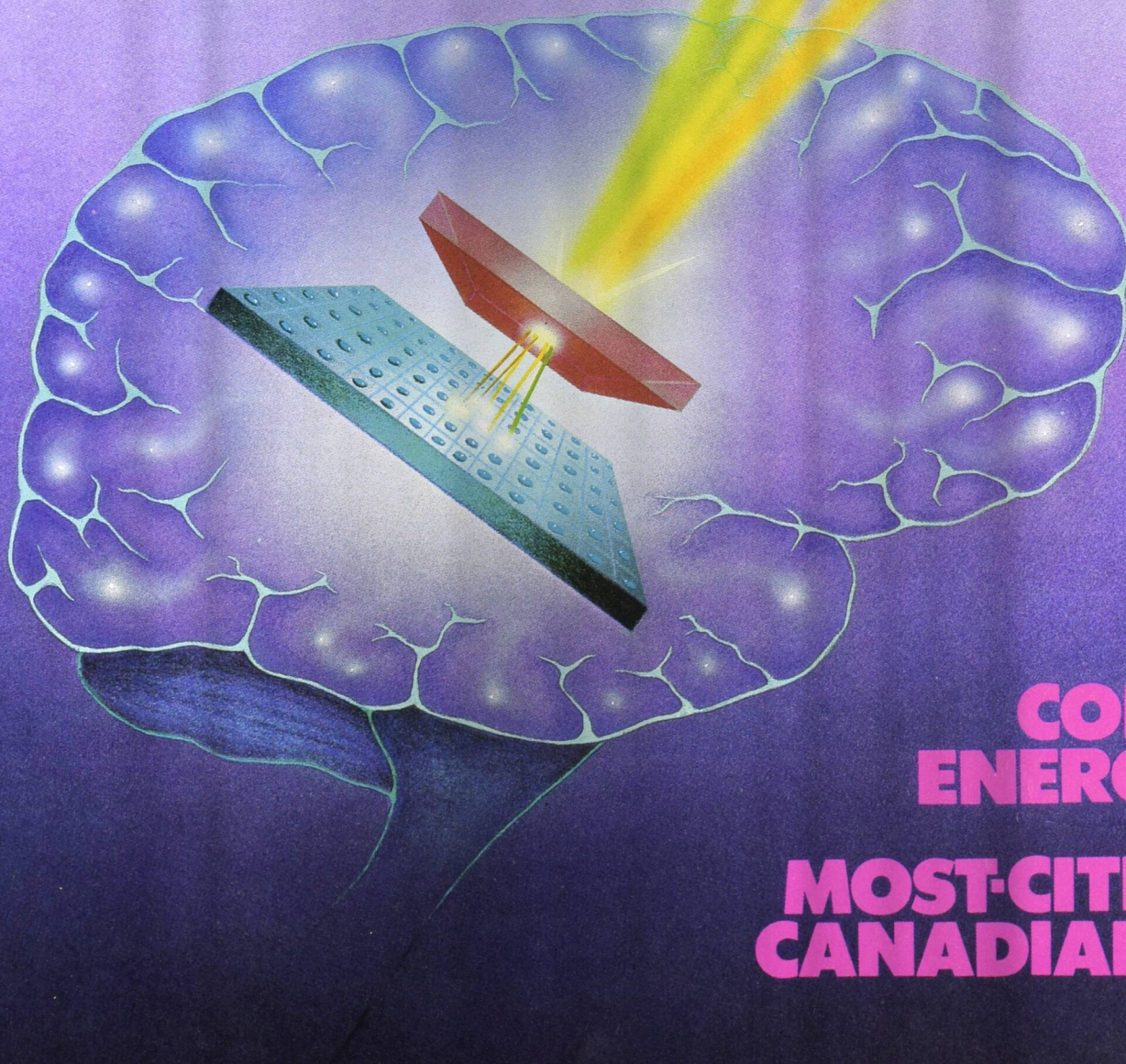


SCIENCE DIMENSION

1984/5

CRYSTAL MEMORY



**COLD
ENERGY**

**MOST-CITED
CANADIANS**

Bianchi

Dr. Tuzo Wilson : First an Educator

Teacher, traveller, and scientist, John Tuzo Wilson would be on the short list of any Who's Who of international science. Born in Ottawa in 1908, Wilson attended universities in Toronto, Cambridge, and Princeton. A love of physics, wedded to an equally strong love of the outdoors, steered him to the discipline of geophysics in 1927. Wilson says the earth is his laboratory; but when he began, so few others felt as he did that at all three of his *almae matres*, the geophysics classes he took were the first ever offered.

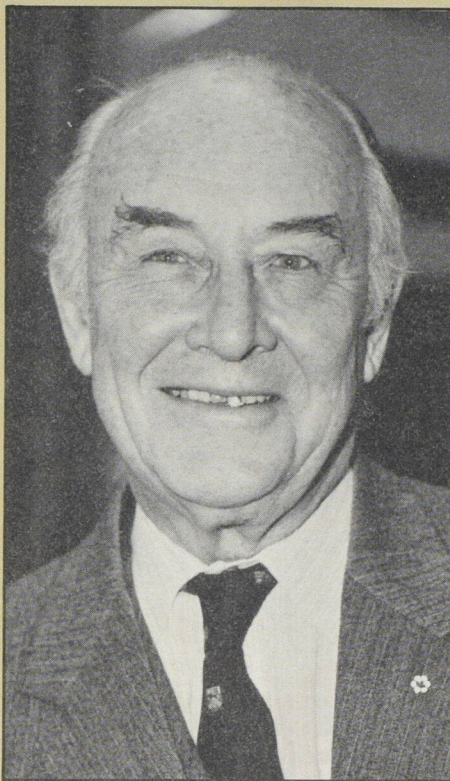
Wilson, however, has made a habit of being in the forefront of things. He was among the first to see the significance of the new geological data being gathered in the 1930s by aerial photography and, in the 1950s, by deep-sea research ships. Geology then was static, contenting itself with description; Wilson was instrumental in making it a dynamic science, based on the arresting scenario of plate tectonics — crustal plates afloat on seas of liquid rock.

In 1974, Wilson became director-general of the Ontario Science Centre (OSC) in Toronto. The OSC, Ontario's project for the Canadian Centennial, is neither a natural-history museum that catalogues species, nor a repository of science artifacts: it is the world's largest public facility for the core of science, which is experiment. Under Wilson, the OSC has branched out into teaching experiments as well, for Wilson regards himself as first and foremost an educator.

Wilson's office on the periphery of the Ontario Science Centre's office tower is fantastically cluttered: horizontal surfaces lie half a metre deep in books, while the walls have vanished behind rows of awards — the Blaylock Medal, Miller Medal, Ewing Medal, Huntsman Award, Bucher Medal, Wollaston Medal, Penrose Medal, Carty Medal, Vetlesen Prize, and the Order of Canada. Editor Bill Atkinson interviewed him there for *SCIENCE DIMENSION* in May.

Science Dimension: Dr. Wilson, how did the Ontario Science Centre evolve its experimental approach?

Wilson: By indirection. It was originally conceived of as a history-of-science museum, presenting key refurbished artifacts in the saga of science and technology.



"Experiment remains the vital thing"

But as the curators assembled their new collection, they came to realize that it would never contain really first-rate items, which were already in museums like the Smithsonian. That meant that Ontario would have had to be content with a regional museum rather than one of world class, which was deemed, wisely I think, unacceptable. At the same time, there were precedents for an institution that could instruct children and adults in an engaging way in the basic principles of science. So the Ontario Government assembled a hundred craftsmen, sat them down with scientists, and built the OSC as it is now. And it is a world-class facility.

Of course, that compresses a lot of agony! It wasn't easy to design experiments that could withstand exposure to a million visitors a year. The design manual for this place was written as it took shape. But last year we had 1.5 million visitors from 51 countries; which makes us, after the Rockies and Niagara Falls, the biggest foreign-tourist attraction in Canada.

Science Dimension: The Science Council of Canada recently issued a report on science education that recommended a much greater stress on science in Canadian schools. Do you have any comments on this report?

Wilson: It seems excellent, but I would add one element I don't recall having seen in the report summary: science, like swimming or playing the piano, can be learned only by doing. That means a lot of hands-on experiments to discover what laws the world works by. Without these experiments, you can study for years, and even get to be a competent scientific historian, without really grasping the essence of what you're studying. Science is an *activity*. It's an approach to questioning nature, by which you structure your questions so that (you hope) nature answers them unambiguously.

That must be the approach to get science into the public mind. We're not trivializing science; we're not changing it by making it popular; we're trying to



National Research
Council Canada

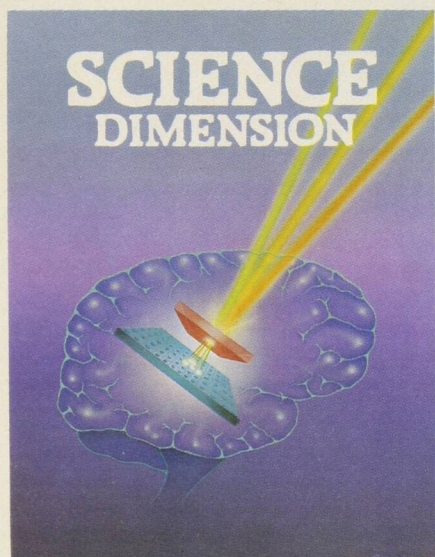
Conseil national
de recherches Canada

SCIENCE DIMENSION

VOLUME 16, NO. 5, 1984.

Editor Wayne Campbell
Acting Editor Bill Atkinson
Managing Editor Joan Borsu
Art Editor Jean L. Richard
Art Production Carisse Graphic Design Ltd.
Printed in Canada by Dollco Printing

31159-4-0011



John Bianchi

COVER

Artist John Bianchi's stylized depiction of how a fifth generation computer might store a million billion bits of information — the number of litres of water in Lake Superior — in a space one centimetre square. 'Crystal memory,' one of whose inventors is Dr. Alex Szabo of NRC, would use the wavelengths of a tuneable laser to write permanent, erasable changes in the supercomputer's random-access memory. (Story p 19)

Interview	2
Letters	4
Capsules	5
Measuring Merit Canadians in the Science Citation Index	7
Crystal Memory Thinking in light	19
Energy in Cold Storage Methane hydrates	26
Suzuki	30

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*.

Letters

IDRC and Cassava

Paul Tisdall's article about cassava in *Science Dimension* 1984/3 was very interesting. I was pleased to see Dr. Kartha (a researcher well-known at IDRC) mentioned, as well as the names of international organizations involved in the preservation of cassava germplasm.

However, I was surprised that there was no mention of the International Development Research Centre (IDRC), since it has contributed substantial assistance toward Dr. Kartha's research on cassava. Our Agriculture, Food and Nutrition Sciences Division gave the National Research Council a grant of \$49 000 (in 1978 and 1981) so that Dr. Kartha could pursue his research on the cryopreservation of cassava meristems.

Robert Charbonneau
Communications Division
IDRC
Ottawa

The 'cryopreservation' Mr. Charbonneau refers to is a technique of sudden deep-freezing of plant tissue in liquid nitrogen. Ed.

Kudos

The article "Watch on the Rain" in the 1984/2 edition of *Science Dimension* is excellent for use in the Biology 20 program in Alberta. It provides more than a textbook approach to the problem.

As well, your publication contains many articles relating to the chemistry and physics curriculum. These articles give a practical application to the study of science.

Several students read the subscription copy that comes to me at the school. Many of these students have applied for the one-year subscription that you offer.

Science Dimension is an excellent publication.

Philip Lenko
Hilltop High School
Whitecourt, Alta.

Solar Gaffe

In your recent issue of *Science Dimension*, you have an interesting article about Ground-Based Astronomy at NRC (1984, Vol. 16, No. 1). The figure on page 27 has several errors. The caption reads: "The view from Shirley's Bay: The Sun in H-alpha light...". The photograph was actually taken by Skylab astronauts orbiting above the Earth's atmosphere. The photograph as taken at a wavelength of 304 Ångströms (singly ionized helium). Radiation at this wavelength cannot penetrate the Earth's atmosphere. Photographs of the sun in H-alpha light are taken at a wavelength of 6562 Ångströms, the strongest line of hydrogen, in the red part of visible light which is able to penetrate the Earth's atmosphere to the ground. Incidentally, the photograph is also reversed.

The photograph is published, for example, in *The New Solar System* 1982, 1981 (eds. J.K. Beatty et al.) (Cambridge University Press), page 12.

It is particularly unfortunate that an article stressing ground-based astronomy should mistakenly have used a photograph obtained above the Earth's atmosphere!

P.H. Andersen
Assistant Professor
University of Manitoba
Winnipeg, Man.

Our mistake. Professor Anderson's letter arrived just after we received a telephone call from Shirley's Bay! Ed.

Kudos

I receive *Science Dimension* regularly and was very interested in the article on radio astronomy in SD 1984/3.

I have been reading your magazine for several years now, and I especially like the wide variety of articles it contains. It's a great way to keep up to date on Canadian science.

Dr. Jacques Trémolières
Mechanical Engineer
and Biologist
Stains, France



Kudos

I read with interest your article "Suzuki" in *Science Dimension*. Allow me first to congratulate you on an excellent publication and then Dr. Suzuki for the timely reminder that the basic scientific research is still the basis for which all applied applications spring. My students will not forget this. Thanks.

Isidore A. Julien
Instructor — Biology
Roxbury Community College
Boston, Mass.

Science History

As co-ordinator of the Youth Science Foundation's plans for 1985 International Youth Year, I am interested in obtaining additional information on an article which appeared in the Capsules section of Volume 16, No. 2, 1984 of the magazine.

The article entitled "History of Science and Technology in Canada" discussed a meeting held at Kingston in October 1983. Since I am now collecting historical dates in Canadian science, I would be interested in obtaining a copy of the proceedings of the meeting. If you have the name and address of a contact for this meeting, it would be most helpful.

Melissa Clark
Ottawa, Ont.

The person to write to is Professor Richard A. Jarrell, the Secretary-Treasurer of the Canadian Science and Technology Historical Association. His address is: Department of Natural Sciences, Atkinson College, York University, Downsview, Ontario M3J 2R7. Ed.

Capsules

"The Seaway" at 25

Nineteen eighty-four marks the 25th anniversary of the St. Lawrence Seaway, the system of locks, canals, and channels that permits navigation of the St. Lawrence River from Montreal to Lake Ontario, Lake Erie, and the upper Great Lakes. Before the seaway was built, NRC's Hydraulics Laboratory constructed a model of it to test all hydraulic conditions involved with the river. This section of the model represents the seaway in the Cornwall area.

Anne McIlroy is a freelance writer working in Ottawa



Water as a Cutting Tool

Ask most people what they use water for and they'll probably say "to drink, to shower in, or to keep my garden green." Ask the National Research Council's Dr. Mohan Vijay the same question and he answers "to cut through steel-reinforced concrete,

granite, aluminum and just about any other material."

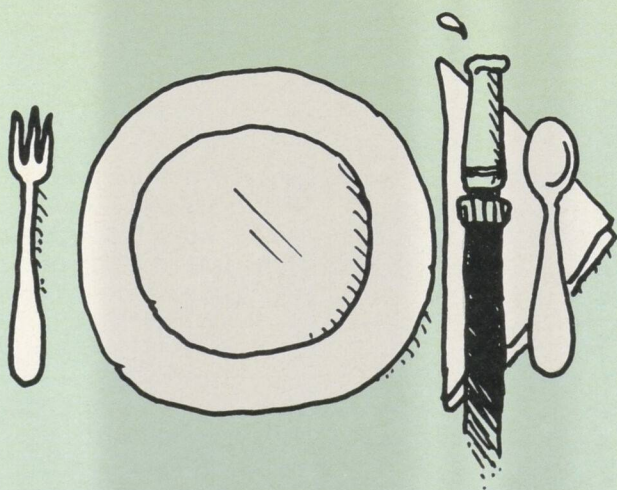
Vijay (vee-jay) works with waterjet cutters, tools whose 'blade' is a high-pressure stream of water. Engines as powerful as 150 kilowatts (200 horsepower) propel up to 80 litres of water a minute through a nozzle, which is usually thimble-shaped and varies in size from 0.076 to 0.635 millimetres in

diameter. Leaving the nozzle at pressures up to 310 megapascals (45,000 psi), the water is capable of quickly slicing through most materials without much mess, waste, or disturbance to surrounding material.

