorte l'alphabet de la vie.

Bien que sur le tableau les nucléotides s'enchaînent en ligne droite, ils forment en réalité deux hélices enroulées l'une autour de l'autre, la première portant le code génétique et la seconde 'la matrice' du code qui est utilisée lors de la division cellulaire. Cette structure, maintenant devenue célèbre, a été mise en évidence il y a près de trente ans par James Watson et Francis Crick, à l'Université Cambridge. Leur modèle constitué de plaques et de tiges métalliques entrelacées, basé sur des images radiographiques de cristaux d'ADN, a permis d'expliquer le mécanisme infailible de duplication de la molécule. Les bases qui relient les deux spirales et qui font penser à des

barreaux d'échelle ne s'apparient que si l'adénosine se trouve face à la thymidine et la cytosine face à la guanosine. La moindre altération de cet appariement détruit l'équilibre de l'hélice. Lors de la division cellulaire, les deux brins reliés par des ponts hydrogènes relativement faibles se séparent et chacun d'entre eux sert de matrice pour l'assemblage d'un brin complémentaire. On obtient ainsi une nouvelle molécule identique à la molécule parentale. Cette propriété d'autoreproduction est exclusive à la molécule d'ADN et la rend immortelle.

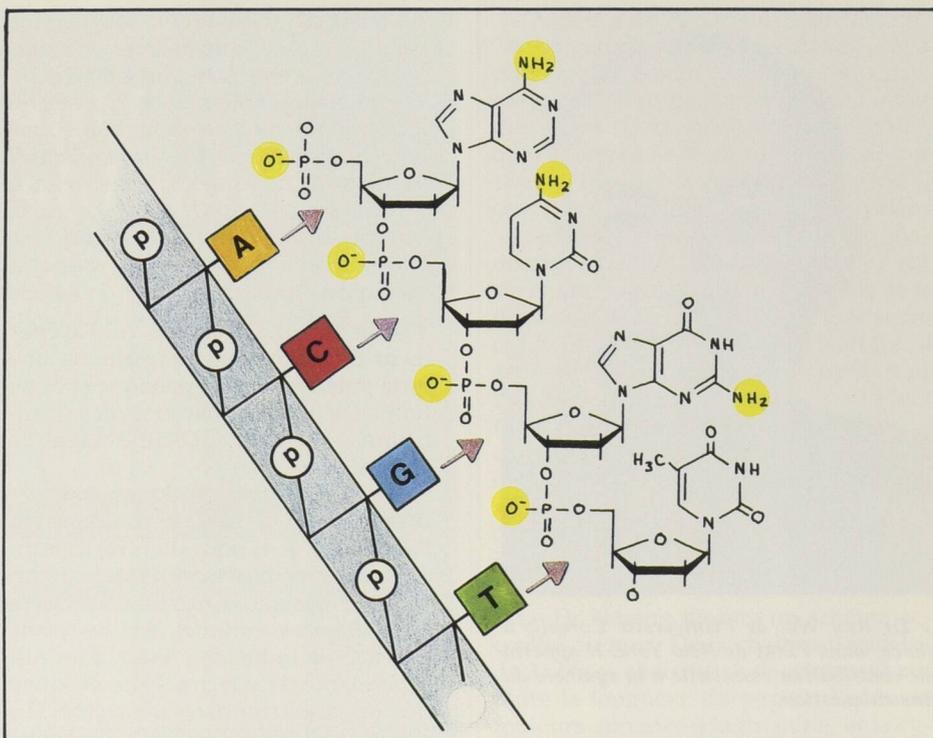
Mais, si les lettres étirées le long de la spirale ont de l'importance, leur séquence en a bien plus. C'est, en effet, leur séquence le long des chaînes d'ADN qui détermine le code de la vie dans la biosphère, depuis les bactéries jusqu'aux chimistes qui les étudient. Le Dr Narang montre une chaîne de 66 nucléotides dessinée à la craie jaune sur le tableau. "Voici une partie du gène de l'insuline que nous avons synthétisé et qui correspond à la chaîne A", explique-t-il. "Elle représente environ le quart du gène entier. Pour reconstituer un gène il faut non seulement connaître la séquence de ses nucléotides, mais être également capable de les assembler."

La mise en évidence de cette séquence, c'est-à-dire du code génétique, et la reconstitution des chaînes d'ADN constituent les pierres angulaires de cette nouvelle technologie. Elles sont également chronologiquement liées dans la carrière du Dr Narang. En 1963, lorsqu'il arriva au laboratoire du Dr Har Gobind Khorana, dans l'État du Wisconsin, une des tâches les plus passionnantes de la biologie moléculaire venait d'être entreprise: le décryptage du code génétique. A cette époque, le Dr Khorana et nombre de ses confrères possédaient déjà une connaissance approfondie des mécanismes régissant l'écoulement de l'information génétique et sa transcription en protéines, mais il leur restait à expliquer comment l'ADN déterminait la nature de ces éléments. On savait que le code génétique inscrit dans l'ADN est d'abord transcrit sous forme de molécule linéaire appelée acide ribonucléique 'messenger', ou ARN messenger, puis transporté hors du noyau de la cellule pour être traduit en protéines. On savait aussi que les protéines qui sont à



l'origine de la vie sur Terre et qui entrent dans la composition de la matière vivante et des hormones vitales, comme l'insuline, sont également des molécules linéaires constituées de quelque vingt acides aminés. Mais, ce que le Dr Khorana et son équipe cherchaient à savoir,

La synthèse de l'ADN est en fait un travail de camouflage. L'ADN stylisé à gauche a en réalité une structure bien plus compliquée comme on peut le voir à droite. Les lettres A, C, G et T sont des composés azotés à noyaux (A et G comportent deux noyaux tandis que C et T n'en ont qu'un). Elles sont reliées à un noyau de désoxyribose qui est à son tour attaché à un groupe phosphate. L'ensemble de ces trois unités constitue un nucléotide, élément de base que les chimistes utilisent pour synthétiser la molécule d'ADN. L'enchaînement des nucléotides se fait à l'aide de liaisons entre les groupes phosphates et les sucres désoxyriboses suivant une séquence régulière. Cependant, avant que ces liaisons ne se forment, les chimistes doivent masquer certains groupes 'actifs' (en jaune) qui risquent d'entraver le déroulement de l'opération.



John Bianchi

c'est comment les bases A, C, T et G codent pour ces vingt acides aminés. Or, l'explication de cette énigme est contenue dans le code génétique, lexique universel de la vie. "Il y eut des journées pleines d'émotion", raconte le Dr Narang. "Notamment parce que nous étions en concurrence avec d'autres laboratoires. Finalement, nous avons réussi à démontrer que chaque acide aminé est déterminé par un 'codon' composé de trois bases situées le long de la molécule d'ADN. L'acide aminé méthionine, par exemple, est déterminé par la séquence A-T-G. Mais, l'insuline, qui est composée de 51 acides aminés, est déterminée par un code génétique de 153 bases, soit de 51 codons contigus." Le groupe de chercheurs a également démontré que le code génétique est le même pour toutes les cellules vivantes, qu'il s'agisse de bactéries, de cellules humaines ou de cellules de tournesol. En fait, toutes les formes de vie sont issues du même système de traitement de l'information génétique, seules les données diffèrent d'un organisme à un autre.

Le décryptage du code génétique et la vérification de son universalité est un événement aussi important pour la bio-

logie moléculaire que la découverte de la structure à double hélice de l'ADN. En 1968, le Dr Gobind Khorana partageait le prix Nobel en physiologie et en médecine avec le Dr Marshall Nirenberg, du National Institute of Health, à Bethesda, dans l'État du Maryland, et avec Robert Holley, de l'Université Cornell, à Ithaca, dans l'État de New York.

Les chercheurs de Khorana possédaient une connaissance approfondie de la chimie des acides nucléiques, et c'est à cette compétence qu'ils doivent la rapidité de leurs progrès dans ce domaine. Ils étaient parmi les premiers à pouvoir non seulement synthétiser de petits segments d'ADN, mais aussi à les relier à l'aide d'enzymes et à vérifier la précision de l'expression génétique résultante.

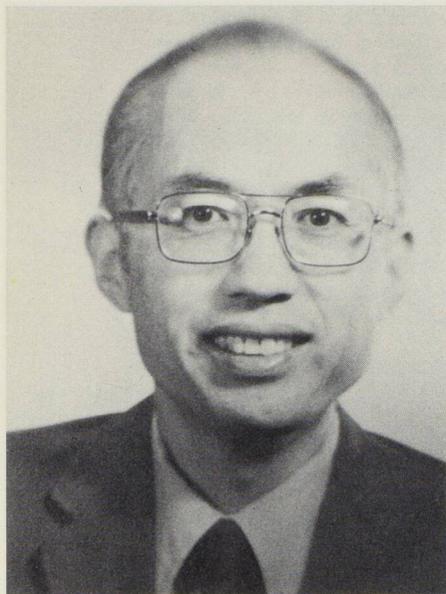
Une fois le code déchiffré, il coule de source que l'étape suivante allait consister à reconstituer un gène. Le Dr Narang, ayant déjà effectué une grande partie des travaux de synthèse de l'ADN pour le Dr Khorana, se laissa séduire par cette perspective. Il arriva donc à Ottawa en 1966, déterminé à synthétiser un gène important, comme celui de l'insuline, à partir de nucléotides utilisés au laboratoire. Entre temps, des microbiologistes mettaient au point les techniques de recombinaison génétique qui allaient faire le bonheur de tous ceux qui rêvaient de reconstituer des gènes.

Mais, il restait des lacunes à combler et l'absence de séquences génétiques connues pouvant servir de référence n'était pas la moindre. Cependant, le

Le gène qui code pour la chaîne A de l'insuline humaine sous la forme nécessaire à son insertion dans un plasmide. Les séquences AATTC et CCTAG, chacune à une extrémité du plasmide (voir représentation graphique du plasmide p. 25), sont des points d'ouverture reconnus par une enzyme; elles rendent possible l'intégration du gène dans le véhicule de clonage. Les séquences ATG et TGA qui leur sont accolées donnent respectivement le signal universel de départ et d'arrêt à la transcription du message génétique. La séquence des 'triplets' de bases comprise entre ces signaux détermine la structure des acides aminés qui constituent la chaîne A de la molécule d'insuline (les dix premiers acides aminés sont indiqués dans la partie supérieure du schéma). Les scientifiques clonent individuellement les gènes qui codent pour les chaînes A, B et C de la pro-insuline puis ils relient les chaînes obtenues suivant la séquence B-C-A pour reconstituer la molécule complète.



John Bianchi



Université Cornell

Le Dr Ray Wu, de l'Université Cornell, à Ithaca, dans l'État de New York. Il apporta une contribution essentielle à la synthèse du gène en question.

plus sérieux des obstacles était l'incroyable lenteur des procédés chimiques. Le Dr Khorana mobilisa l'équivalent de 20 personnes pour réussir à synthétiser le premier gène qui devait atteindre une longueur de 200 bases. L'exploit fut largement acclamé, mais on ne s'attendait pas à le répéter. Il s'appuyait sur une méthode faisant appel à la chimie des diesters qui s'avérait trop lente et donnait un très faible rendement.

La reconstitution d'un gène ne se réalise pas en une seule étape. En fait, les bases doivent être assemblées une par une et, aussitôt que deux nucléotides s'apparient, ils doivent être purifiés et analysés. Une grande partie du produit est perdue à la suite de l'opération et quelques répétitions suffisent pour l'épuiser.

Pour mieux comprendre les problèmes associés à la manipulation de ces nucléotides, prétendons qu'ils sont munis de crochets. Ces crochets sont des groupes 'chimiquement actifs' et seul l'un d'entre eux doit réagir lors de l'appariement. Lorsque des nucléotides sont immergés dans une solution sans avoir été préalablement traités, leurs crochets s'accrochent à d'autres nucléotides de façon aléatoire. Pour empêcher que ceci ne se produise, le Dr Narang et autres scientifiques, 'masquent' tous les crochets qui ne sont pas appelés à réagir. C'est comme s'ils les immobilisaient à l'aide de bouchons. Lorsque tous les nucléotides sont enchaînés suivant les spécifications du chimiste, les bouchons sont retirés et l'on obtient une chaîne telle qu'elle se présenterait dans la cellule.

Une épée à double tranchant

Vers le milieu des années 70, l'avènement du génie génétique alluma une forte polémique sociopolitique et ce ne fut pas le grand public mais des scientifiques mêmes qui soulevèrent la controverse.

Pour certains, les techniques de recombinaison génétique annonçaient l'amorce d'une nouvelle ère laissant entrevoir l'explication de la vie et de ses mécanismes de régulation avec des conséquences énormes sur les plans médical et industriel. Pour d'autres, cependant, cette technologie évoquait des scénarios futuristes menaçants. Le débat dont l'impact social a probablement été sans égal dans l'histoire de la biologie moléculaire commença en 1974, à la suite d'un projet d'expérience du Dr Paul Berg, de l'Université Stanford. Son idée qui, à première vue, ne semblait pas présenter de danger consistait à insérer les gènes d'un virus de singe, appelé SV40, dans *E. coli* en utilisant un virus comme vecteur. Or, ceci alarma quelques microbiologistes qui craignaient que le virus SV40, susceptible de provoquer la cancérisation de cultures de cellules humaines, ne fût transmis à l'homme par *E. coli*, qui fait partie de sa flore intestinale.

Mais les risques encourus étaient bien plus sérieux et il n'était pas facile de déterminer quelles expériences se-

raient dangereuses car les recombinaisons génétiques étaient rarement prévisibles. Il fallait prévoir des accidents tels que l'introduction non intentionnelle de gènes indésirables chez l'organisme récepteur susceptibles de le rendre dangereux.

Les protestations aboutirent à la création d'un groupe de scientifiques dirigé par le Dr Berg lui-même et dont l'objectif était d'adopter un moratoire volontaire en ce qui concerne les expériences de recombinaison génétique jusqu'à ce que les risques qu'elles présentaient fussent adéquatement déterminés. Finalement, le public en eut vent et ceci mena à l'établissement de directives qui exigent des mesures de sécurité comme, par exemple, l'utilisation d'installations de confinement spéciales et l'emploi d'*E. coli* handicapé et incapable de survivre à l'extérieur du laboratoire, et interdisent certaines expériences faisant intervenir des organismes pathogènes.

Bien qu'avec le temps il se soit avéré que cette crainte n'était pas tout à fait justifiée et que, en fait, un grand nombre des échanges génétiques redoutés se produisent spontanément dans la nature, la recherche dans ce domaine continue de s'entourer des plus grandes précautions.

Cependant, avec la méthode du Dr Khorana, deux de ces crochets demeuraient libres; lorsque l'un d'entre eux réussissait à s'accrocher à un autre nucléotide, le dernier, moins apte à former une liaison, restait célibataire. Sa présence affectait surtout la vitesse de déroulement des réactions et rendait difficile l'isolation des segments de gènes obtenus. Par ailleurs, ces crochets conféraient un caractère 'ionisé' à la molécule qui les portait, la rendant soluble dans l'eau mais insoluble dans les solvants 'organiques', propriété qui était incompatible avec les procédés de purification existants.

Averti de ces problèmes, le Dr Saran Narang décida d'essayer de nouvelles méthodes. Il savait que la capacité des crochets de se lier entre eux et de retenir

les bouchons dépendait de la nature du milieu chimique dans lequel ils se trouvaient. Au cours des années, il acquit une grande maîtrise qui lui permit de modifier ces milieux, de masquer les crochets à l'aide de bouchons et de retirer délicatement les bouchons de certains crochets sans causer de perturbations. Il envisagea alors un procédé qui consistait à masquer le second crochet des nucléotides pour les rendre plus solubles dans des solvants organiques puis à les soumettre à une série de milieux préalablement déterminés et d'où il pouvait extraire les chaînes obtenues sans essuyer de grosses pertes. Au début, la lenteur des progrès et les contraintes de la concurrence invitaient au découragement. Mais, finalement, vers la fin de l'année 1972, l'objectif fut atteint. Le Dr Narang et ses collègues venaient de

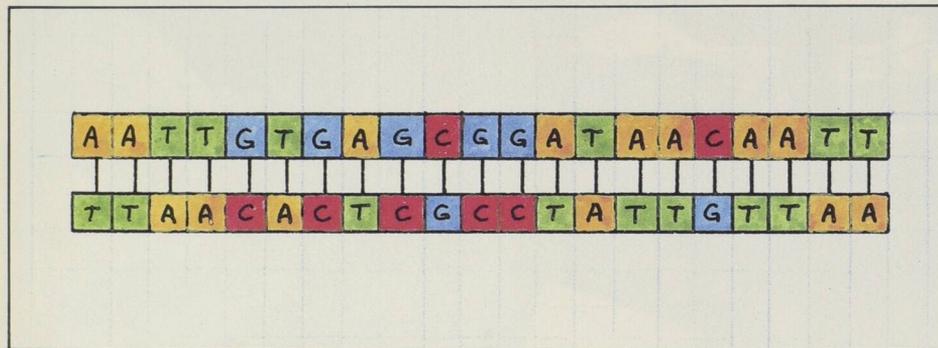
mettre au point une nouvelle méthode, celle-ci faisant intervenir la chimie des triesters. Désormais, ils n'auraient plus à s'inquiéter de la solubilité dans l'eau, des problèmes de purification, de l'insuffisance des rendements ou de la lenteur des procédés. Leurs molécules essentiellement neutres pouvaient être manipulées plus facilement et donner des rendements bien supérieurs. "Le procédé utilisé", précise le Dr Narang, "était plus simple, plus pratique et convenait bien mieux à la reconstitution de gènes

qui peuvent comprendre plusieurs centaines de nucléotides."