"The industrial applications for waterjet cutters are enormous," explains Vijay. "And though they've been around for more than a decade, recent developments in high-pressure pumps have made these cutters more reliable, and thus more economically feasible, than ever."

Waterjet cutters are already widely used for tough cleaning jobs (like knocking marine growth from offshore oil rigs) and are starting to be used in the mining industry. Some companies like Inco and Falconbridge are investigating their feasibility, and in the coal mines of the Kaiser Corporation in British Columbia, waterjets are now at work. Jet cutters can slice through concrete and could be of use in the construction industry, especially for disposing of the debris left when a building is torn down.

But jet cutters can also handle jobs requiring more finesse. The NRC has developed a precision instrument capable of accurately cutting fur, alu-



minum siding, rubber, and other materials. The nozzle of this instrument is made of artificial sapphire, looks like a tiny glass bead, and measures less than 0.076 mm in diameter. Vijay says the stream of water shooting out of this nozzle can cut most materials as well as a knife can,

but without many of the problems encountered in mechanical cutting. (There are no blades to dull in water-jets).

There is a growing demand for this type of precision instrument in the manufacturing sector, and the NRC has licensed a Canadian firm, Indes-

cor Hydrodynamic Inc., to produce it commercially. "This company also produces two other kinds of water-jets," says Vijay. "Their prospects are good, and already they have quite a few customers, especially from the cleaning industry."

Anne McIlroy is a freelance writer in Ottawa

A Pond Full of Fluoride

A pond in France is helping Canadian scientists learn more about fluoride pollution. Fluorides, or compounds of the element fluorine, find wide use in today's society: we use various forms of them to prevent tooth decay, power aerosol cans, smelt aluminum, and make synthetic carpets. What happens to all these fluorides once they're disposed of, however, is still largely unknown.

Most industrial fluorides go into the atmosphere and eventually fall back to Earth in rain. They then combine and recombine with other elements and compounds, ending up in the water table. But simple measurement of fluoride levels in drinking water can be misleading: fluoride also occurs naturally in certain rocks, and continually leaches into groundwater.

On average, the fluoride content of unpolluted water is around one part in 10 million (0.1 ppm). But levels 35 times higher have been recorded in industrialized areas. What might this do to plant and animal life in the food chain?

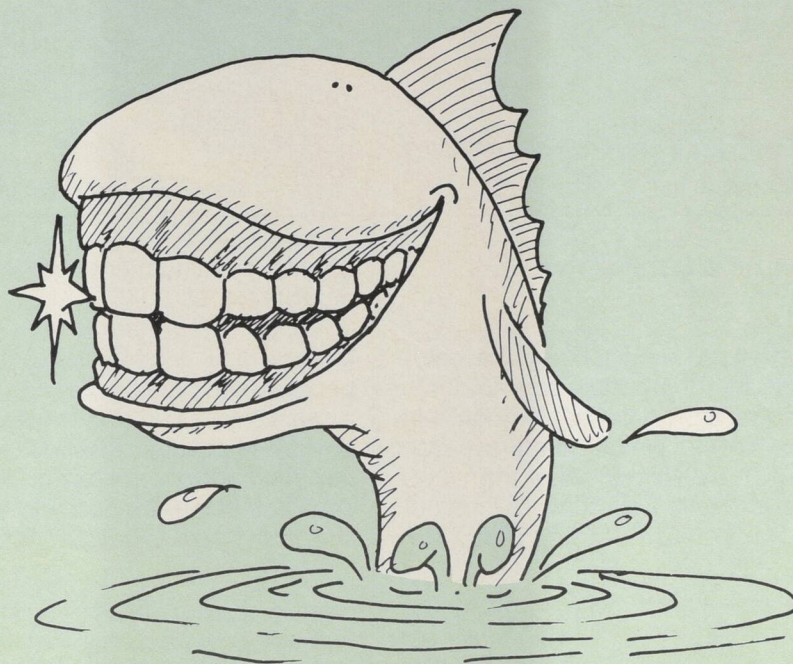
NRC researcher Akira Kudo, on loan to the Plant Biology Laboratory of the Nuclear Studies Centre in Grenoble, France, and Jean-Pierre Garrec, one of that Centre's researchers, have simulated the fluoride pollution of a pond. They dumped a massive load of ammonium fluoride into a 12-m-square pond with well-established plant and animal life, recording toxic effects of the chemical as well as its distribution and transport over 30 days. Kudo and Garrec say the pond was large enough for good experimental results, yet small enough to be observed thoroughly.

Just after the fluoride dump, the two researchers recorded a white, gelatinous substance in the pond. This

could have been calcium fluoride (CaF_2), one of the products of rapid chemical reactions which occur soon after many fluorides dissolve in groundwater. Such altered fluorides might well prove less toxic than the fluorides first dumped, because 30-day observation showed surprising-

hours after the fluoride dump, with 99.8 per cent of the chemical suspended in the water or mixed with bottom sediments, only 0.2 per cent had been taken up by living creatures.

These results contradict other findings, which show greater, faster fluoride uptake in aquatic systems. Kudo



ly little effect on pond life. Despite fluoride concentrations of up to 5 000 ppm (one part in 200) in the pond, fluorides were not taken up by organisms throughout the food chain. Fluoride penetration, in fact, was superficial more than internal. And contrary to what happens with other pollutants such as heavy metals, fluoride accumulated more in plants and green algae than in higher organisms like molluscs and fish. Twenty-four

and Garrec point out, however, that the study was done at the end of winter, when biological activity in the pond was at its lowest ebb. At such times, resistance to fluoride pollution might be high. If this is the case, then other times in the year would be more critical for the ecosystem than others. Kudo and Garrec suggest that further studies along this line could result in safe, low-cost methods of fluoride-pollution control.

Measuring Merit

Canadians in the Science Citation Index

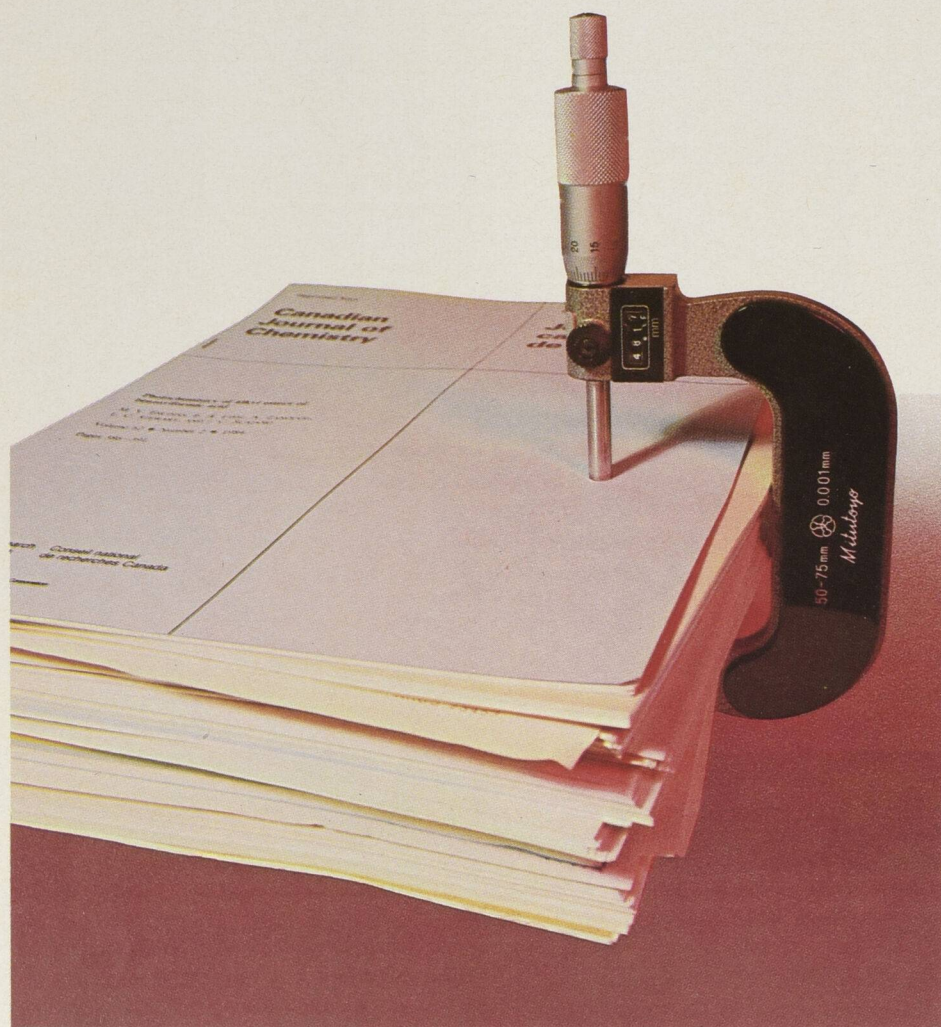
Great scientists, like great musicians and great writers, are easily recognized by their peers. They are sought by the brightest students, honored with prizes, offered prestigious appointments; and everyone seems to agree who they are.

Are the virtuosi of science identified by subjective judgments of the value of their contributions, or is there some objective way of identifying them? Can scientific merit be measured?

A scientist's job is to produce information. This product flows to others through informal channels — gossip, arguments, discussions, telephone calls — and through formal ones — books, lectures and papers. Of these, research papers in scientific journals are, by longstanding convention, the most important. Some two million scientific papers are published every year,



by Séan McCutcheon



Dan Getz

and that number is expected to double every 10 years. It is on his or her papers that a scientist's prestige is based, and the scientist who does not publish, perishes.

If the best scientists were the most prolific, then they could be ranked in order of merit by counting or weighing the papers they have authored. But there is no such simple relation between the quantity and the quality of a scientist's output.

There may seem to be rewards for turning one concise, well-reasoned paper into two or more mediocre ones. Publish or perish, runs the rule: the more papers one produces,

the more secure one's tenure. But poor research, while it may enable a scientist to keep his job longer, is unlikely to earn him peer respect. Scientists whose work is trivial and uninspired tend to be ignored.

But those whose work is imaginative and accurate are read — and heavily cited.

Doing science is a collective and cumulative activity. It begins by refuting, verifying or extending the work of others. Even Isaac Newton acknowledged this debt. "If I have seen a little further," he wrote, "it is by standing on the shoulders of giants."

Scientists today acknowledge their intellectual debts by citing, in the footnotes to their papers, the works of others. They cite those who made the pioneering discoveries in their specialty, those whose data or laboratory methods they use, those with whose results their results are consistent.

Is the frequency with which a scientist's work is cited, then, a reliable and objective measure of scientific merit?

Not necessarily. For scientists do not just cite important papers. They also cite those that are trivial and wrong. There was, for instance, a controversy a few years ago about polywater. Those who wrote on the subject were well-cited, but their work has no lasting significance: polywater, we now know, does not exist.

But there is probably no better way of quantifying a contemporary scientist's significance than by intelligently interpreting a count of the citations of his or her work that other scientists make.

Eugene Garfield, founder and publisher of *Current Contents* and *Science Citation Index* (these are bibliographic tools for scanning the flow of scientific literature) has compiled a list of the thousand most-cited authors of papers published in any scientific field between 1965 and 1978. Twenty-three of these top thousand scientists are at Canadian institutions.

In the pages that follow you will meet five of these distinguished Canadian scientists:

Phil Gold of McGill University in Montreal,
Keith Ingold of the National Research Council, Ottawa,
Howard Clark of the University of Guelph,
John Polanyi of the University of Toronto, and
Ian Smith, of the NRC in Ottawa.

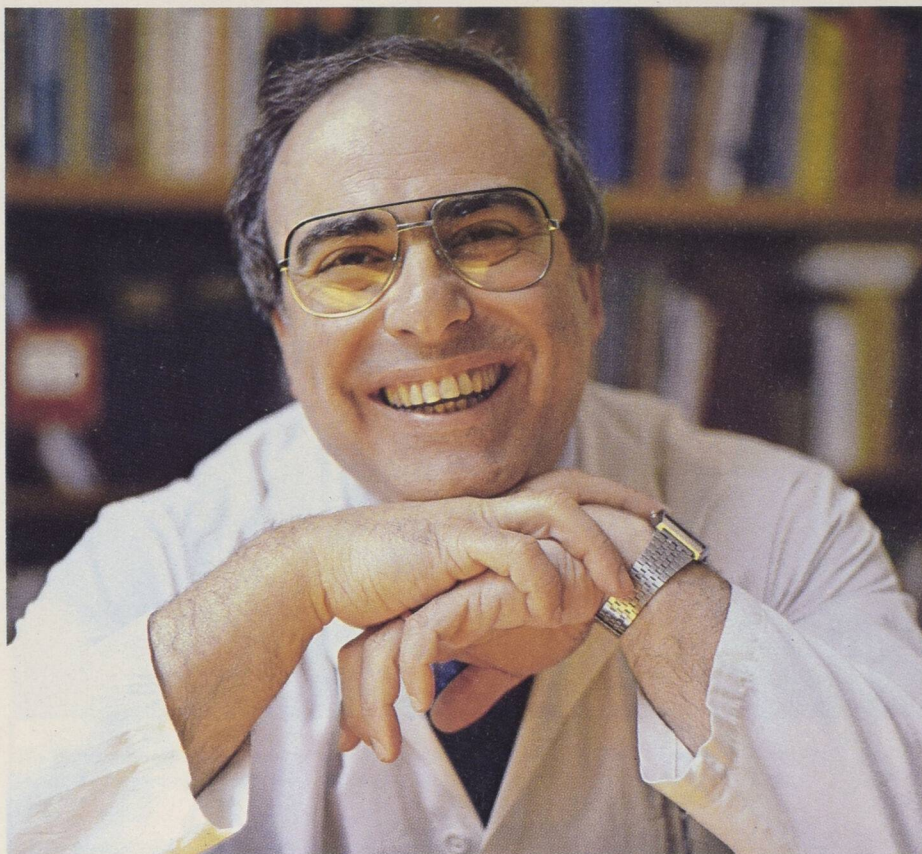
Phil Gold

*Cancer's a funny thing.
I wish I had the voice of
Homer
To sing of rectal carcinoma.
Which kills a lot more
chaps, in fact,
Than were bumped off when
Troy was sacked.*

The British philosopher J.B.S. Haldane was dying of cancer of the rectum when he wrote these brave words. Cancer is second only to heart and arterial disease as a cause of adult deaths in developed countries. The lungs, the breast and the bowels are where lethal malignancies now most frequently occur and the bowels — the lower digestive tract, to be precise, including the colon and the rectum — are becoming the dominant site of cancers in men.

Some 20 years ago, Phil Gold, then a physiology student in Montreal doing research for his Ph.D., discovered a bowel tumor marker: a substance in malignant bowel cells that did not seem to be present in normal cells — except, revealingly, those of human embryos. In exploring the implications of his discovery, Gold and others uncovered many curious facets of the biology of human cancer cells. Since the 1970s, oncologists (tumor researchers) have been guided by results from a test which probes for this tumor marker in a patient's blood serum, the first serological test for a human cancer ever developed.

Phil Gold, now 48 years old, is a friendly man of many parts: scientist, teacher, administrator, spokesman and leader in the medical research community, and physician.



Dan Getz

Phil Gold: In search of cancer's antibodies

Growing up in Montreal, his home and native city, Gold went on to McGill University after high school, where the subjects that interested him were biology and geology. When Gold was finishing his first degree Arnold Burgen, his mentor and now Sir Arnold, Master of Darwin College at Cambridge University, asked him what he wanted to do.

"Well, I suppose I'll do a Ph.D. with you," said Gold.

Replied Burgen: "You need to learn more about human physiology, and the place to do that is medical school." Thus Gold became a physician as well as a scientist.