Le Dr Narang était prêt à synthétiser un gène, mais il voulait également vérifier l'efficacité de sa nouvelle méthodologie. Pour cela il devait choisir un gène à la fois petit et neutre. La mise en évidence par le Dr Walter Gilbert (Prix Nobel 1980), de l'Université Harvard, de la séquence de nucléotides d'un gène particulier appelé 'opérateur' et présent chez la bactérie *E. coli* contribua à son succès.

"Aujourd'hui", reprend le Dr Narang, "nous pensons que la régulation de la plupart des gènes bactériens est effectuée par des 'opérateurs' situés en amont des gènes. Certaines molécules protéiques peuvent se fixer au niveau de ces sites et bloquer la transcription génétique; elles sont fort à propos appelées 'répresseurs'. L'opérateur mis en évidence par le Dr Gilbert régit le gène codant pour une enzyme responsable de la dégradation du lactose. Lorsque ce sucre est présent dans le milieu de culture, il arrache le répresseur de l'opérateur bactérien et déclenche ainsi la production de l'enzyme qui intervient dans sa dégradation et à son assimilation. Lorsque tout le sucre a été utilisé, le répresseur retourne à sa place et la production de l'enzyme est inhibée. C'est un mécanisme relativement simple de contrôle par rétroaction."

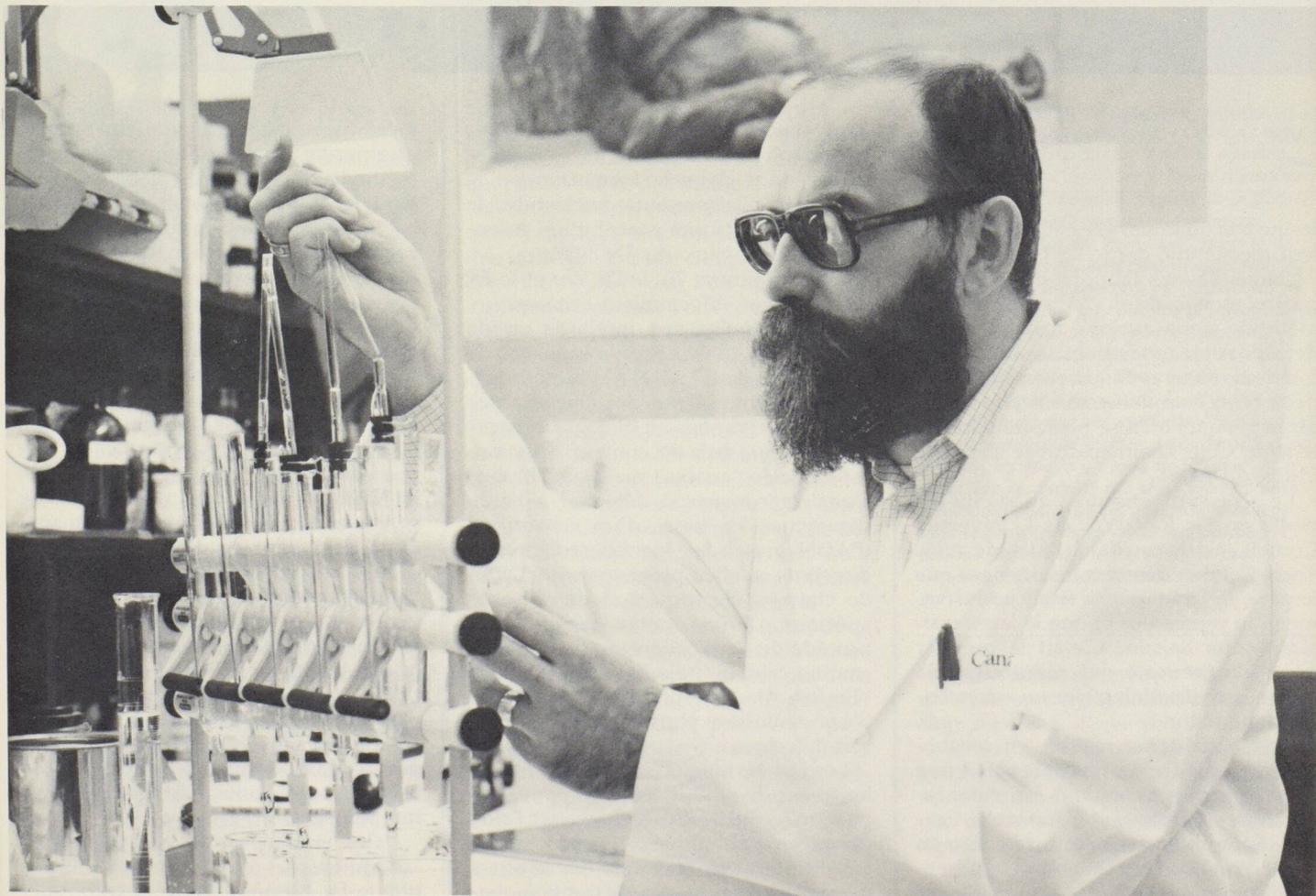
Le Dr Narang montre un schéma accroché au mur. Deux chaînes parallèles de 21 bases chacune se développent sur toute la longueur du papier, l'adénine toujours appariée à la thymine, et la cy-



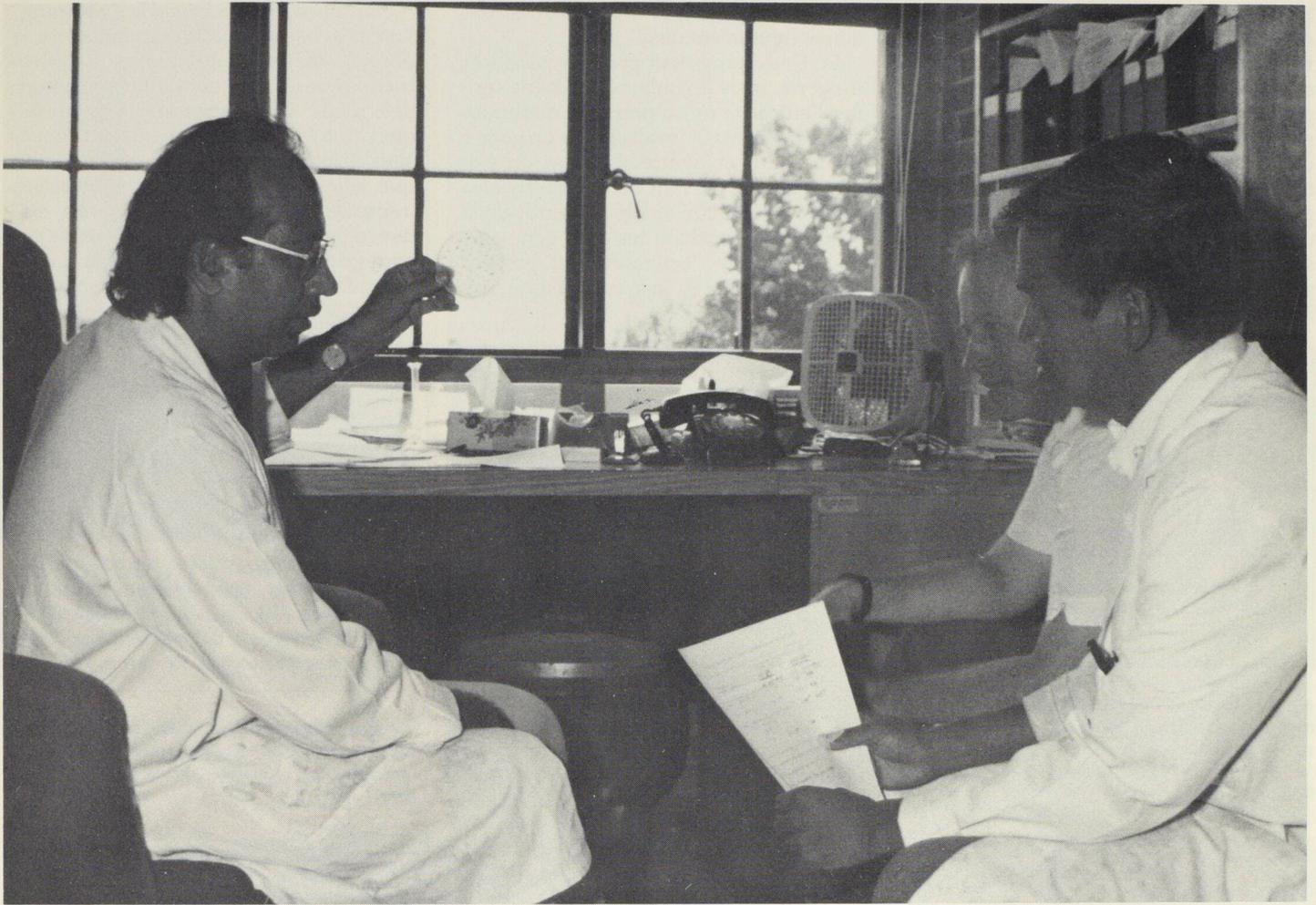
John Bianchi

Le gène opérateur. Ce 'duplex' d'ADN (comprenant les deux brins) d'une longueur de 21 bases a été le premier gène artificiel à pouvoir s'exprimer comme son homologue naturel. Ce gène appelé opérateur ne code pas pour une séquence d'acides aminés, mais il intervient dans la régulation de l'expression d'un gène rencontré chez la bactérie *E. coli*. Il a été synthétisé par les Drs Saran Narang, Keichi Itakura et Nobuya Katagiri, en 1975.

Le Dr Joseph Michniewicz fait partie de l'équipe du Dr Narang depuis le début des travaux sur la reconstitution du gène de l'insuline.



Dan Getz



Le Dr Narang en compagnie de ses collègues du CNRC, les Drs Roland Brousseau et Wing Sung.

tosine à la guanine. C'est le gène opérateur reconstitué par le Dr Gilbert.

"Nous l'avons fabriqué en moins de quatre mois", dit-il. "Avec l'ancienne méthode nous aurions mis au moins deux ans et le rendement aurait été bien inférieur. Nous avons dû reconstituer les deux brins complémentaires pour obtenir le gène tel qu'il se présente naturellement. Cette chaîne naturelle s'appelle 'duplex d'ADN'."

Le gène synthétisé au Canada fut expédié au Dr Ray Wu, de l'Université Cornell, à Ithaca, dans l'État de New York. Celui-ci démontra clairement que le gène synthétique se fixait exclusivement au répresseur et que le lactose altérerait cette liaison. C'était le premier gène synthétique qui manifestait la même activité biologique que son homologue naturel.

Cette expérience réalisée en collaboration avec le Dr Wu ouvrit la voie à une série de travaux conjoints entre les laboratoires d'Ottawa et l'Université Cornell. Leur aboutissement fut la mise au point d'une bactérie capable de synthétiser de l'insuline. Grâce à sa connaissance

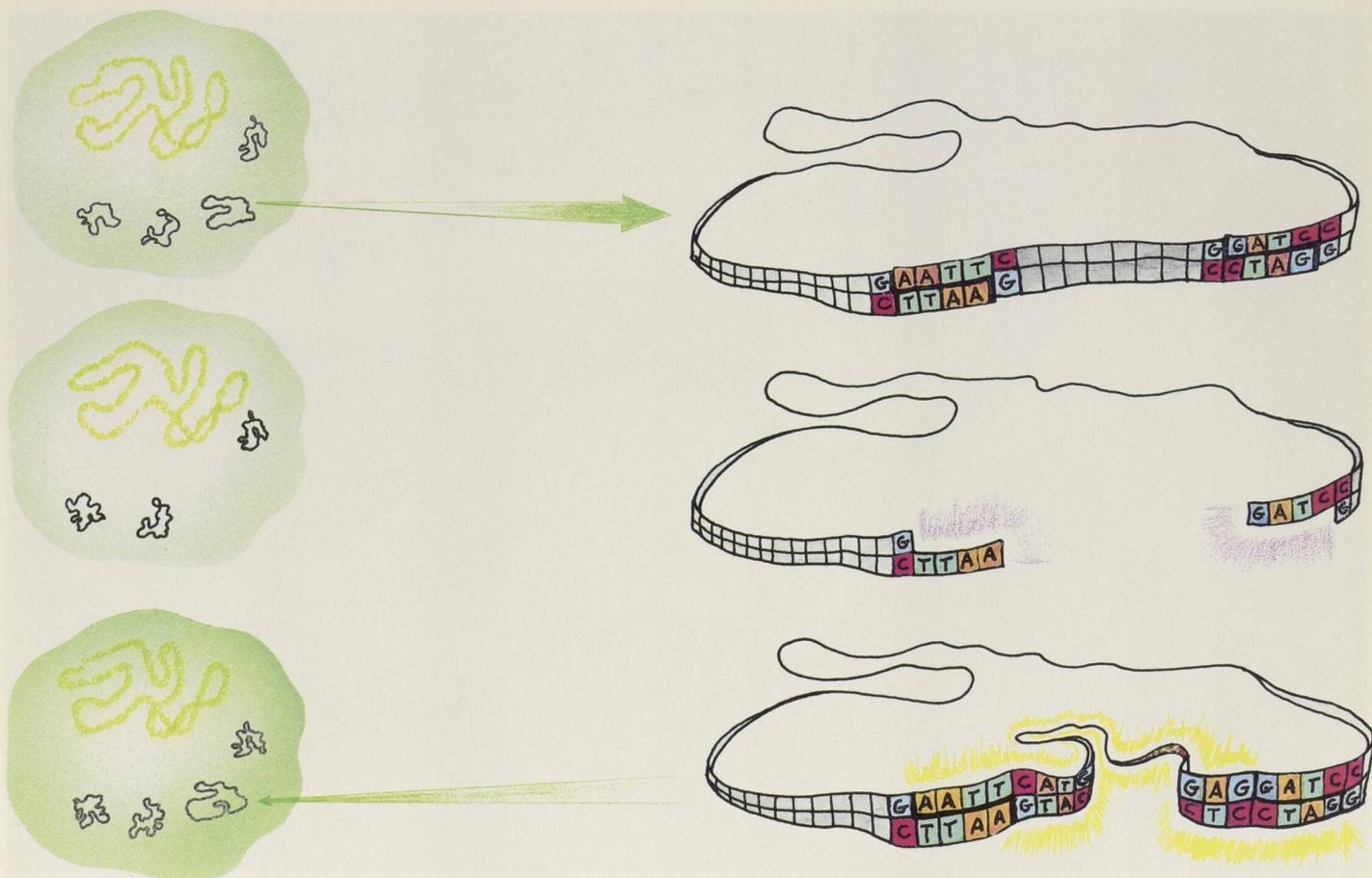
approfondie des systèmes enzymatiques bactériens et notamment des enzymes intervenant dans la formation ou la rupture des liaisons entre nucléotides, le Dr Wu apporta une contribution essentielle aux travaux du Dr Narang. Au cours des années 70, le Dr Wu et le Dr Fred Sanger, biochimiste britannique, mirent au point une méthode rapide pour mettre en évidence la séquence de nucléotides dans l'ADN. Cette méthode, qui représente l'une des importantes percées accomplies en biologie moléculaire au cours de la décennie en question, est appelée 'analyse en deux dimensions' et consiste à détacher à l'aide d'enzymes les bases d'un échantillon d'ADN puis à les identifier d'après la direction qu'elles prennent sous l'effet de champs électriques et de solvants spéciaux. "Nous avons besoin d'un procédé de vérification rapide et précis comme celui-ci", ajoute le Dr Narang. "En fait, il suffit d'une erreur au niveau d'une seule base pour que le gène entier soit défectueux."