By 1961, he earned both his M.D. and, by doing research under Burgen on hematology during the summers, his M.Sc. in physiology. (As well, he had won more than a dozen

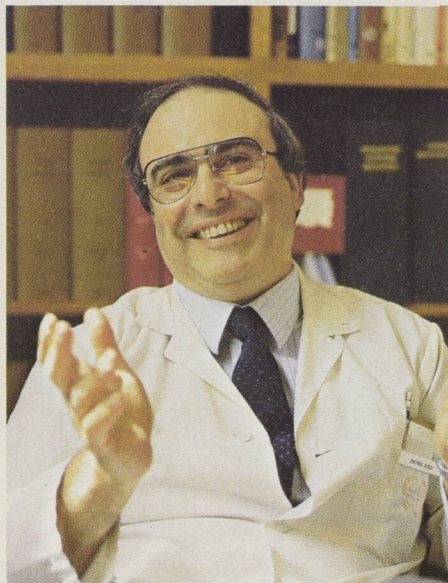
scholarships, awards, medals and prizes). Now he was looking for a research project for his Ph.D. thesis. Burgen suggested strongly that Gold continue in hematology; but with Burgen's imminent return to England Gold found a new mentor — Sam Freeman, allergist and immunologist; and a compelling new interest — cancer immunology.

Immunology is concerned with how the body recognizes and defends itself against invaders from the outside, from substances that scientists often group under the collective term, "nonself." It does this through its ability to recognize molecular structures called 'antigens'; these nonself structures, foreign to the body, cause what is called an 'immunological response' in which the system marshals 'antibodies' against the onslaught. Anti-

Genes turned off at birth turn on again in tumors

bodies are modified blood proteins that pour forth, each tailored like miniature strait jackets, to fit to antigens and thus set the invaders up for destruction by other elements of the defence system.

Cancer immunology is concerned with ways of utilizing the immune system to distinguish between malignant and normal cells, and with encouraging the body's natural defences to reject malignant cells. Only recently, in the 1950s and 1960s, were the concept and experimental techniques developed that enable researchers to probe deeply into the mysteries of cancer. The key question that many hoped to answer was: "Is the transformation of a normal cell into a cancer cell a transformation from self to nonself?" For, if the immune system were to see cancer cells as foreign cells, then the body's



Dan Getz

natural defences might be enlisted to fight cancer. Moreover, examination of the differences would provide

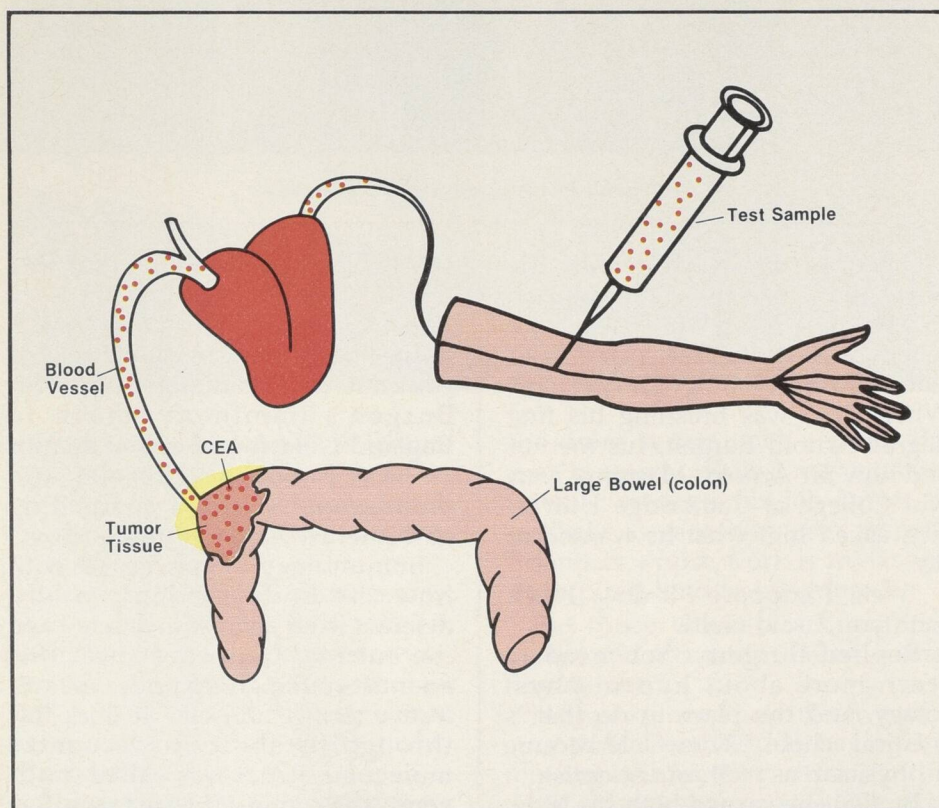
greater insights into the biological changes that occur in cancer.

Cancer immunology, then, was in a state of creative ferment when Gold chose it as his research field, and began the series of experiments that made his name in science.

In essence, what he did in these experiments was use immunological techniques to probe for differences between a malignant cell and its normal counterpart.

He injected extracts from human colons into rabbits. Rabbits injected with normal colon cells produced antibodies tailored to these normal cells. Rabbits injected with malignant colon cells, Gold reasoned, might produce antibodies to normal cells and antibodies to the malignant cells. By subtracting the first kind of antibodies from the second (by a number of sophisticated techniques), Gold ended up with antibodies *specific* to cells from human colon tumors. He had, in other words, isolated antibodies directed against antigens present on the surface of the colon tumor cells, and absent from the normal colon cells. He had found a tumor marker.

The antigens he had found seemed to be specific to malignancies; they did not show up, for instance, in benign (non-cancerous) tumors of the colon. He found them on every one of the 40 samples of colon primaries that he tested (a 'primary' tumor of the colon originates in that tissue), but not on samples of colon secondaries — not on malignancies, that is, that had spread to the colon from other sites. And, most suggestively, the tissues in which the antigens were found — those of the lower digestive tract — had all developed from the one small ball of cells in the embryo. Following this, Gold then probed *normal* cells of the digestive organs in human embryos — and here again he found his antigen. He named what he had found carcinoembryonic antigen (cancer + embryo antigen) — or CEA.



Carisse Graphic Design Ltd.

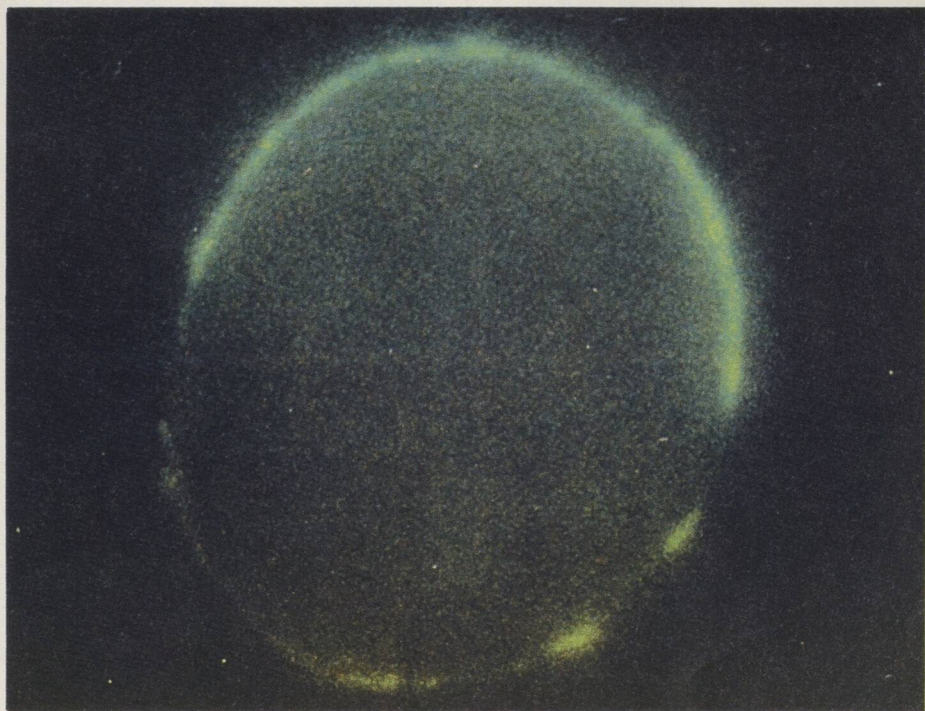
How the CEA test works. Bowel tumor cells produce a cancer-specific molecule, the CEA antigen, some of which sloughs off into the bloodstream. By taking a blood sample and exposing it to antibodies for CEA molecules, technicians can detect the disease with few false positives or false negatives.

When malignant colon cells produce carcinoembryonic antigen, then they seem to be reverting to an earlier form of behavior, manufacturing anew a substance produced in the first months of life by their own early cellular ancestors.

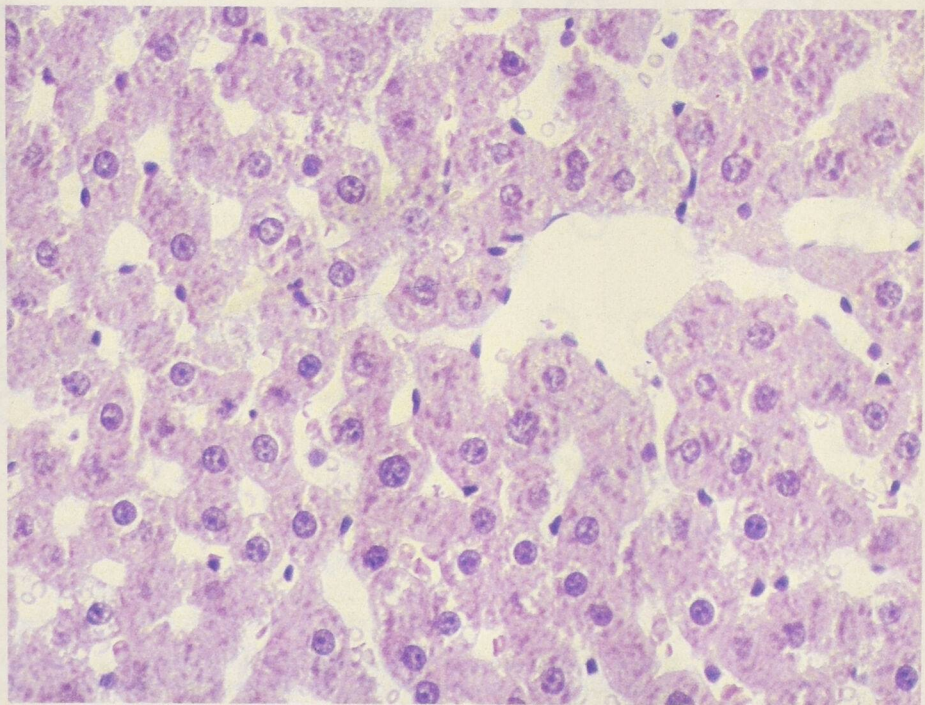
Each of us began life as a single cell, within which are all the instructions needed to construct and operate the body's many organs. When the first cell doubles, and at each redoubling of the daughter cells, the totality of genetic information is passed on in each cell. But only a fraction of the instructions inherited by any one cell is actually expressed. To specialize, as part of the brain for instance, a cell represses the instruction it contains on how to function as other tissue types in the body. "Each cell," Gold puts it, "has the information to do everything we do from cradle to grave, from womb to tomb. We specialize by learning. Cells specialize by forgetting, or suppressing information."

But a cancer cell seems to recall and revert to, in some ways at least, the behavior of its embryonic ancestors. But whereas in the developing embryo like cells readily grow and hang together (they move too, but in a carefully-controlled, poorly-understood manner), in a cancer mass, cells grow and metastasize (move about) without inhibition. But genes turned off at birth are turned on in tumors and substances such as CEA, produced in embryonic or fetal life, are produced once again. "The cancer cell is one that has moved back in time," Gold explains. "A better term than neoplasm would be archiplasm."

Why cells produce CEA remains a mystery. It may help them when they are growing rapidly, as embryonic and tumor cells do. This is what Gold and Freedman suggested in their two 1965 papers published in the *Journal of Experimental Medicine* (v.121, 439-462; v.122,



The immunofluorescence technique. A fluorescent dye, tied to the CEA molecule (see text), sticks to the outer surface of cancer cells. Normal cells cannot be fitted with exactly this type of "fluorescent ring."



A cross-section of the human bowel shows cancer growth as darkened nuclei. The CEA diagnosis permits detection of this condition in its early stages.

Cancer treatment will become so advanced that today's chemotherapy will seem like "applying leeches"

467-481) reporting the discovery of CEA.

It is because of these papers that Gold and Freedman are on the list of the thousand most-cited scientists. But their work did not, then, attract much attention. Virtually no one noticed it — at first.

Then Gold, Freedman and their co-workers found a clinical application.

After writing his Ph.D. thesis, Gold completed his medical training. Freedman, meanwhile, was assembling a team to do research at the laboratories of the Montreal General Hospital, and to practise medicine in its Allergy and Clinical Immunology Department, of which he was the head. The focus of the research was to be Gold's car-

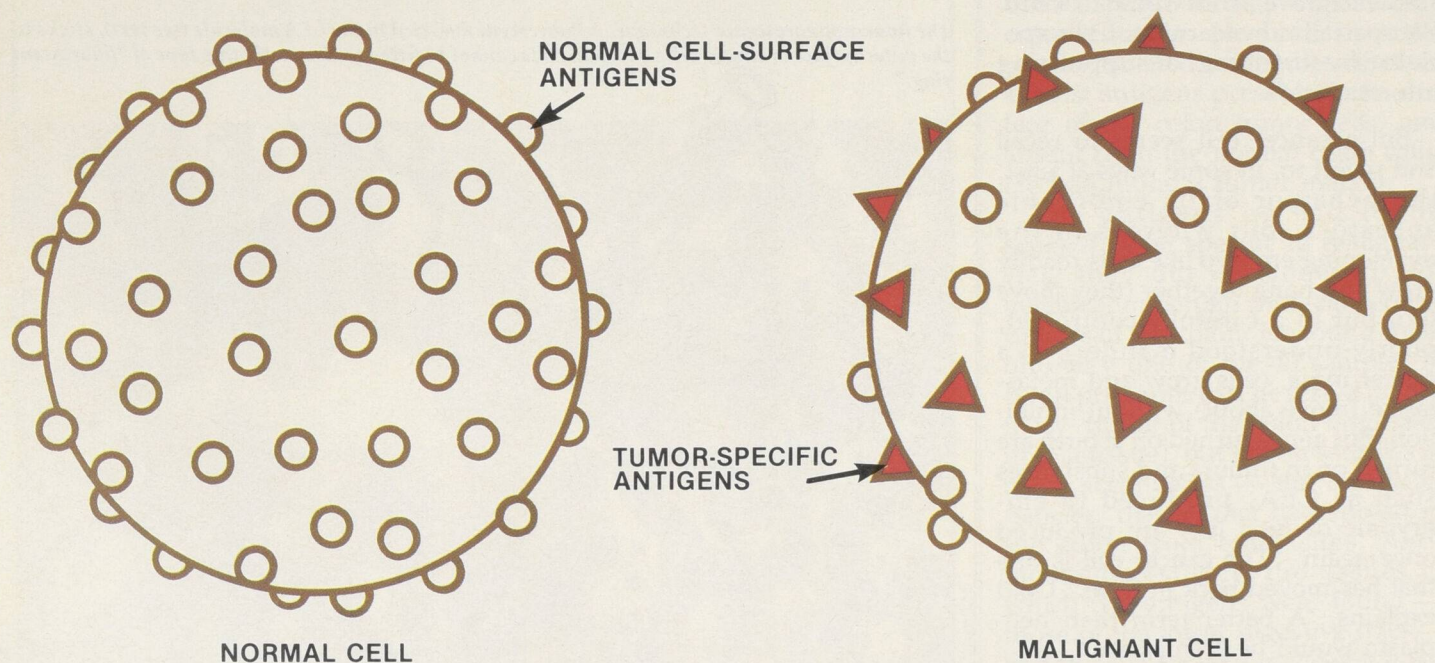
cinoembryonic antigen (CEA). They worked well together: Gold's enthusiasm, excited by the merest inkling of a promising result or new idea, was balanced by Freedman's desire to see the "hard data" that followed.