Les Drs Narang et Wu réalisaient que les gènes de grande taille ne pouvaient pas être reconstitués uniquement à l'aide de moyens chimiques. L'approche qui faisait intervenir la chimie des triesters permettait d'enchaîner de trente à qua-

rante bases mais, lorsque leur nombre augmentait, le rendement de cette méthode devenait trop faible. Cependant, le Dr Wu, qui disposait d'enzymes bactériennes capables de lier de petits segments d'ADN, suggéra au laboratoire d'Ottawa de reconstituer le gène de l'insuline en unités de dix à vingt bases et de les expédier à l'Université Cornell où elles seraient reliées à l'aide de 'ligases'.

Les scientifiques canadiens pouvaient ainsi, en peu de temps, obtenir un gène qu'ils auraient par la suite cloné et mis à l'épreuve à l'aide des nouvelles techniques de recombinaison génétique. Ces techniques s'appuient sur l'utilisation de véhicules appelés plasmides et qui sont de petites boucles d'ADN, indépendantes du chromosome, rencontrées chez les bactéries. Ces plasmides peuvent être non seulement retirés des cellules bactériennes puis réintroduits sans que la salinité du milieu ne soit trop modifiée, mais également coupés à l'aide d'enzymes spéciales. Ceci permet l'insertion de segments d'ADN étrangers dans le plasmide ainsi 'recombiné' que la bactérie peut cloner par la suite en se reproduisant.

"Ces enzymes spéciales, appelées 'endonucléases de restriction'", explique le Dr Narang, "ne coupent l'ADN



qu'en des points 'cibles' très précis sur l'hélice. La coupure qui en résulte est en escalier et divise la molécule à un niveau où la séquence des bases attachées à l'un des brins est l'inverse de celle des bases du brin complémentaire, comme dans un palindrome." Les deux petits segments de brins non appariés ainsi obtenus constituent les 'extrémités adhésives' du plasmide et, pour qu'un gène puisse s'y attacher, il doit être préalablement muni d'extrémités complémentaires. Le soudage est finalement réalisé à l'aide d'enzymes.

Rendons la parole au Dr Narang: "Ces enzymes et les raccords faciles à synthétiser et qui interviennent dans le soudage de différents segments d'ADN sont les instruments de base de cette technologie. Ils nous permettent en sorte de greffer des gènes et de créer des plasmides recombinés avec une énorme précision."

Il ouvre un tiroir et en sort un autre schéma. Celui-ci représente un cercle divisé en plusieurs segments identifiés par d'étranges abréviations. On a l'impression d'examiner un engin étrange et ésotérique. "C'est le plasmide qui a produit la protéine figurant sur la photomicrographie", précise-t-il.

Le Dr Narang se lève et s'approche du tableau où il trace une grande lettre Z. Il

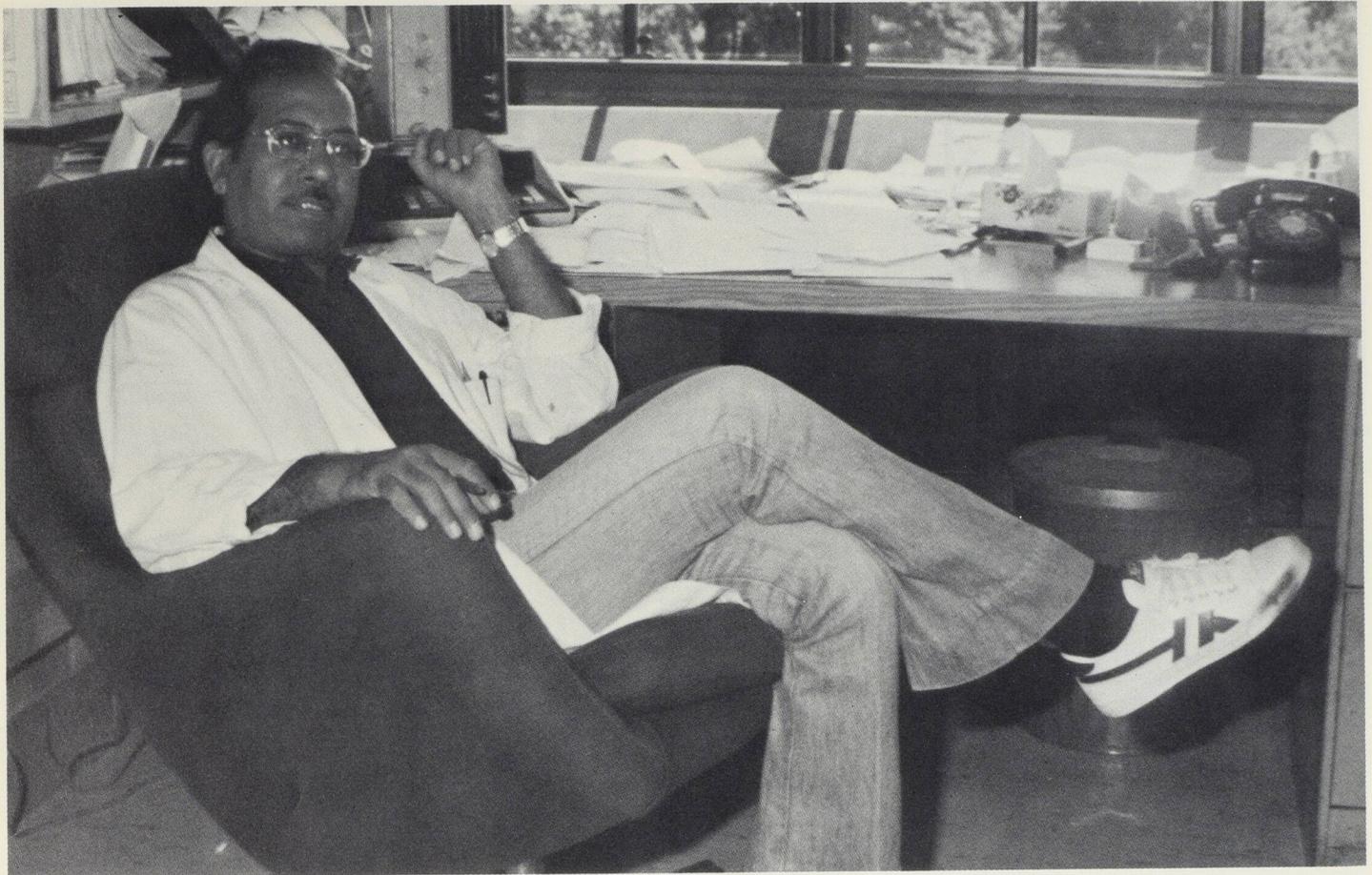
appose un B sur la barre supérieure, un C sur la barre oblique et un A sur la barre inférieure. "Lorsque l'ARN messager qui porte le code de l'insuline est traduit en protéines dans nos cellules pancréatiques", explique-t-il, "on obtient d'abord une molécule linéaire composée des acides aminés BCA que l'on appelle pro-insuline. Mais, sous l'effet de forces stériques, intervenant dans la molécule même, elle se replie en forme de Z. Lorsque ceci se produit, des enzymes forment deux liaisons disulfures entre les chaînes A et B, et la chaîne C se détache du centre..." Le Dr Narang efface la barre du milieu et relie les lettres A et B par deux ponts -s-s- tracés à la craie rouge, "... et l'on obtient l'insuline active. La chaîne centrale ne sert qu'à orienter les segments A et B pour faciliter la formation des liaisons disulfures."

Pour arriver à l'insuline, il fallait donc produire d'abord de la pro-insuline. Les Drs Narang et Wu ne doutaient pas de la capacité d'*E. coli* de cloner le gène de grande taille qui code pour cette protéine, mais ils n'étaient pas sûrs que la bactérie aurait traduit son message génétique pour donner l'hormone recherchée. "Même si ceci avait été possible", reprend le Dr Narang, "nous nous attendions à ce qu'elle fût détruite par les enzymes bactériennes chargées de se

Pour insérer des gènes dans le matériel génétique d'une bactérie on extrait de cette cellule une petite boucle d'ADN, appelée plasmide, que l'on ouvre à l'aide d'enzymes spéciales. Ces enzymes coupent la molécule à un niveau où la séquence des bases attachées à l'un des brins est l'inverse de celle des bases du brin complémentaire. À chaque point d'ouverture on obtient un palindrome. Une fois ouvert, le plasmide ou 'véhicule de clonage' perd un fragment d'ADN et se trouve ainsi affecté de deux extrémités adhésives. Pour qu'un gène puisse se fixer à un plasmide, il suffit de faire en sorte que ses extrémités 's'adaptent' aux extrémités adhésives de ce dernier. Ceci fait, on le soude à l'aide de 'ligases' et le plasmide recombiné est ainsi refermé puis réintroduit dans la bactérie. Celle-ci reproduit le gène étranger en se multipliant et, comme dans le cas du gène de la pro-insuline, elle traduit le message génétique qu'il comporte en protéines.

débarrasser des protéines 'étrangères'."