"I found a textbook called *Purification Techniques by Chemical Processes*," Phil Gold recalls. "Talk about cookbook techniques! Anyway, we used our immunological probes and these techniques to isolate CEA and look at its composition. We found we had a big monster of a molecule (a glycoprotein, or combination of carbohydrate and protein) with a coiled head and a long, branched tail. Then we found that it sits on the surface of the cell. One day we realized that it might slough off the cell surface. So we decided to look for it in the blood.

Our objective was to ask biological questions, not to set up a test for cancer. I got the surprise of my life."

In California, one of the Montreal team had learned the radioimmune assay technique — a powerful new way to measure extremely small quantities of protein, and a means of measuring CEA in the blood.

After some encouraging preliminary results, they sought confirmation with fresh blood samples from cancer patients. Of 36 patients with tumors of the colon or rectum, 35 had detectable levels of CEA in their blood; there was only one false negative. They could find no CEA in patients whose colon tumors had apparently been successfully removed, but they could detect it in all the 15 patients in whom tumor recur-



'Tumor-specific antigens' or molecules unique to cancer (red triangles) appear on the surface of most, perhaps all, cancer cells. They are thought to be complexes of protein and carbohydrate that have been put together within the cell and inserted into its outer membrane. Tumor-specific antigens can be used as a diagnostic test for the appearance of cancer.

red after surgery. They published these findings in a prestigious journal, the *Proceedings of the National Academy of Science*, in 1969. The scientific community, which up until then had largely ignored CEA, snapped to attention. Here, for the first time, was a diagnostic blood test for human cancer.

The American branch of the Hoffman La Roche company purchased the rights to the CEA assay from McGill and invested some \$20 million in developing and marketing blood-testing kits based on it. About 100 million dollars worth of these tests are now performed every year around the world. Oncologists routinely use the information these tests provide. A failure of CEA levels to fall rapidly when a tumor is removed, for example, suggests that all the tumor has not been removed. If the levels do drop after surgery only to climb again some months later, this suggests that cancer cells have spread elsewhere — and this rise in CEA occurs long before any other clinical symptoms become apparent.

But such information has been found to be ambiguous. As scientists elsewhere repeated the assays that Gold and his co-workers carried out in Montreal, it became clear — as indeed Gold and Freedman had predicted — that the sensitivity and specificity of the test were not as good as the initial reports promised. CEA was not the panacea that some had hoped it would be. Significant numbers of patients with tumors begun in sites other than the bowel, or with diseases other than cancer — severe cirrhosis, for example — gave false positive readings. Some patients were tested because, for example, blood spots had been observed in their stool, a symptom of bowel cancer, but no CEA was found; later however, surgeons found malignant tumors in their colons. Hence, a small proportion of both false-positive and false-negative results occur. But Gold contends

that the field of tumor markers has grown exponentially in the past 20 years, with three to four books and hundreds of papers being published on the topic every year. He feels that new technology will in all likelihood improve the assays based on these markers.

Despite the problems, Gold and others consider the test of great value, especially in diagnosing patients after they have had surgery for the removal of cancerous tumors and it subsequently appears that the disease has spread or metastasized. He feels that the CEA test allows one to predict with a lead time of three months to three years that tumor growth has recurred. Gold is not enthusiastic about surgeons who opt for 'second look' surgery when CEA levels clearly rise subsequent to a falling off after the first operation — a sure sign that the disease is re-establishing itself. In such recurrent or metastatic conditions, a virtual shower of tumor cells moves out to colonize several areas at once, and in 'second look' surgery the physician removes only those tumors that are big enough to see. What is required instead, says Gold, is a better drug regimen, given systematically, to effectively attack all points of tumor growth without causing undue destruction to or impairment of normal tissue function. Says Gold: "Future generations will look back at the virtual poisons now administered in chemotherapy with incredulity, just as we do at earlier physicians who applied leeches."

At the beginning of his career, Gold spent most of his time doing science. Now he spends most of it doing medicine.

He still leads a research team with chutzpah, charisma and skill. "He'll have just read a paper," says Abe Fuks, a molecular biologist who works in Gold's lab, "and he'll say 'Why not try this?' I'll say 'You're crazy.' Far more often than not, he's been right."

As first director of the McGill Cancer Centre, Gold coordinated oncology research and treatment in Montreal universities and teaching hospitals. "Phil laughs and slaps backs," says Jack Siemiatycki who, with Phil's support, launched a major cancer epidemiology study. "But when he sits down at a meeting it's 'O.K., What do we want? What can we do?' There's not much social chatter."

In 1981 Phil began his current job: physician-in-chief at the Montreal General Hospital. "I owe this place a great deal," he explains. "I try to give something back. I've been able to do research here, which I like. I've been able to teach, which I like too. And I'm able to look after people."

Keith Ingold

When London was being bombed during the last World War, the Chemistry Department at the University of London, then headed by Professor Sir Christopher Ingold (who had been called the father of physical-organic chemistry), was evacuated to a small town in Wales. On weekends, especially during the winter, there was little to do and so Sir Christopher's teenage son, Keith, took to visiting his father's laboratory, becoming an expert glass-blower and, eventually, a chemist.

In 1946 Keith Ingold took an undergraduate degree in his father's department, then his Ph.D. at Oxford under Sir Cyril Hinshelwood. He came to Canada in 1951, working first as a postdoctoral fellow in the field of gas phase kinetics at the National Research Council, followed by a further period of research at the University of British Columbia.

In 1955, he accepted a job offer from the NRC in what was then the Division of Applied Chemistry. The NRC was by far the country's largest research establishment — largest in terms both of numbers of scientists, breadth of coverage, relative amplitude of budget and richness of scientific tools. A lean man in his mid fifties — he keeps fit by skiing and wind surfing — Keith Ingold is now associate director of its Division of Chemistry.

The problem he was asked to tackle when he began his work at NRC was a practical one: to investigate how the oils used to lubricate automobile engines degenerate in use, and to find ways of protecting them. The oils degrade, becoming acidic and viscous, because they react chemically with oxygen from the air; that is, they oxidize. The same chemical process accounts for fats in food going rancid on prolonged storage. Chemically, this oxidation process is a complex chain

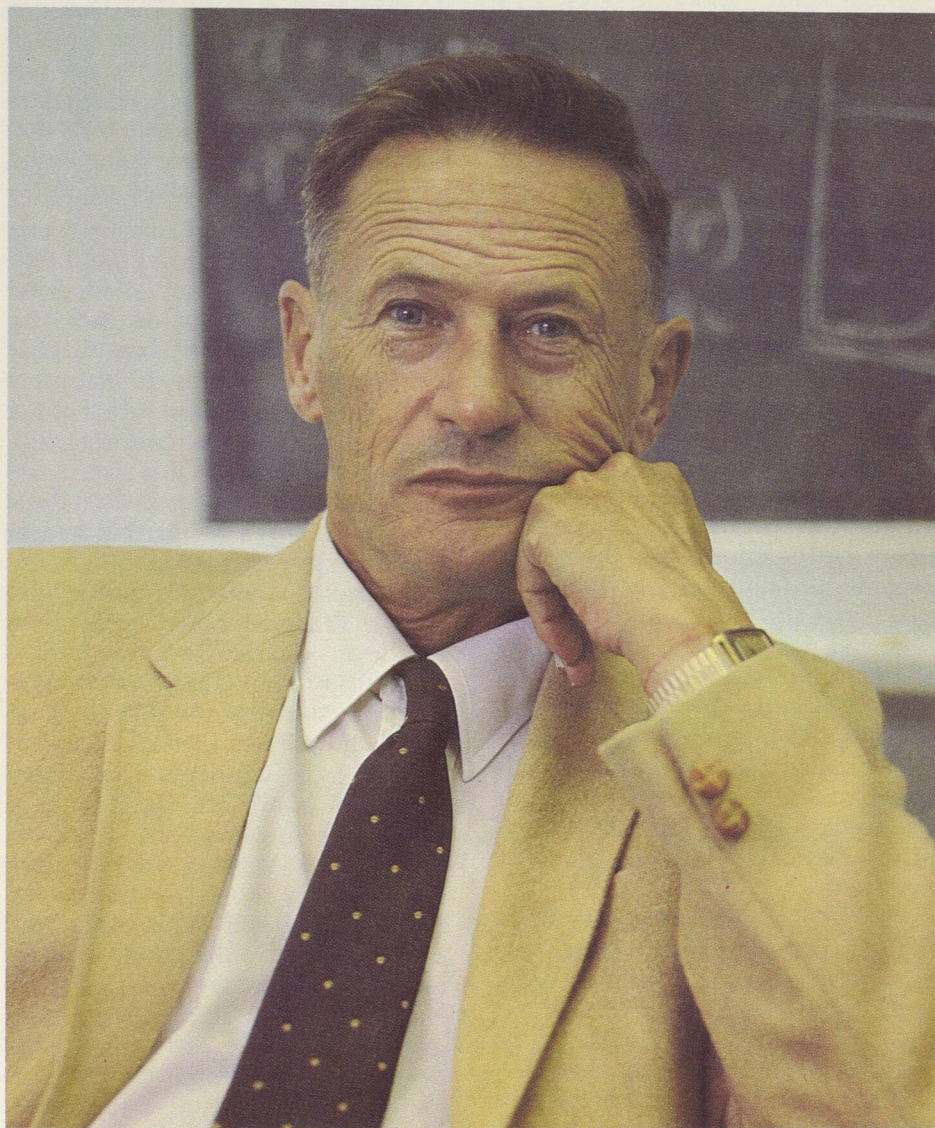
reaction involving many transient intermediate compounds.

The late Dr. Ned Steacie, a former president of NRC and arguably one of the world experts of his time in chemical kinetics, had shown along with others how to study such complex processes in the gas phase by analyzing the constituent, elementary reactions; but to do so in liquids was far harder than in gases. The elementary reactions that occur in lube oil oxidation involve what are called 'free radicals.' At the time

very little was known about the reactions of free radicals in solution.

A free radical is a fragment of a molecule. It is a highly reactive group of atoms which is generally capable only of a fleeting independent existence. Nevertheless, free radicals play vital roles in many important industrial and biological processes. Ingold found them fascinating — and challenging.

"At that time," he says "the theories in vogue as to how oils oxidized and were protected from oxidation



Dr. Keith Ingold: Keeping tabs on free radicals in living organisms.

by chemicals called antioxidants, were extremely naive. Naturally, this meant that much of the research aimed at discovering new and better antioxidants to protect materials from oxidation turned out to have been completely wasted effort." Ingold showed that the accepted theory of antioxidant action was incorrect and put the subject back on the right track with an elegantly simple experiment which clearly demonstrated the mechanism by which antioxidants "trap" free radicals.

What experimental scientists can do is very much a question of the instruments at their disposal. In 1967, Ingold's laboratory bought an electron paramagnetic resonance spectrometer, a physicist's tool which had rarely been applied to chemical problems, and even more rarely to problems of chemical kinetics. It enormously broadened the scope of what he and his colleagues could do. It made new kinetics experiments possible and allowed the direct monitoring of the

minute quantities of free radicals taking part in chemical reactions. For 10 years, this EPR spectrometer was their principal research tool. Today, it is part of a battery of sophisticated instruments, notable among which is a combined gas chromatograph/mass spectrometer, which enables them to identify all the compounds present in chemical reaction systems, even those in very small samples.

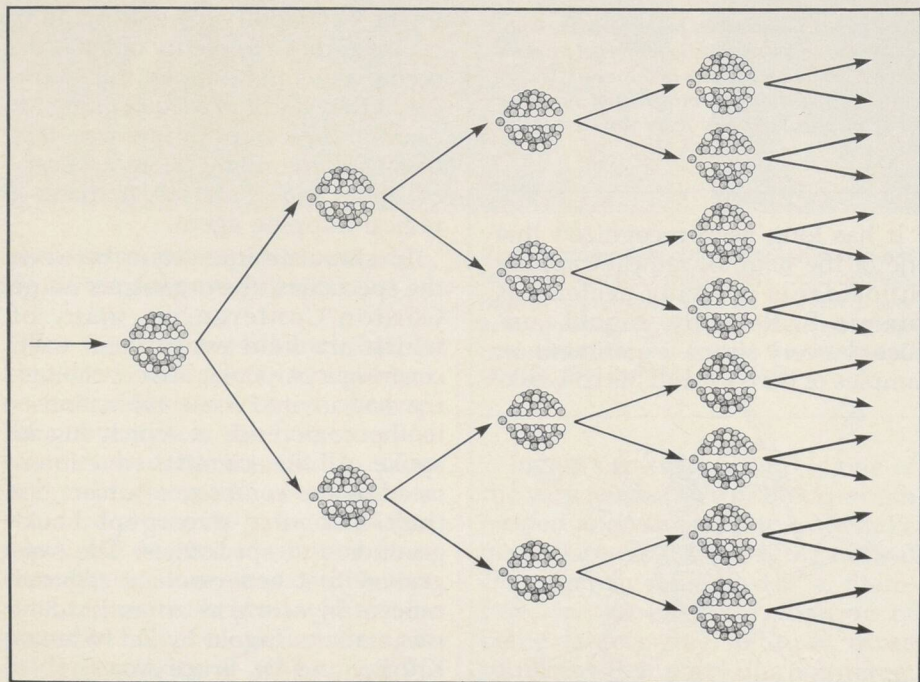
One of Ingold's many papers, published in 1968, has been cited two or three times more frequently than any other. This surprises him, for this "best-seller" concerned the kinetics of reactions involving organometallic (i.e. organic molecules with metal atoms in their structure) free radicals and did not communicate information of great industrial or economic importance. That he should figure among the list of frequently cited scientists, however, does not entirely surprise him. "If you make a fair number of interesting and reliable kinetic mea-

surements," he says, "ones that others can use in their research, then for a good many years to come people who need this data will probably cite your work." He adds: "Of course, it helps to have a long and reasonably productive research career." What especially interests Ingold now are the problems connected with the action of free radicals in living organisms. To appreciate his current work, it helps to understand something of the damage that these highly reactive groups of atoms can cause.

What we call radiation-induced cancer is really induced by free radicals created in biological systems by the radiation. If free radicals evade the normal enzymatic protection mechanisms in the cell that are designed to look after such reactive species, they can disrupt neighboring molecules of DNA, whose structure carries the genetic code, and the molecular systems that control the expression of the code. The result can be cancer.