Ils entreprirent toutefois la reconstitution du gène de la pro-insuline. Les chercheurs d'Ottawa se chargèrent de synthétiser les différents segments et les scientifiques de Cornell eurent pour tâche de les relier entre eux à l'aide de ligases. D'autres laboratoires, comme ceux du Dr Walter Gilbert et de Howard Goodman, de l'Université de la Californie



nie, essayaient également de cloner le gène de la pro-insuline. Cependant, ils utilisaient pour cela un gène reconstitué à partir de l'ARN messager correspondant, prélevé sur une cellule vivante. Or, cette approche qui comportait l'extraction de matériel génétique suivie de l'insertion du gène dans un plasmide à l'aide d'enzymes engendrait des problèmes de tout ordre. (Voir encadré p.22).

Le gène codant pour la pro-insuline que les Drs Narang et Wu reconstituèrent éventuellement était compris dans une double hélice d'ADN, ou duplex d'ADN, de 258 bases. Pour obtenir le matériel nécessaire à la synthèse d'une aussi longue molécule, ils clonèrent les chaînes individuelles au moyen de plasmides. Ces premières expériences ont permis à l'équipe du Dr Wu d'acquiescer une grande expérience sur le plan de la manipulation de ces véhicules et de l'exploitation des bactéries qui les contiennent. Mais au départ, ce domaine était si nouveau que presque tous les chercheurs ne pouvaient prétendre qu'au titre d'amateur.

"Nous avons d'abord cloné le gène qui codait pour la chaîne A", poursuit le Dr Narang. "C'était le plus court des trois. Avant de cloner un gène on doit s'assurer qu'il est compris entre deux triplets d'ADN: ATG et TGA. Ces triplets sont les signaux universels qui donnent à la

L'un des premiers objectifs du Dr Saran Narang était de synthétiser un gène de grande taille capable de s'exprimer comme un gène naturel.

machinerie de traduction bactérienne l'ordre de commencer ou d'arrêter la synthèse de la chaîne d'acides aminés pour laquelle le gène code. À chaque extrémité de cet enchaînement il faut également attacher les cibles que les enzymes de restriction reconnaissent sur le plasmide."

Finalement, on réussit à obtenir des quantités suffisantes de gènes codant pour ces trois chaînes et le Dr Wu fut alors en mesure de réaliser leur liaison et de reconstituer le gène de la pro-insuline qui correspondait à la chaîne B-C-A. Avec ses signaux de départ et d'arrêt et ses régions cibles qui servent également de raccord, le gène atteignait une longueur totale de 277 bases, ce qui en faisait un des plus longs à avoir été synthétisés. Le Dr Wu et ses collègues l'insérèrent dans un plasmide qu'ils introduisirent par la suite dans *E. coli*. Il ne leur restait plus qu'à attendre pour voir l'aboutissement de trois années de travail se concrétiser.

Le Dr Narang se souvient de la tension qui régnait au laboratoire de l'Université Cornell lorsque les chercheurs essayaient de mettre en évidence des

cultures d'*E. coli* capables de cloner le gène en question. "Finalement, une bactérie qui répondait à la tâche fut repérée. Même si les travaux du Dr Gilbert utilisant un gène naturel indiquaient que ceci était possible, nous ne pouvions nous en assurer avant de l'avoir nous-mêmes vérifié. De plus, nous avons démontré qu'*E. coli* traduisait également le gène en protéines, quoique le rendement obtenu ne fut pas trop élevé."

Le Dr Narang se renverse dans son fauteuil et savoure le souvenir de ses premiers succès. Il est vrai que le Dr Gilbert a été le premier à produire de la pro-insuline à l'aide de bactéries, mais il s'est servi pour cela d'un gène naturel alors que l'équipe de chercheurs d'Ottawa et de l'Université Cornell ont utilisé un gène entièrement reconstitué. D'autres laboratoires, notamment ceux de la compagnie pharmaceutique Eli Lilly, ont également réussi à synthétiser cette hormone, mais leur méthode qui est plus coûteuse consiste à produire les chaînes A et B séparément à l'aide de bactéries, puis à les joindre chimiquement. Cette compagnie a, par ailleurs, démontré clairement que l'insuline humaine produite par des bactéries s'avère efficace dans le traitement du diabète.

Bien que nombre de problèmes aient déjà été résolus, les scientifiques ont encore du chemin à faire avant que la production d'insuline synthétique atteigne



Des chauves-souris pour tous les goûts

par Margaret Shibley Simmons,
en collaboration avec M. Brock Fenton
Adaptation française: Line Bastrash

Les chauves-souris, ces créatures entourées de mystère et de superstitions qui sortent au crépuscule pour trouver leur nourriture, intriguent et effraient les gens depuis des siècles. Les progrès de la Science moderne nous permettent toutefois de mieux comprendre leur comportement et leur physiologie. Déjà, il y a quelque 200 ans, un savant italien du nom de Lasarro Spallanzani concluait à la suite d'expériences simples que les chauves-souris "voyaient" avec leurs oreilles; il a fallu attendre 150 ans avant que les chercheurs ne soient en mesure d'expliquer comment elles y parvenaient. Dans les années 1930, Donald E. Griffin et ses collègues de l'Université Harvard ont découvert, en se servant de microphones sensibles aux sons à haute fréquence, que les chauves-souris émettent des impulsions ultrasonores et se guident sur la différence d'intensité entre l'impulsion originale et son écho pour détecter les objets se trouvant sur leur passage. Le

sonar, qui permet aux sous-marins de manoeuvrer dans les profondeurs océaniques, applique le même principe. Griffin et son équipe ont inventé le mot "écholocation", remplacé depuis par "vision sonar", pour désigner ce phénomène. La plupart des travaux récents dans ce domaine ont été effectués par le Dr M. Brock Fenton, de l'Université Carleton. Les chauves-souris photographiées ici ne représentent que quelques-unes de ses nombreuses amies.

L'écholocation est une méthode très utile pour se déplacer dans l'obscurité. Bien que nous ne sachions pas avec certitude de quelle façon les chauves-souris analysent les signaux ultrasonores, nous savons à quelle distance elles peuvent détecter leurs cibles et quel pouvoir de résolution elles peuvent atteindre. À mesure qu'elles approchent d'une cible, elles accélèrent habituellement la fréquence de leurs signaux ultrasonores, qui peut passer de 50 à 100 impulsions par seconde chez certaines espèces; le mode d'émission peut également varier, les impulsions se faisant en règle générale plus courtes et couvrant une gamme plus large de fréquences. Elles peuvent

*Les cris d'écholocation de la chauve-souris tachetée (*Euderma maculatum*) sont audibles pour la plupart des gens. Cette chauve-souris se sert de l'écholocation pour chasser et pour communiquer avec d'autres chauves-souris tachetées.*

même produire des harmoniques, ce qui leur permet d'augmenter la largeur de bande des signaux émis et, par conséquent, leur pouvoir de résolution. L'intensité de leurs cris varie également de façon considérable. Certaines chauves-souris émettent des signaux très intenses de plus de 110 dB (mesure prise à 10 cm de leur bouche); d'autres produisent des cris de 60 à 80 dB. Il faut se rappeler que les décibels sont mesurés selon une échelle logarithmique: un bruit de 60 dB équivaut au niveau sonore d'une conversation chuchotée à 10 cm de votre oreille; un bruit de 100 dB correspond au son perçant d'un avertisseur d'incendie déclenché à 10 cm de votre oreille.