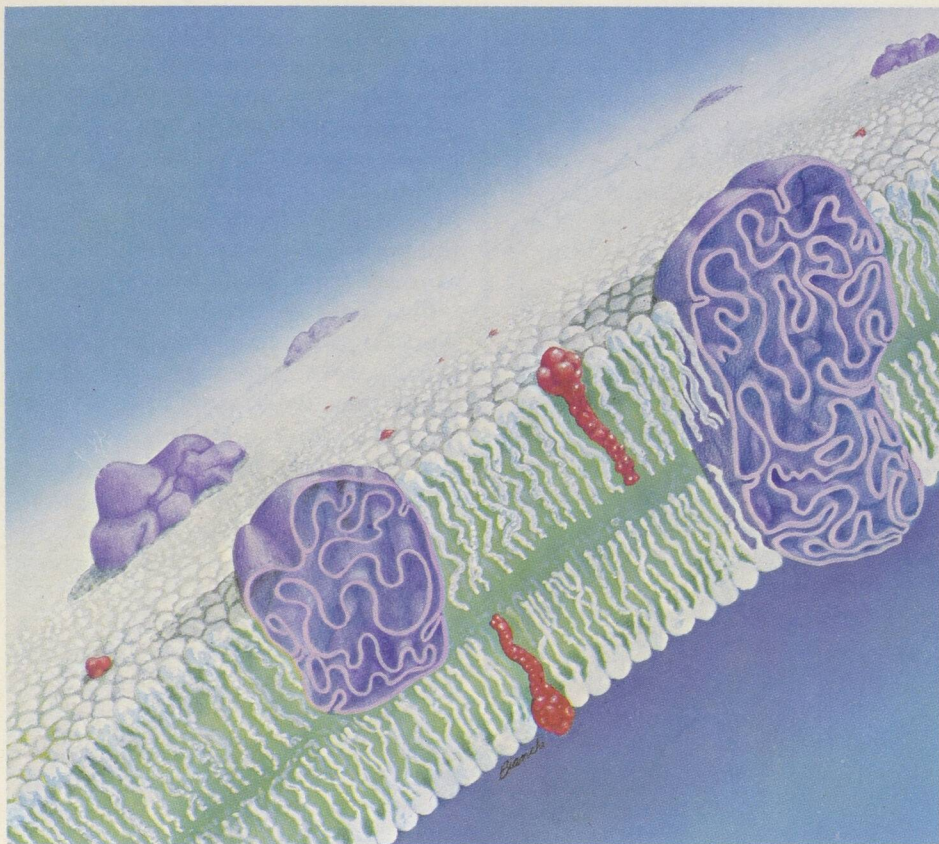
In the fatty tissues of the body, oxidation by free radicals can set up a disastrous chain reaction, which Ingold calls a branching chain reaction. (The best-known example of a branching chain is the nuclear fission process which is responsible for the explosion of an atomic bomb.) Each of the oxidized molecules that is formed can generate two more free radicals and these, in turn, can oxidize other molecules of fat. The reaction rate increases exponentially; that is, the more it goes on, the more it accelerates. Fortunately, we have natural mechanisms which block the reaction chains. There are, for instance, special biological antioxidant molecules that scavenge or sweep up these free radicals.

Medical researchers have known for some years that samples of many types of tumor, both from animals and humans, oxidize at a slower rate than comparable normal tissue. Ingold's laboratory has recently been



The cell as atom bomb: oxidation reactions in a cell's plasma membrane accelerate with time — like the infamous chain reaction in atoms of uranium-235.

Carrots may help prevent cancer

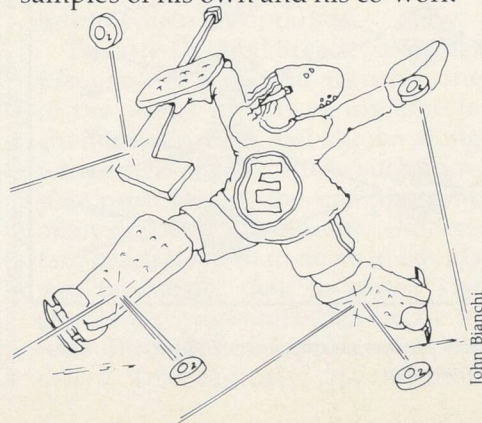


John Bianchi

At NRC, chemists think they have a good idea of how vitamin E performs its function in the body. The plasma membrane surrounding living cells, shown here in cross-section, is protected from the destructive effects of oxidation by the presence of vitamin E, the red molecules in the membrane. In a manner yet to be determined, these molecular sentinels maintain the integrity of the inner membrane, which is susceptible to oxidative attack. The purple bodies dispersed across the membrane are proteins.

examining tumors induced in rats, and is now starting a series of experiments with tumors in other animals and humans. The NRC group has found that there are differences in the composition of the lipids from healthy and tumor tissue and, further, that the differences in these fatty molecules (which are the primary components of the cell's outer membrane) are such as to make tumors more resistant to oxidation than normal tissue. In addition, they discovered that there are more antioxidants in tumor lipids than in those from normal tissue. The reason why tumor lipids should be so strongly resistant to oxidation is not yet known.

It has long been recognized that one of the natural, radical-trapping antioxidants in living systems is vitamin E. Recently, Ingold conducted a very simple experiment on samples of his own and his co-work-



John Bianchi

ers' blood — one that could not have been done 10 years ago because measurement tools of the required sensitivity were not available. The results of the test showed that vitamin E is certainly the major radical-trapping antioxidant present in human blood. This compound plays a vital role in protecting us from the undesirable effects of the rancidification of our fats.

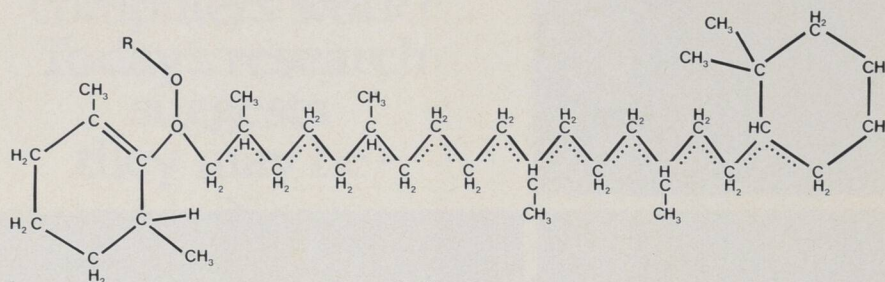
A year ago, however, after Ingold had given a lecture at a Gordon Research Conference on the topic "Oxygen radicals in biological systems," he was asked from the floor, "What about beta-carotene?" (beta-carotene, an orange-yellow pigment found in carrots and other vegetables, is a precursor of vitamin A). "Well, what about it?" he replied.

Like other scientists who are specialists and cannot keep up with all that happens outside their field, Ingold did not know at the time that a group of epidemiologists from Oxford had shown statistically that people who smoke have a much lower probability of getting lung cancer if they ate plenty of beta-carotene, as would happen, for example, if they had a particular liking for carrots. The implication was that beta-carotene might be an anti-cancer agent and, therefore, perhaps, a radical-trapping agent.

To stimulate interaction between the specialties, the organizers of the Gordon Conferences, many of which are held every year, each covering a particular area of chemistry, had invited some 100 scientists to the conference at which Ingold spoke. All the scientists were interested in the conference subject but they had very divergent backgrounds and specialties. The suggestion that beta-carotene reduced cancers by acting as an antioxidant was made to Ingold by Dr. Norman Krinsky and Dr. Bruce Ames.

"To be honest," says Ingold "I pooh-poohed the idea at first. The structure of beta-carotene was

wrong for any conventional type of antioxidant. But you can't ignore new ideas, particularly when they are made by scientists with the reputation and intuition that Krinsky and Ames have. So, in order to keep the peace in the scientific family, we set out to do the usual set of experiments to check for any antioxidant activity of beta-carotene. Mind you, this was only after spending a lot of time at the conference bar arguing with Krinsky and Ames, drawing chemical structures and reaction

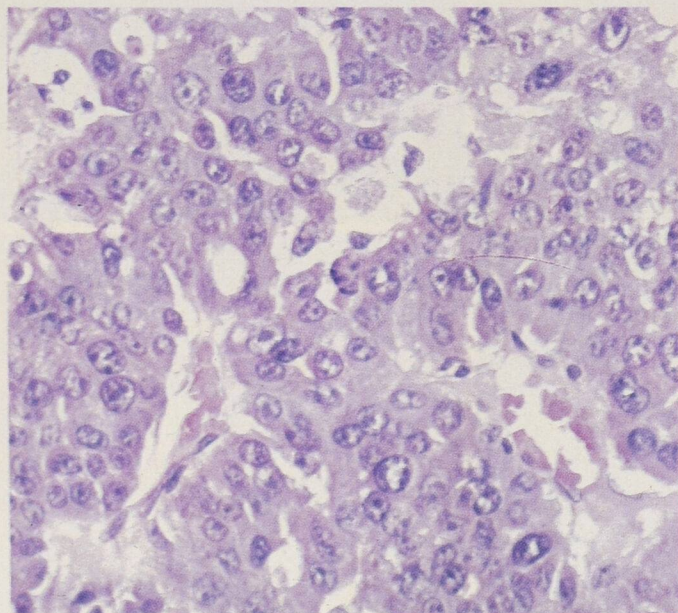


B - Carotene

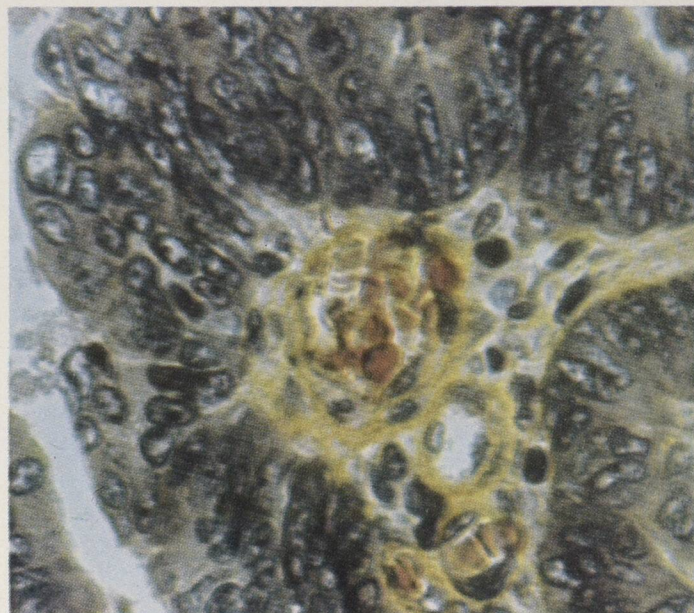
Carisse Graphic Design Ltd.

In other words, it is indeed an antioxidant — but it only begins to be really effective at stopping the oxidation reaction when oxygen concentrations get very low, as is the case within a cell.

tions between vitamin C, vitamin E, and all the other chemicals involved in protecting a tissue from damage by free radicals. The eventual aim of this research will be to delineate completely the total protective pack-



Dave Gillan



Dave Gillan

mechanisms on napkins, and reading all the relevant papers."

The first results indicated that, as Ingold expected, beta-carotene had no antioxidant activity whatsoever. For convenience, the beta-carotene samples had been tested in pure oxygen at atmospheric pressure — a standard procedure in Ingold's laboratory. He decided to run one more experiment, since he remembered a very odd result obtained with a compound he had once studied, the antioxidant activity of which had *increased* as the oxygen level *decreased*. He found that beta-carotene behaved in the same way.

Cross-sections of healthy (left) and malignant (right) human liver tissue. NRC work on 'free-radical scavengers' such as vitamin E and beta-carotene suggests that these molecules may protect the cell against "environmental insults" that can lead to cancer.

Ingold's research group is one of the very few in the world that is both trained and equipped to undertake quantitative studies of free radical chemistry in solution. He is, therefore, in the enviable position of being largely free to study those problems that particularly interest him.

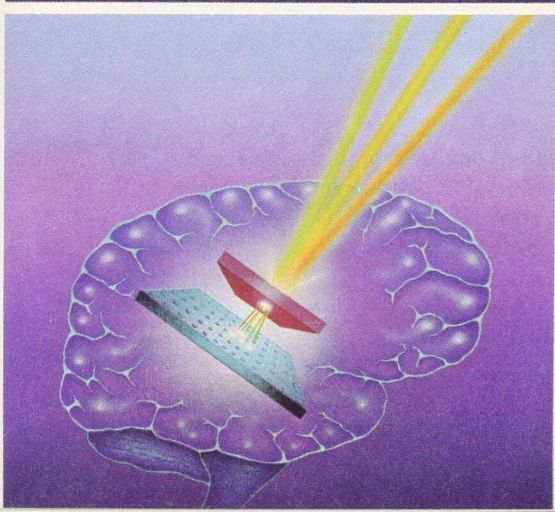
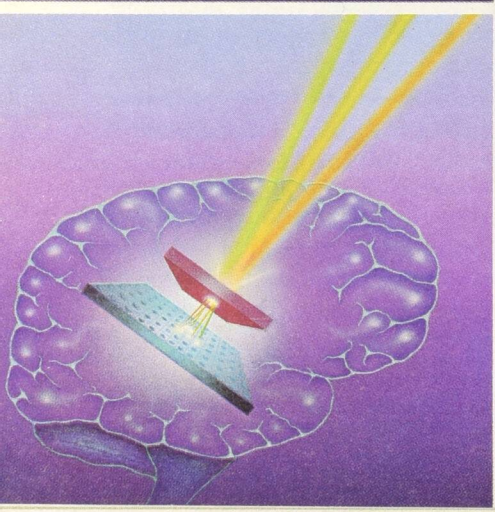
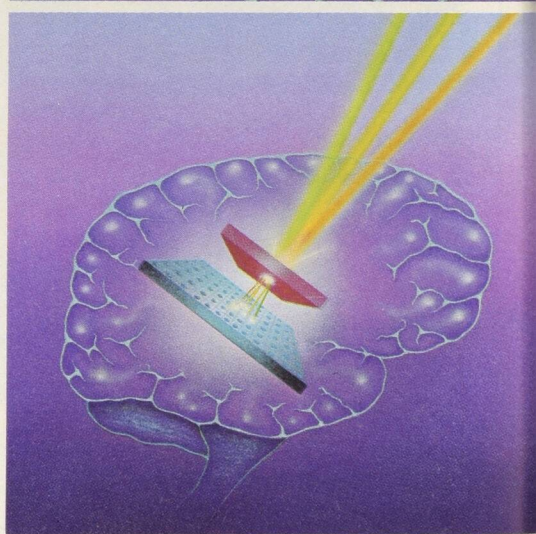
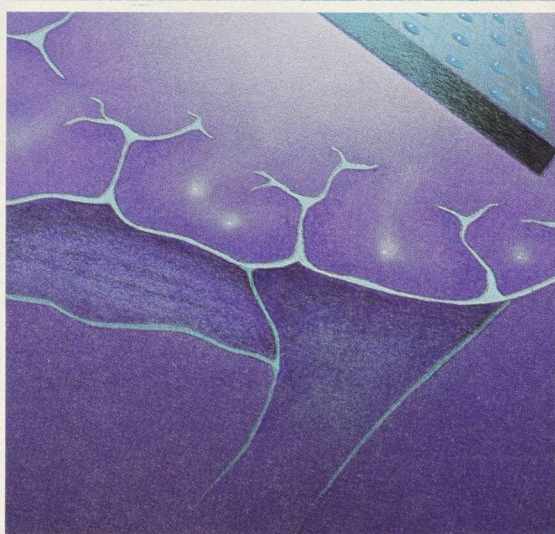
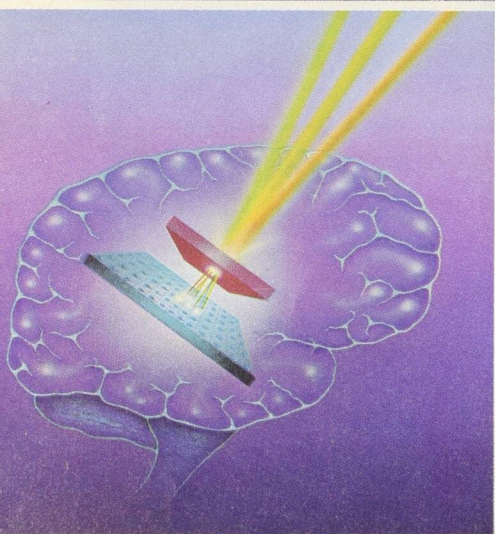
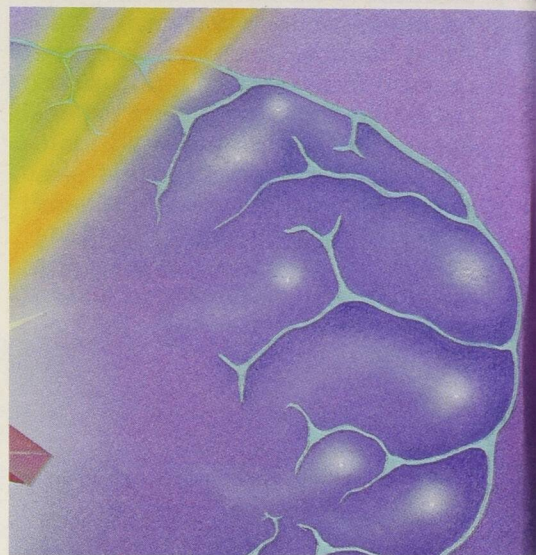
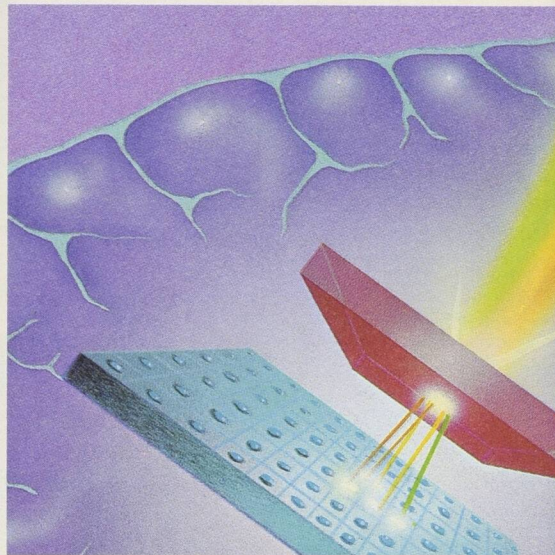
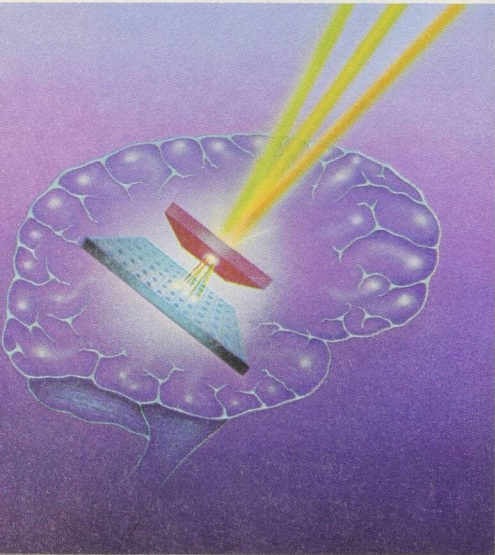
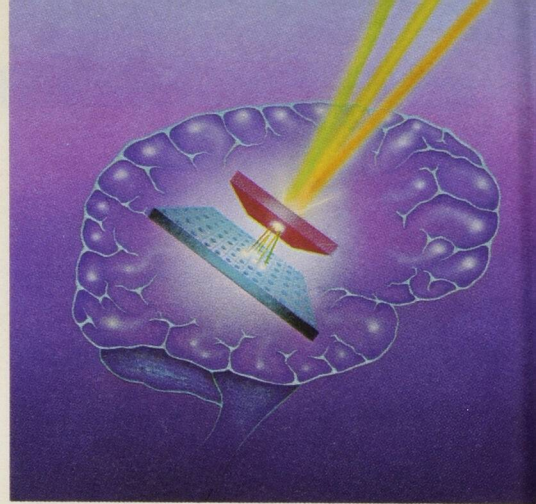
What he wants to try next is to chart the reaction paths and interac-

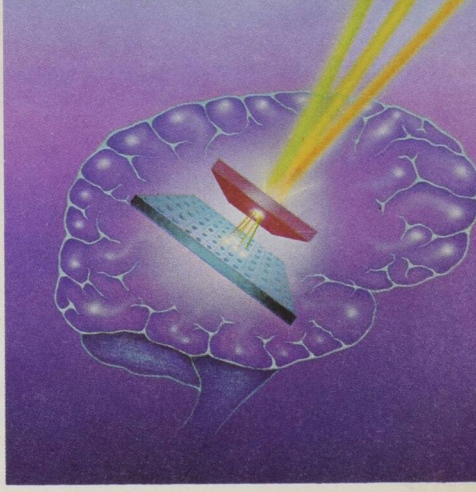
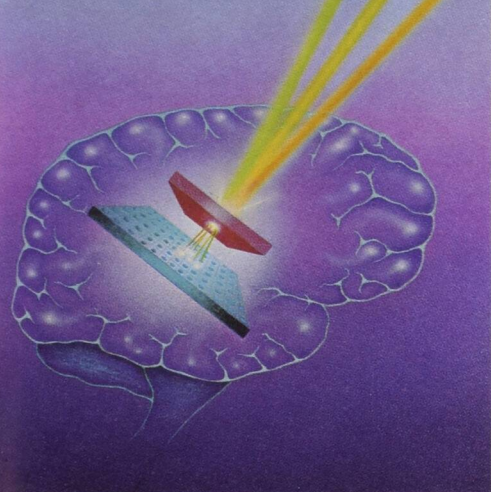
age against radical-induced damage present in living organisms, and to find ways by which this protection might be increased. This is important, since cellular damage by radicals has been implicated in a number of diseases — cancer, atherosclerosis, and even the process of aging itself.

"It's certainly not the money but the desire to know and understand the 'how' of things that attracts young people to science," he says. ☞

(This is the first part of a two-part article.)

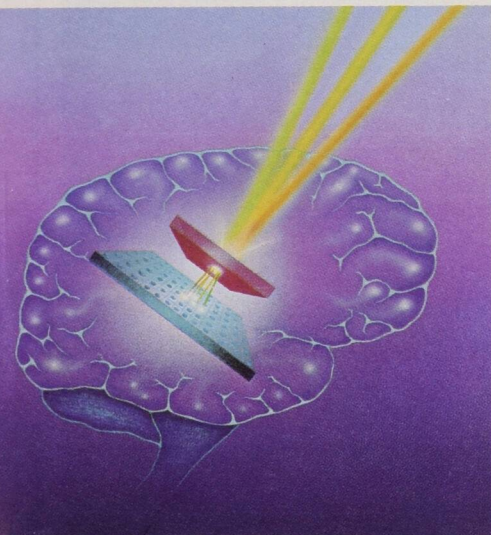
Séan McCutcheon is a freelance writer working in Montreal.





How will
tomorrow's
computers work?
Today's research
suggests
they may be -

Thinking In Light



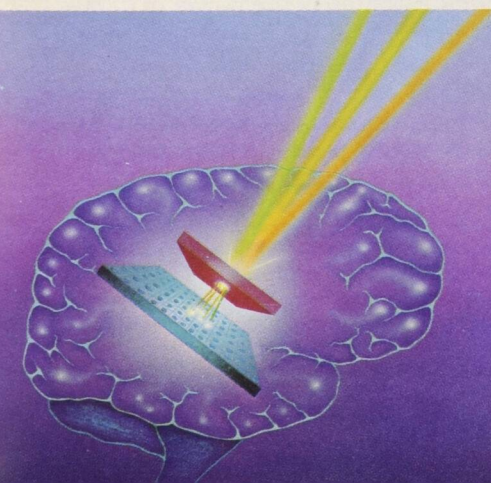
by Paul Tisdall

Some results of fundamental or 'curiosity-oriented' research translate into marketable products faster than others. Generally speaking, the closer the researcher is to the frontiers of his or her discipline, the longer is the conversion time from breakthrough to commercial utility. There are, however, exceptions, and the work of the National Research Council's Dr. Alex Szabo is a case in point. Szabo, a 53-year-old physicist in Ottawa, has pursued a 15-year investigation in an esoteric field known as "the laser spectroscopy of solids." His work, which involves quantum physics, is intelligible to only a handful of experts. But as a spin-off from this fundamental work, Dr. Szabo has also developed and patented techniques which, within the next decade, could well revolutionize the computer industry and create a business worth literally billions of dollars.

In his 1968 classic, *2001: A Space Odyssey*, author Arthur C. Clarke

described a computer, Hal, which carried on fluent conversations with astronauts before it was lobotomized for making a mistake. At the time, Clarke's prediction that such computers would be available within 30 years was dismissed as wildly optimistic. But current research into artificial intelligence suggests that Clarke could well be right. In fact, in 1981 the Japanese government set a national priority for the production of such smart computers within a decade as a key part of its industrial strategy.

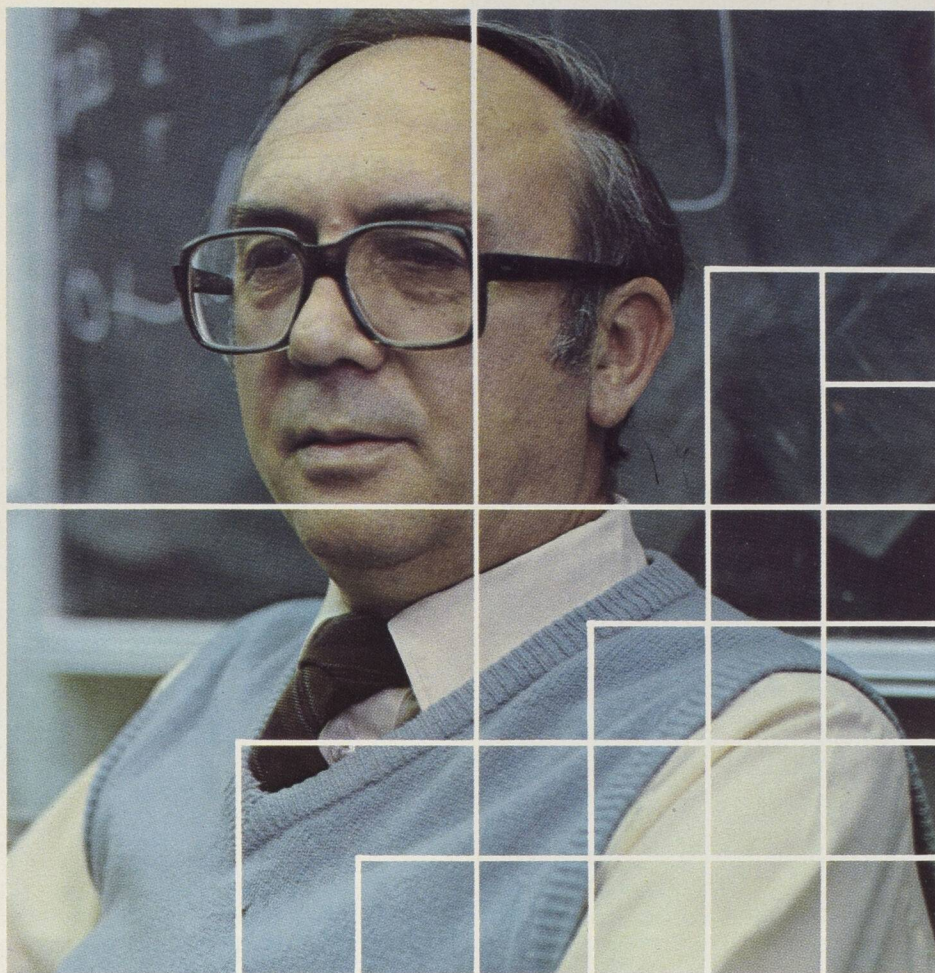
The Japanese have given their plan the catchy title of the "fifth generation" computer project. (The first four generations are generally considered to correspond to the eras of the vacuum tube, the transistor, the integrated circuit, and — for the fourth generation — Very Large Scale Integration devices whose logic and memory hardware provides greater capacity.) The Japanese project is jointly sponsored by industry and government, and is funded to



the tune of \$850 million in public money over 10 years. Early computers worked only with numbers. Today, however — and more so in future — computers listen to language and shuffle text. At its deepest level, even this 'non-numeric processing' still uses numbers. But the fifth generation machines of tomorrow will not *seem* like mathematical drudges to their users. Such machines will be asked to reason, to learn, and to perform billions of operations at incredibly high speeds. User-friendly abilities will include comprehending and translating spoken languages, and reading maps, photographs and handwriting.

Fearing that America might be outstripped by the Japanese, the U.S. Department of Defense jumped into the race in October 1983 with a \$600-million, five-year program to develop fifth generation computers for military applications.

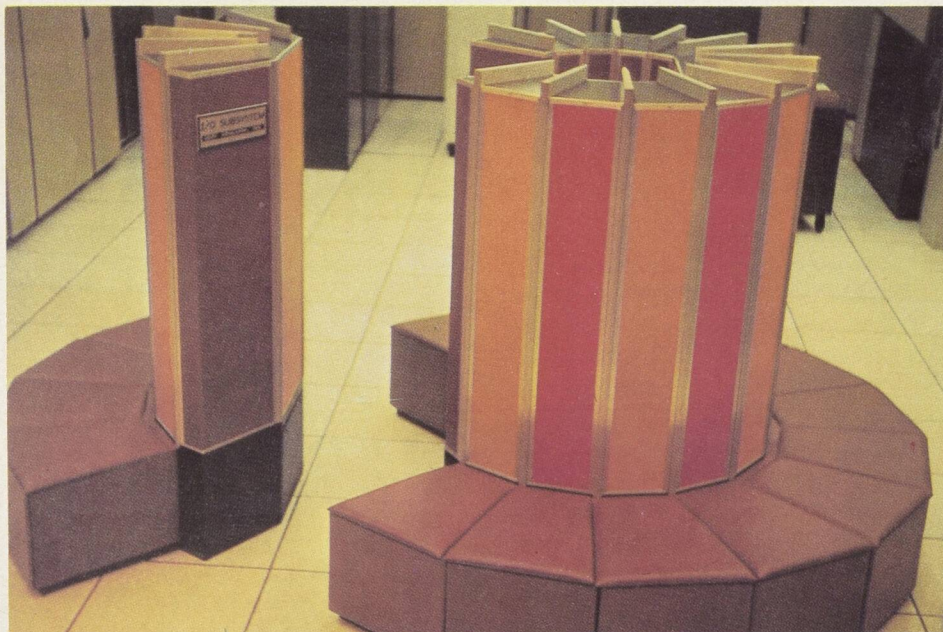
Both Japanese and U.S. researchers are agreed that fifth generation computers will almost certainly rely on innovative computer architecture known as "parallel processing." The present dominant design is "von Neumann architecture," named for the mathematical genius John von Neumann who described it near the end of the Second World War. In the von Neumann approach, data and instructions must flow between a computer's central processor and its memory along a single channel. This single channel creates a bottleneck



Dr. Alex Szabo: Making computers think for themselves

which limits the computer's speed and capacity. In parallel processing, on the other hand, many processors, each with its own memory channel, operate simultaneously on various parts of a problem.

Parallel processing has been pioneered by the American whiz and computer manufacturer, Seymour Cray, and is partially implemented in his newest supercomputers. In fact, the only supercomputer in Canada is a \$15-million Cray-1, inaugurated in Montreal in February 1984 as our central weather forecasting computer. Modelling the Earth's atmosphere for weather forecasting is one of the classic computer problems and provides an excellent demonstration of the power of parallel processing. In forecasting models, the Earth's atmosphere is divided into a giant three-dimensional grid. Data are collected for each of the points where the grid



Cray-1, Canada's weather-forecasting supercomputer in Montréal, Québec. One of the world's most sophisticated 'fourth generation' computers, Cray-1 has large-scale-integrated devices that give it extremely fast memory and processing. Alex Szabo's work on yet faster, more capacious memories may find use in 'fifth generation' computers able to display artificial intelligence.

lines intersect, and then the parallel processors perform similar calculations on each of these data points to march the model forward in time and predict the weather. The number of calculations is mind-boggling. Even at the Cray-1's lightening-fast speed of 50 million arithmetical operations a second, a 10-day weather prediction takes seven hours of computer time and involves on the order of 10^{20} calculations.

Although such supercomputers embody the most advanced designs to date, they still employ a basic von Neumann architecture to which are attached banks of simple parallel processors capable only of carrying out similar arithmetical operations on collections of similar data. It is a highly contentious issue whether electronic computers will be capable of fully implementing parallel processing so as to provide fifth generation and artificial intelligence capabilities.

Dr. Szabo is one of many experts who suggest that the complexities of full parallel processing may pose intractable problems for computers based on electronic circuitry and that optical computers, where beams of light replace circuits, may be the only feasible way of building such advanced capabilities. For Dr. Szabo, his powerful optical memory is the first clear demonstration of this potential, and promises to provide the storage capacity required by parallel-processing architecture.

His invention is based on the fundamental physical properties of matter and light. Most people will recall high-school experiments with prisms, which demonstrate that sunlight contains the rainbow of colors or frequencies which make up the visible spectrum (centred around 10^{15} Hz). Thus a leaf appears green because its chlorophyll reflects back the green light and absorbs the other visible frequencies.