Les chauves-souris se servent de l'écholocation pour s'orienter, chasser, communiquer, mais elles ne l'utilisent pas toutes de la même façon, ni pour les mêmes raisons. Par exemple, *Epompho-*

Les chauves-souris ont un problème commun avec les politiciens: elles ont mauvaise presse. Cependant, dans leur cas, c'est souvent à tort. C'est pour dissiper tous ces préjugés à leur égard que la Commission de la Capitale nationale organise depuis quatre ans des randonnées d'interprétation pour informer la population sur les chauves-souris. Ici, Brock Fenton se sert d'un microphone pour amplifier les cris d'écholocation d'une chauve-souris.

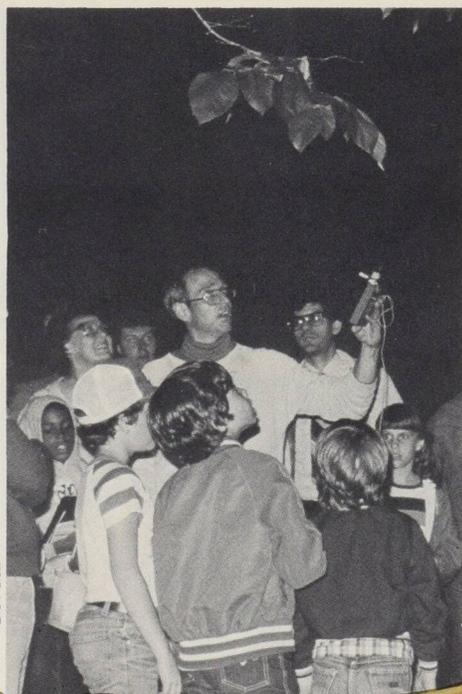
rus gambianus (figure 1) ne pratique pas l'écholocation et doit s'en remettre à ses yeux et à son sens olfactif très développé pour repérer les fruits mûrs dont elle se nourrit. D'autres chauves-souris ont recours à l'écholocation pour s'orienter mais chassent en silence (sans écholocation), se fiant à leurs yeux (*Macrotus californicus*, figure 2) ou aux sons émis par leurs proies (*Antrozous pallidus*, figure 3; *Megaderma lyra*, figure 4; *Nycteris thebaica*, figure 5).

Si l'écholocation leur est si utile pour s'orienter, pourquoi donc les chauves-souris ne s'en servent-elles par toujours? La réponse est simple: elles ne tiennent pas à révéler leurs propres coordonnées.

Il existe, après tout, un certain nombre de chauves-souris tropicales qui mangent leurs semblables. Une chauve-souris avertie ne va certainement pas diffuser en continu l'in-

formation qui risque d'attirer l'attention de prédateurs éventuels et d'avertir sa proie de sa présence. En effet, de nombreux insectes émettent des sons à haute fréquence pour communiquer entre eux, soit pour s'éviter, soit pour localiser un partenaire, et une grande variété de papillons de nuit et quelques libellules peuvent capter les fréquences émises par les chauves-souris. Lorsqu'il entend un faible cri d'écholocation, l'un de ces papillons fait demi-tour et prend une direction opposée. Si le cri est intense, indiquant la proximité de la chauve-souris, il replie ses ailes et se laisse tomber sur le sol d'un trait. Un papillon déjà au sol réagit à l'approche d'une chauve-souris en s'agrippant et en rapprochant son corps du sol. C'est pourquoi de nombreuses chauves-souris préfèrent n'utiliser l'écholocation que lorsque cela est vraiment nécessaire et rarement pour chasser.

Un papillon au sol présente à la chauve-souris un problème de repérage différent de celui de la poursuite d'une proie en vol. Un insecte qui vole se distingue facilement du milieu environnant: ou bien les cris émis par la chauve-souris sont réfléchis par l'insecte, ou bien ils continuent à se propager dans l'air ambiant et la chauve-souris perçoit immédiatement la différence. Il n'en va pas de même pour un papillon posé sur le sol ou sur un tronc d'arbre où il n'existe qu'une différence minime entre le son réfléchi par la cible et celui du milieu environnant. La tâche de la



G. P. Bell

yeux lorsque le degré de lumière est suffisant.

Les chauves-souris utilisent également l'écholocation pour communiquer entre elles. Qu'elle soit à la recherche d'une proie, en route vers son perchoir, à la recherche d'un partenaire ou d'un lieu d'hibernation, la petite chauve-souris brune (*Myotis lucifugus*, figure 6) se dirige vers les haut-parleurs lorsque l'on fait jouer un enregistrement des cris d'écholocation de petites chauves-souris brunes. Les chauves-souris tachetées (*Eudermma maculatum*, voir photo à la page 28) se servent de l'écholocation pour identifier leurs congénères, mais pas nécessairement pour les rencontrer. Elles l'utilisent pour espacer leurs aires de chasse, particulièrement dans les régions où la densité des proies est peu élevée. En réponse à des signaux enregistrés, elles quittent le secteur, ce qui est logique lorsque l'on sait que l'écholocation est utilisée comme un moyen de répartir leur population.

L'univers d'obscurité dans lequel vit la chauve-souris est rempli d'exemples intéressants de la façon dont la technique d'écholocation a été raffinée pour des utilisations propres à chaque espèce. *Rhinolophus simulator* (figure 7), d'Afrique du Sud, se guide sur l'écho à effet Doppler provoqué par les battements d'ailes de sa proie, stratégie qui a été élaborée il y a quelque 60 millions d'années. *Nycteris grandis* (figure 8), également d'Afrique, repère les grenouilles

Faux vampire de l'Inde (*Megaderma lyra*).

chauve-souris est alors beaucoup plus difficile. Les chauves-souris qui font la chasse à des proies stationnaires sont dites "glaneuses". *Antrozous pallidus* (figure 3), qui fait partie de cette catégorie, préfère utiliser les sons produits par l'insecte lui-même pour le localiser. *Macrotus californicus* (figure 2), bien qu'elle puisse utiliser l'écholocation pour localiser une cible stationnaire, se sert de ses

mâles par leurs coassements lors de la saison des amours et émet des signaux d'écholocation pour reconnaître l'environnement de sa proie. Finalement, la pipistrelle de l'Est (*Pipistrellus subflavus*, figure 9), d'Amérique du Nord, possède une vue perçante, contredisant l'aphorisme "aveugle comme une chauve-souris". Bref, il y a des chauves-souris pour tous les goûts...

M.B. Fenton

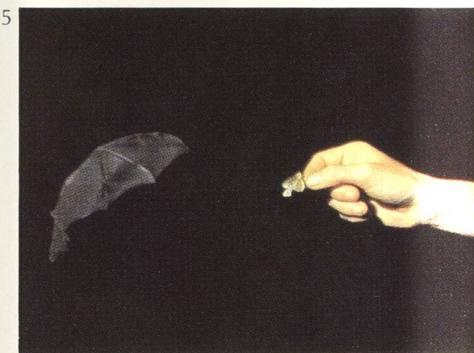
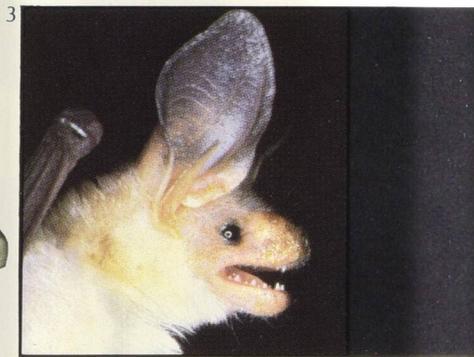


1-*Epomphorus gambianus* ne pratique pas l'écholocation et doit s'en remettre à ses yeux et à son sens olfactif très développé pour repérer les fruits mûrs dont elle se nourrit.

2-*Macrotus californicus* se sert de ses yeux pour trouver sa nourriture lorsque le degré de lumière est suffisant, c'est-à-dire un degré de lumière équivalent à une nuit brillamment éclairée par les étoiles. Combien d'insectes pourriez-vous attraper par une telle nuit? Lorsque l'obscurité est complète, elle a recours à l'écholocation.

3-*Antrozous pallidus*, du Nouveau-Mexique, utilise l'écholocation pour reconnaître son terrain de chasse. Toutefois, pour repérer une proie éventuelle, elle s'en remet aux sons produits par celle-ci. En effet, de nombreux insectes doivent réchauffer leur corps avant de s'envoler dans la nuit et ils le font habituellement en faisant vibrer leurs ailes; la chauve-souris peut ainsi localiser rapidement les papillons de nuit et amorcer une approche silencieuse (sans écholocation) pour les attraper.