At the atomic level, the interaction of light and matter is more complicated. An atom can be considered to consist of a nucleus surrounded by electrons in discrete orbits or energy levels. If an electron is given the precisely correct amount of energy, it will jump to a higher energy level, absorbing the activating energy in the process. It is however unstable at

the higher energy level. When it falls back to its ground state or original energy level, it gives off the energy it absorbed in the form of light. The precise frequency of this light will depend on the difference between the two energy levels. The clearest everyday demonstration of this is in fluorescent lamps, where electrical energy pushes electrons to a higher energy level and they emit light as they fall back.

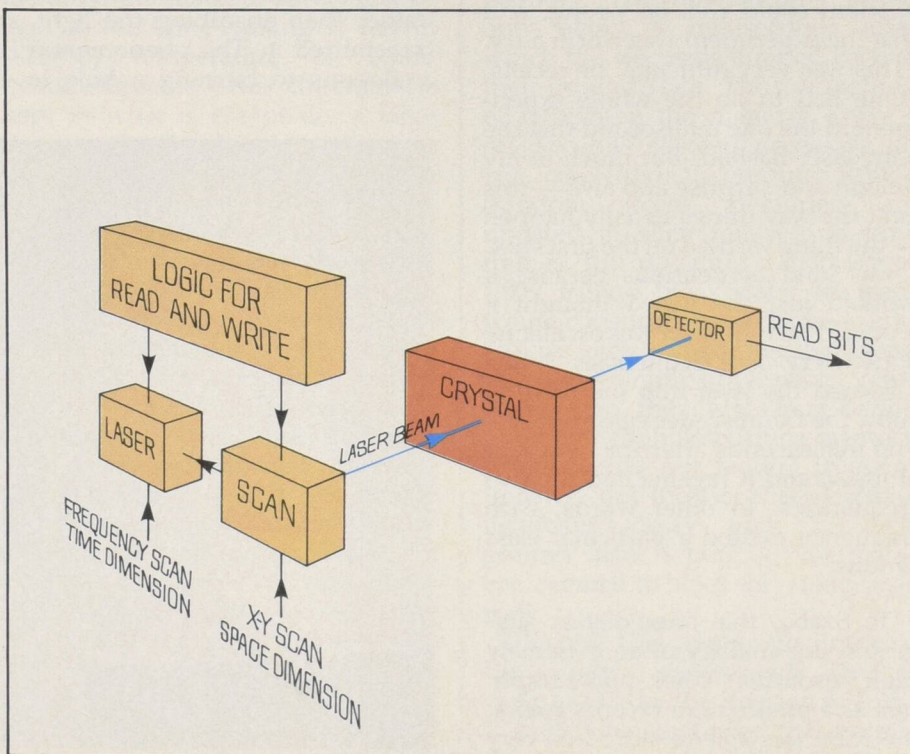
Dr. Szabo's optical memory relies on these basic physical principles of the electromagnetic spectrum and of atomic absorption and emission.

The building blocks of his idea were developed at Bell Labs in the U.S. during the 1960s, where much of the pioneering early work on lasers was done. A laser is a coherent, or in-phase, single frequency of high-intensity light. At Bell Labs, it was discovered that if a laser is directed at a bottle of pure gas, say hydrogen, a select class of the gas molecules quickly begins emitting a narrow frequency of light. Since molecules in a gas are racing about like a swarm of bees, the laser picks out those molecules with the same velocity (direction and speed). Szabo uses the analogy of a collection of bells of different sizes, and therefore with different resonant frequencies. If a tone is struck

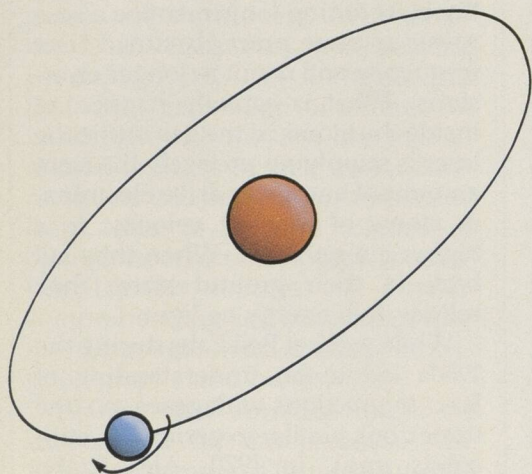
nearby, only those bells with the same resonant frequency will ring — a technique used in tuning musical instruments like the guitar. Moreover, just as a pure tone will cause the bells to ring longer, so too a narrower or more precisely tuned laser frequency will result in longer emissions. What is actually happening inside the atoms in the gas is that the laser is supplying precisely the right amount of energy to drive electrons, in atoms of a select velocity, to a higher energy level. When they fall back to their ground state, they release this energy as light.

While work at Bell Labs during the 1960s led to an understanding of laser interactions with gases, no one undertook similar experiments with solids until, in 1970, Alex Szabo shone light from a pulsed ruby laser into a ruby crystal and observed the fluorescence coming out. Such experiments had not been previously tried because theoretical considerations had led physicists to conclude that results similar to those obtained

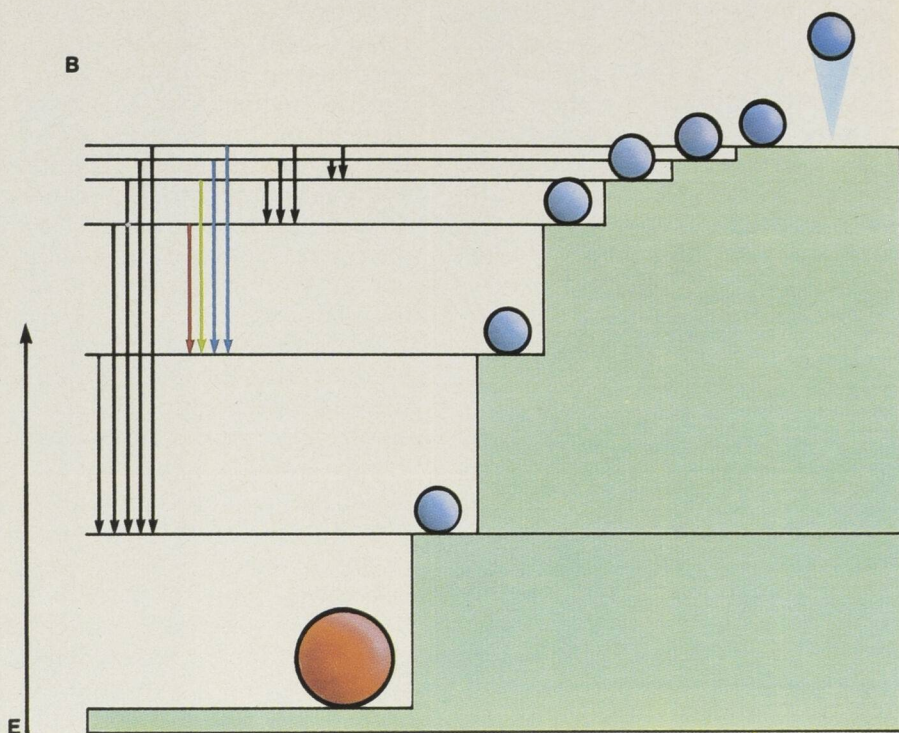
Crystal memory as it would be used in a fifth generation computer. Under the direction of the computer's read-write logic, a small laser scans the memory crystal, saturating tiny areas with its light. This is the write function. For the read function, the laser scans the crystal again; a saturated area or 'hole' transmits the laser light, while unsaturated areas do not.



1A



B



Carisse Graphic Design Ltd.

with gases would not occur in solids. According to the reigning scientific dogma, the finely-focused energy of a laser would be diffused inside a crystal; the frequencies would spread out and only broad-band fluorescence would be observed.

After careful consideration, Szabo decided that conventional scientific wisdom could well be wrong, and that the experiment was worth a try. "This was very difficult," he recalls. "One had to do the whole experiment in the one millisecond that the ruby laser flashed. But much to my delight and surprise and awe — this isn't the way things usually happen — the thing worked on the first shot. I was kind of delirious because it worked just the way I thought it would. The ruby laser was oscillating at two very close frequencies. When I flashed the laser into the piece of ruby, the fluorescence came out several milliseconds after the laser had stopped and it regenerated the two frequencies. In other words, each frequency excited a particular class of ions."

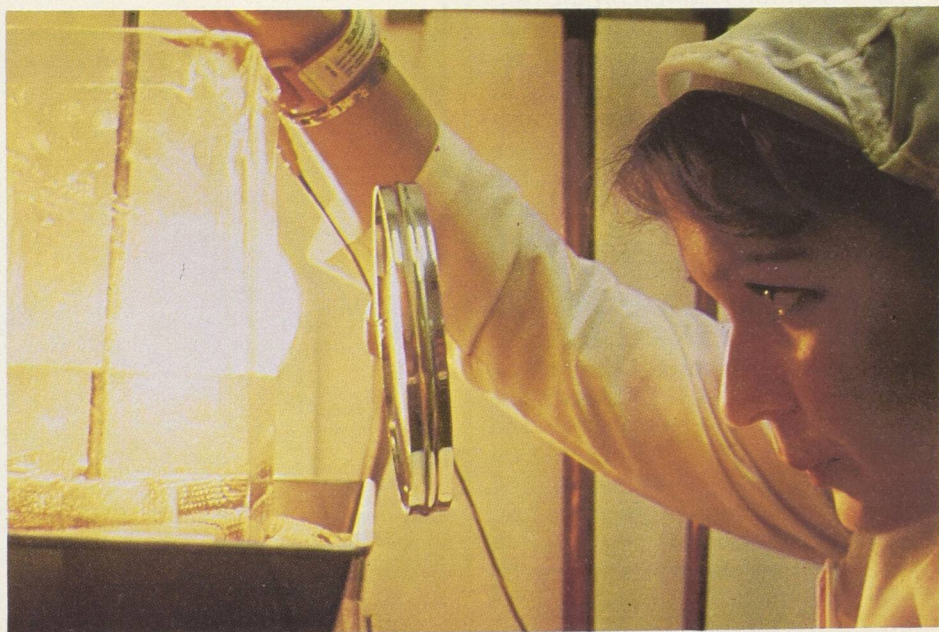
To Szabo, this immediately suggested the analogy of an extremely high resolution color photograph. Just as a photograph records colors, the ruby was able to store two very

An electron circles the nucleus of an atom in a certain orbit (1A). If the atom takes up energy, such as heat, light, or electrical energy, the electron moves to a higher orbit. It may then fall to a lower one (B), giving out energy in the form of visible light or as invisible radiation. In Dr. Szabo's work, 'hole burning' in crystals occurs between the different energy levels.

narrow and close frequencies of light. Moreover, once the electrons were in the excited state, he found that the ruby was transparent to a laser pulse of the same frequency. Rather than absorbing the light, it transmitted it. The phenomenon is analogous to burning a hole in a

piece of paper with sunlight focused through a magnifying glass, and then shining the light through the hole. Szabo aptly dubbed it "optical hole-burning." Since a photographic film is really a crude sort of memory,

An integrated circuit package test

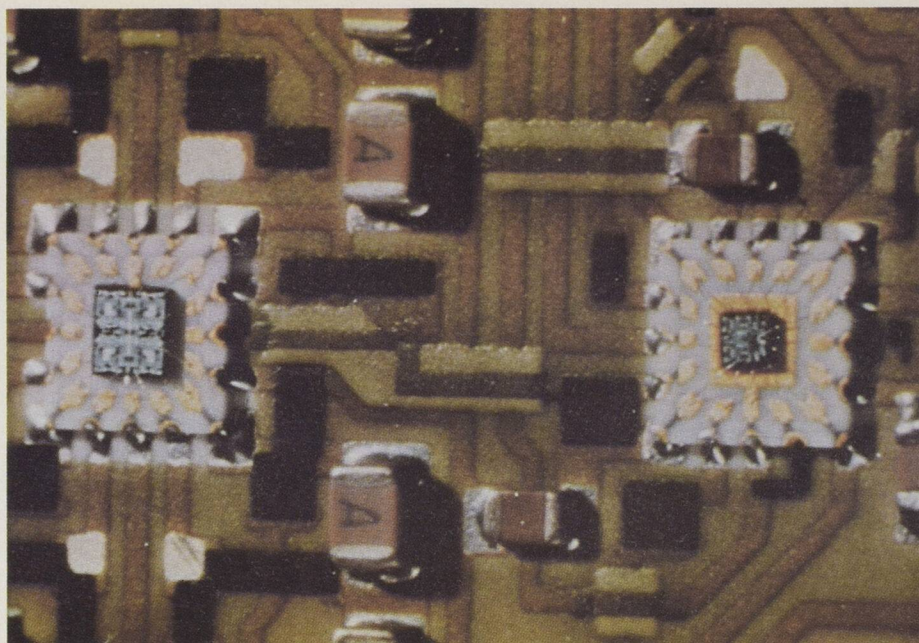


Mitel Corporation

the similar but enormously higher resolution memory made possible by hole-burning could, Szabo reasoned, be used to construct a powerful and sophisticated computer memory.

To understand the full revolutionary implications of Szabo's idea, it is instructive to compare the storage capacities it makes possible with those of conventional computer memories. The language of computers is binary — a 0 or a 1, known as a bit, is the basic unit. Eight bits, a byte, represent a letter or a number, e.g. 00101001. Two decades ago, computer data were commonly stored as holes punched in paper cards, with a capacity of about four bits per square centimetre. Gradually, this system has been replaced by magnetic tapes and discs, which can store on the order of several hundred thousand bits in the same area. Within the past couple of years, memories have taken another leap in storage capacity, with the introduction of video discs. These can store about a hundred times more data per square centimetre than magnetic media. The bits are recorded by literally burning pits about one micrometre wide with a laser in a thin metallic film layer on a plastic or glass disc. But even this most advanced of current storage technologies pales in comparison with the capacity of as much as 1,000 trillion bits per square centimetre made possible by Szabo's invention.

In practical terms, Szabo's memory works in the following manner. The procedure requires a tuneable laser, a laser that can be adjusted to incredibly precise frequencies — about 10,000 frequencies is the present practical limit but theoretically 10 million is possible. Such a laser is shone on a selected array of spots on a slab of crystal at one color or frequency, say red. This is the hole-burning or write function of the memory. Light sensors are arranged on another surface behind the crystal. Then, in order to read the memory a floodlight of the same red color is used to illuminate the entire slab. The light shines through the previously burned holes but is blocked everywhere else on the crystal. The same procedure can be followed with different colors, green etc., in



Mitel Corporation integrated circuits for communications equipment (x40)

different patterns on the same crystal. The idea that such a memory could store as much as 1,000 trillion (10^{15}) bits per square centimetre is derived by multiplying the 100 million (10^8) narrowly-focused laser beams that can be accommodated in a square centimetre by the 10 million (10^7) different frequencies to which each of these lasers can be tuned.

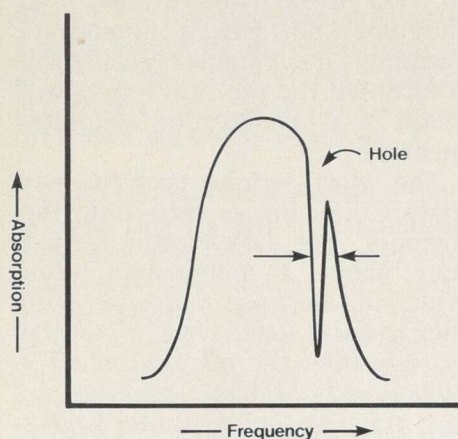
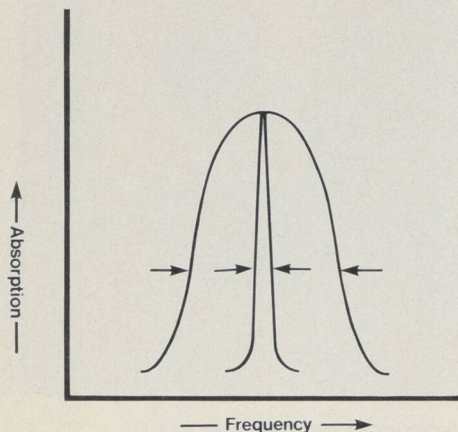
To maintain a stable, hole-burning memory, the material used must be kept at the bone-chilling 4° Kelvin (-269°C) temperature of liquid helium. To achieve this, the crystal is kept in what is essentially a large thermos bottle. Liquid helium is piped in and the bottle is insulated with a 77° Kelvin layer of liquid nitrogen. The light for the read and write functions of the memory reaches the crystal through windows. This high-powered cooling system means, of course, that Szabo's crystal memory is only practical for large, permanently installed computers. It is doubtful, however, if smaller computers will require such an enormous memory in the foreseeable future, so the temperature requirement is not a serious drawback.