4-Le faux vampire de l'Inde (*Megaderma lyra*) possède un système d'écholocation bien développé mais préfère se guider sur les sons émis par sa proie lorsqu'il chasse.



5-Cette nyctère de la Thébaïde (*Nycteris thebaica*), d'Égypte, fonce sur un papillon de nuit qui bat frénétiquement des ailes pour s'échapper. A ce stade de son attaque, cette chauve-souris émet des cris d'écholocation mais elle se sert des sons provenant du papillon pour le localiser.

6-Le principe de l'écholocation demeure fondamentalement le même mais les caractéristiques de son application varient presque autant que le faciès des chauves-souris photographiées ici. Ce faciès d'aspect crépu appartient à une petite chauve-souris brune, l'espèce la plus commune au Canada et le sujet d'expérimentation des premiers travaux sur l'écholocation. Les petites chauves-souris brunes utilisent l'écholocation pour repérer leurs proies en vol, constituées le plus souvent d'insectes aquatiques.

7-L'effet Doppler qui caractérise les échos est une source d'erreurs pour la plupart des chauves-souris; ce phénomène est toutefois atténué par l'utilisation de signaux couvrant une très large gamme de fréquences. Cette *Rhinolophus simulator*, du Zimbabwe, peut orienter sa cochlée par un procédé mécanique et neurologique, ce qui lui permet d'utiliser un cri de bande extrêmement étroite et d'exploiter les échos à effet Doppler provoqués par les battements d'ailes de sa proie.

8-*Nycteris grandis*, commune dans certaines parties de l'Afrique, possède un régime alimentaire remarquablement varié: chauves-souris, poissons, grenouilles, oiseaux et insectes. Elle utilise l'écholocation pour reconnaître l'environnement de sa victime.

9-Les grands yeux qui ornent la face souriante de cette pipistrelle de l'Est, chauve-souris très répandue mais peu connue de l'est de l'Amérique du Nord, démentent l'expression "aveugle comme une chauve-souris". Cette chauve-souris se sert également de l'écholocation pour chasser mais sa vision est amplement suffisante.

ARTICLES



Acoustique

Des ultrasons pour explorer le monde microscopique. Une nouvelle microscopie. **15(5)**: 22-27.
Installations stéréophoniques. Des goûts et des sons, on ne discute pas. **15(4)**: 28-31.
Les secrets de l'acier. **15(4)**: 8-11.
Sonder les cœurs. L'ultracoustique: une nouvelle thérapie. **15(4)**: 23-27.

Agriculture

Cultiver dans les régions froides. Le défi nordique de l'agriculture. **15(5)**: 10-17.
Les caractères cachés des plantes des Prairies. Nouveaux outils d'investigation. **15(2)**: 28-31.

Algues marines

À la recherche d'une insaisissable femelle. Découverte du cycle évolutif de la dulse. **15(1)**: 23-25.

Analyse des gaz

Il flaire le danger. **15(3)**: 26-27.
La cinquième génération. **15(1)**: 7-11.

Astronomie

L'âge de l'univers. Une remontée dans le temps jusqu'au big bang initial. **15(2)**: 10-17.
Prévisions: Vents forts et pluies de méthane. **15(3)**: 12-13.

Aurore boréale

Nouveau regard sur notre planète. Le Dynamics Explorer en orbite. **15(2)**: 7-9.
Un coin de ciel bleu. L'étude de l'espace au voisinage de la Terre. **15(5)**: 18-21.

Biologie

À la recherche d'une insaisissable femelle. Découverte du cycle évolutif de la dulse. **15(1)**: 23-25.
Cultiver dans les régions froides. Le défi nordique de l'agriculture. **15(5)**: 10-17.
Des chauves-souris pour tous les goûts. **15(6)**: 28-30.
La poule aux oeufs d'or. **15(4)**: 17-19.
La production d'insuline humaine. **15(6)**: 18-27.
Les champignons mycorrhiziens.
Minuscules amis des plantes. **15(1)**: 18-22.
Sonder les cœurs. L'ultracoustique: une nouvelle thérapie. **15(4)**: 23-27.

Cancer

Les pions montent à l'attaque. Nouvelle thérapie anticancéreuse. **15(4)**: 12-16.
Une révolution tranquille. Le cancer au service de la Science. **15(1)**: 12-17.
Un régulateur d'origine tumorale. **15(3)**: 28-31.

Champignons

Les champignons mycorrhiziens.
Minuscules amis des plantes. **15(1)**: 18-22.

Chauves-souris

Des chauves-souris pour tous les goûts. **15(6)**: 28-30.

Chimie

La cristallographie de la glace au CNRC. Le halo de Scheiner, les anneaux de Saturne et la glace IX. **15(6)**: 8-10.
Les microplaquettes de l'avenir. Des cristaux aux propriétés uniques. **15(3)**: 18-22.

Économie de carburant

Les économiseurs d'essence. Un attrape-nigaud? **15(3)**: 23-25.

Énergie

Avec ÉOLE. Face aux vents de la Gaspésie. **15(5)**: 22-27.
Les économiseurs d'essence. Un attrape-nigaud? **15(3)**: 23-25.

Énergie éolienne

Avec Éole. Face aux vents de la Gaspésie. **15(5)**: 22-27.

Génie génétique

Les caractères cachés des plantes des Prairies. Nouveaux outils d'investigation. **15(2)**: 28-31.
Production d'insuline humaine. **15(6)**: 18-27.
Une révolution tranquille. Le cancer au service de la Science. **15(1)**: 12-17.

Glace

La cristallographie de la glace au CNRC. Le halo de Scheiner, les anneaux de Saturne et la glace IX. **15(6)**: 8-10.

Halo de Scheiner

La cristallographie au CNRC. Le halo de Scheiner, les anneaux de Saturne et la glace IX. **15(6)**: 8-10.

Haut-parleurs

Installations stéréophoniques. Des goûts et des sons on ne discute pas. **15(4)**: 28-31.

Immunologie

Une révolution tranquille. Le cancer au service de la Science. **15(1)**: 12-17.

Industrie

Des cerises et des hommes. **15(3)**: 16-17.
Godendards, fours à pain et galvanoplastie. Aide à la petite entreprise québécoise. **15(2)**: 18-19.
Il flaire le danger. **15(3)**: 26-27.
La poule aux oeufs d'or. **15(4)**: 17-19.
Les microplaquettes de l'avenir. Des cristaux aux propriétés uniques. **15(3)**: 18-22.
Les secrets de l'acier. **15(4)**: 8-11.
Lutte contre la fatigue des plastiques. **15(4)**: 20-22.
Motoneiges: L'équipe Bombardier championne du monde... grâce à l'aide du CNRC. **15(1)**: 26-27.

Insuline

Production d'insuline humaine. **15(6)**: 18-27.

Microcircuits

Les microplaquettes de l'avenir. Des cristaux aux propriétés uniques. **15(3)**: 18-22.

Microscopie

Des ultrasons pour explorer le monde microscopique. Une nouvelle microscopie. **15(5)**: 22-27.

Physique

La cinquième génération. **15(1)**: 7-11.

Plastiques

Lutte contre la fatigue des plastiques. **15(4)**: 20-22.

Recherche sur la lutte contre les incendies.

Recherche sur l'incendie au CNRC. Pas que de la fumée. **15(5)**: 28-31.

Robotique

Affranchir les robots. **15(6)**: 15-17.

Satellite

Le S.O.S. de l'ère spatiale. Recherche et sauvetage par satellite. **15(3)**: 9-11.
Nouveau regard sur notre planète. Le Dynamics Explorer en orbite. **15(2)**: 7-9.

Sécurité

Il flaire le danger. **15(3)**: 26-27.
L'amélioration de la sécurité aérienne. **15(1)**: 28-31.
Le S.O.S. de l'ère spatiale. Recherche et sauvetage par satellite. **15(3)**: 9-11.

Semiconducteurs

Les microplaquettes de l'avenir. Des cristaux aux propriétés uniques. **15(3)**: 18-22.

Soudage

Affranchir les robots. **15(6)**: 15-17.

Spectrométrie de masse

La cinquième génération. **15(1)**: 7-11.

Systèmes de recherche documentaire informatisés

Adieu à la corvée du "dépouillement"! La recherche assistée par ordinateur. **15(2)**: 20-24.
Un messenger électronique. **15(3)**: 14-15.

Vitamine E

La vitamine E: Une potion de jeunesse pour cellules? **15(2)**: 25-27.

Canada

347

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