At any rate, Szabo's 1970 discovery that crystals could store gigantic amounts of information flew in the face of conventional scientific wisdom and was truly revolutionary in its implications for computer

design. In 1972, he applied for patents on the hole-burning memory in Canada and the United States and in 1975 these were granted. At the time, however, a number of seemingly insuperable obstacles still confronted the practical implementation of a hole-burning computer memory.

The most serious problem was that of updating or refreshing the memory. The hole-burning lasted only about 4 milliseconds after which the electrons jumped back to their ground state. Thus, a method of refreshing the memory every 4 milliseconds seemed necessary. In fact, conventional computer RAM's (random access memories) are updated in such millisecond time frames. But updating a memory of 1,000 trillion bits, Szabo realized, would consume so much power and require such complicated hardware that it was simply not feasible. What was needed, then, was a long-lasting or permanent hole-burning memory which would not require frequent updates. But the fact that electrons inevitably decay back to their ground state, wiping out the memory, seemed to block this solution as well.

Despite this apparently intractable problem, experiments done as early as 1974 by the Russian scientist Karl Rebane suggested that perma-



Carisse Graphic Design Ltd.

(TOP): Plotting light absorption against light frequency for a memory crystal gives a great number of sharp 'spikes,' one of which is shown greatly magnified at centre. (A real crystal might have millions of spikes). The 'envelope curve' connecting the tops of all the absorption spikes is the familiar bell curve. (BOTTOM): When a laser shines a specific light frequency on the memory crystal, the crystal absorbs the light. Until it re-radiates the energy it has absorbed, it cannot absorb any more light at this wavelength: it is 'saturated.' In effect, one of the spikes under the envelope curve has been snipped away, leaving what appears on the graph as a hole. An area so saturated can occupy a space as small as one micron (0.001 mm). IBM researchers have now developed materials in which these 'frequency holes' will remain indefinitely, although in most crystals the hole 'erases itself' in a very small fraction of a second.

ment hole-burning just might be feasible. Starting somewhat later, a well-funded team at IBM in the U.S. tackled the problem of developing a long-lasting, hole-burning memory and has now overcome it in a most spectacular manner.

The IBM researchers have discovered organic materials, notably polyethylene derivatives, which do in fact provide long-lasting, hole-burning memories requiring no refreshing. Moreover, not only do these materials dispense with updating, they also provide a memory which is erasable. Erasability is a highly desirable characteristic in a computer memory for it means that the storage medium can be used over and over again.

At the atomic level what happens in these new materials is that, as the excited electrons reach higher energy levels, they pop the surrounding atoms in the crystal lattice into different configurations. When the electrons return to their ground state, the surrounding atoms retain their new configurations. So hole-burning in one spot effectively causes new frequencies to appear at different spots. These new frequencies can be used to store information. The memory is erased by shining an experimentally determined frequency of laser light on the new spots in order to return the crystal to its original configuration.

The other major problem which confronted Szabo's crystal memory concerned the tuneable lasers. These are cumbersome, expensive, wasteful of energy and notoriously temperamental — so temperamental, Szabo says, that they require "constant care and feeding." A computer memory dependent on these lasers was simply not practical. The problem has now been overcome by Bell Labs' development of so-called C³ lasers. (C-cubed stands for cleaved, coupled, cavity, a technical description of the laser.) These tuneable semiconductor lasers are simple, small, energy efficient and relatively cheap — in other words, almost ideal for a practical hole-burning memory.

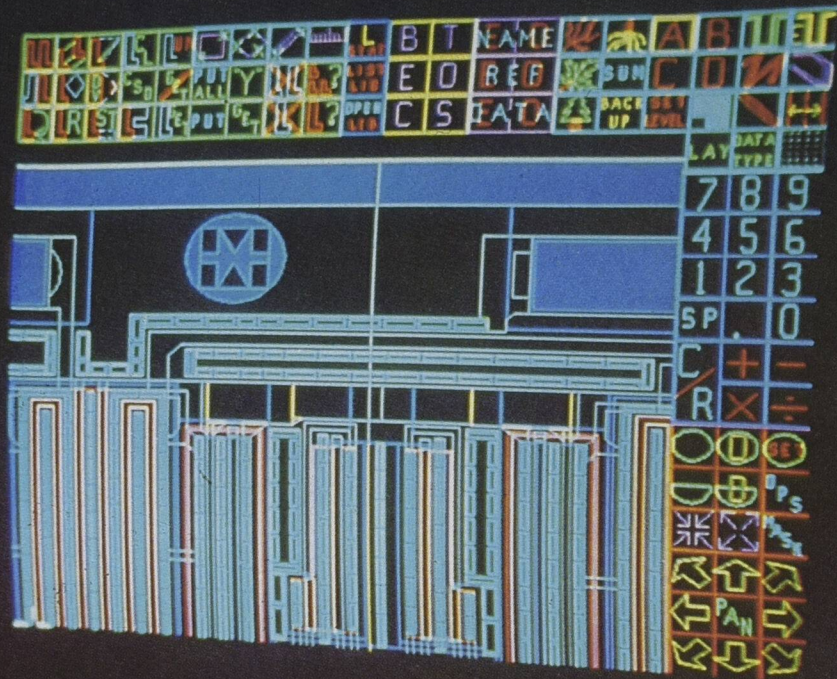
With the major problems of the crystal memory either solved or close to solution, Szabo is understandably elated. "This memory will

be as much as a million times bigger than conventional memories and will undoubtedly completely change the computer game." The 1,000 trillion bits which could be stored on a fingernail-sized square centimetre of material in such a memory, Szabo points out, surpass the 100 trillion bits estimated capacity of the entire human brain. He predicts that computers with such memories will eventually be impossible for humans to program. They will require the development of a true learning algorithm or self-programming capability. And such computers, Szabo says, will be the first true examples of artificial intelligence, of machines with the ability to learn from experience as humans do. In short, Szabo's memory may not only aid the development of fifth generation computers, it may require them.

But Szabo's optimism is tempered with some regret. In 1978, IBM received a U.S. patent similar to the hole-burning memory patent (U.S. and Canada) granted to Szabo in 1975. The IBM scientists reportedly gave serious thought to abandoning their application when they discovered Szabo's earlier patent. Nevertheless, the patent — differing from Szabo's primarily in that it explicitly mentions *permanent* hole-burning — was granted. Hole-burning, he says, was his discovery and the idea that such holes could be permanent was first published by Rebane in 1974 and was further developed by Dutch researchers.

The battle over patents on the crystal memory is apparently heating up. Szabo has recently succeeded with a new U.S. patent describing both a method of sweeping the laser across the crystal for rapid and efficient writing and reading, and a technique for creating holographic movies from the crystal memory. But he is concerned that a further patent he has applied for has been blocked by IBM — "even though I demonstrated the basic physics first."

An examination of the development of the electronics and computer industries suggests that Szabo's complaints may be more than just sour grapes. In fact, bitter patent disputes have been endemic to these



Mitel Corporation

industries from the very beginning. Thomas Edison himself became disillusioned with costly patent wars over his incandescent lamp, and came to dismiss a patent as nothing more than "an invitation to a lawsuit." In his 1982 book, *The New Alchemists*, Dirk Hanson describes how Edison's battles set the stage for what was to follow:

...the patent could be used as a potent weapon in the battle for the marketplace. By squeezing as many basic patents as possible out of a single invention, a company holding the rights could make it difficult if not impossible for another company legally to enter the market with a competitive product. And since every new generation of electronic inventions posed new and untested questions for the patent courts, it behooved companies to sue first and work out the merits of the lawsuit, if any, at a later date...

And so history has unfolded. For instance, the patent battle over the vacuum tube — a spin-off from Edison's light bulb, which laid the foundations of the electronics industry — raged in the U.S. courts for almost two decades at the beginning of this century. Priority for the invention of the digital computer, developed during the 1940s, was finally settled only in 1974. The patent dispute over the integrated circuit, the basis of the modern microchip revolution, lasted from 1959 to 1969; the battle over the laser, which also began in the late 1950s, is still being dragged through the courts.

In a similar vein, Alex Szabo suggests that an eventual court challenge on the basis of his patents could well be in the cards. "If IBM produces a product, I've still got the patent on the basic idea. Memories these days are a bigger business for IBM than computers. You're talking billions."

A computer-aided-design machine

For Szabo, work like his own provides evidence that Canada can produce research equal to that of the U.S., the Soviet Union or Japan. But the question remains as to whether we are willing to make the organizational and financial commitments needed to develop this research and turn it into a viable industry. "Do we want to just play copycats with what's already been done or do we want to take a chance and jump ahead?" he asks rhetorically.

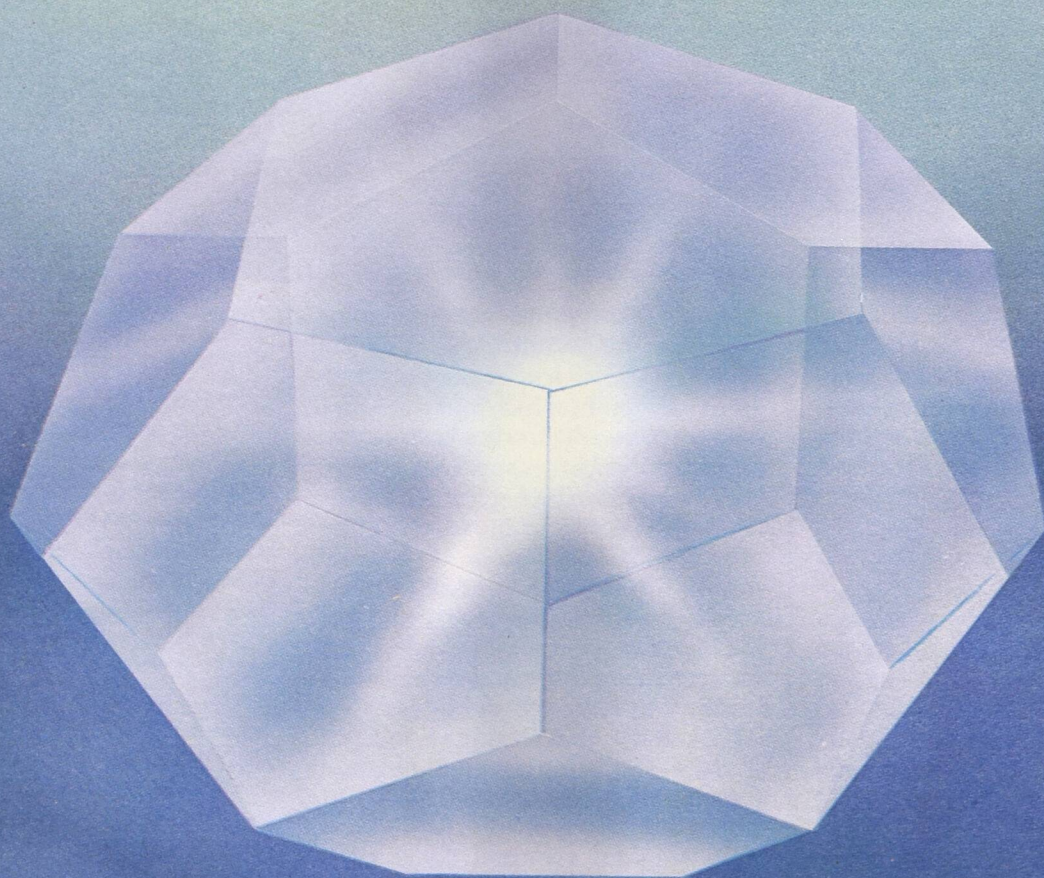
Meanwhile, both solitary researcher Alex Szabo and the high-powered team at IBM continue their work on crystal memory. ☾

Paul Tisdall is a freelance writer working in Ottawa.

Energy In Cold Storage

Methane Hydrates

Beneath the sea and under the frozen wastes of the Arctic lie vast reserves of energy in the form of gas hydrates that, once tapped, may extend our fossil-fuel reserves over several hundred years—and in a bizarre aside, account for the disappearance of ships and planes in areas like the Bermuda Triangle.



by Janice Nurski

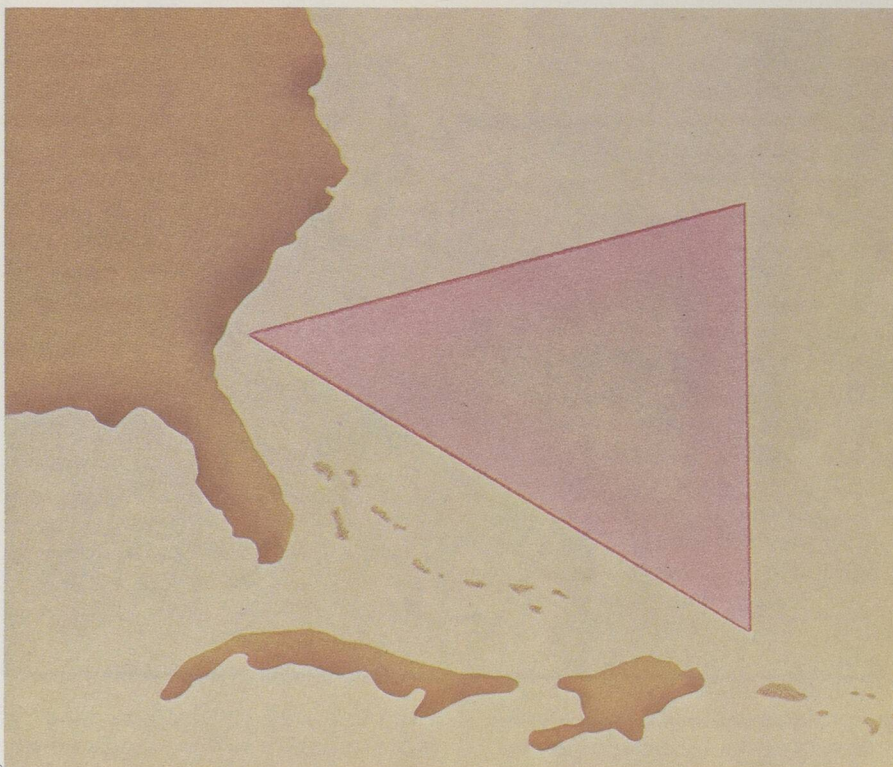
Blanchard

Enormous pressures and low temperatures at the sea bottom shape water and gas molecules into gas hydrates, unique structures that resemble ice. Unlike ordinary ice, however, the water molecules bond together in a three-dimensional network of spherical cages that trap neighboring gas molecules, such as methane, formed from organic sediment deposited over millions of years. The solid hydrate retains its stability until conditions, such as higher temperatures or lower pressures, cause it to "decompose" or melt, releasing enormous volumes of gas.

According to NRC chemist Don Davidson, more natural gas is likely caught up in gas hydrates than in all the known natural gas deposits under land. In order to exploit such a ready source of energy, NRC scientists are taking a close look at how hydrates behave under different conditions. What are the temperature and pressure ranges that keep the hydrate stable? How much heat is needed to melt the hydrate? They hope to take advantage of the fact that the energy needed to release the gas is little more than what is needed to melt ice. The methane in turn can be applied to a recovery process; in fact, combustion of as little as 7 per cent of the methane released from the decomposing hydrate provides enough energy to melt more hydrate.

Oceanographic surveys indicate that by far the greatest deposits of methane hydrates lie under the sea. If Russian predictions prove accurate, hydrate zones may in fact

John Bianchi



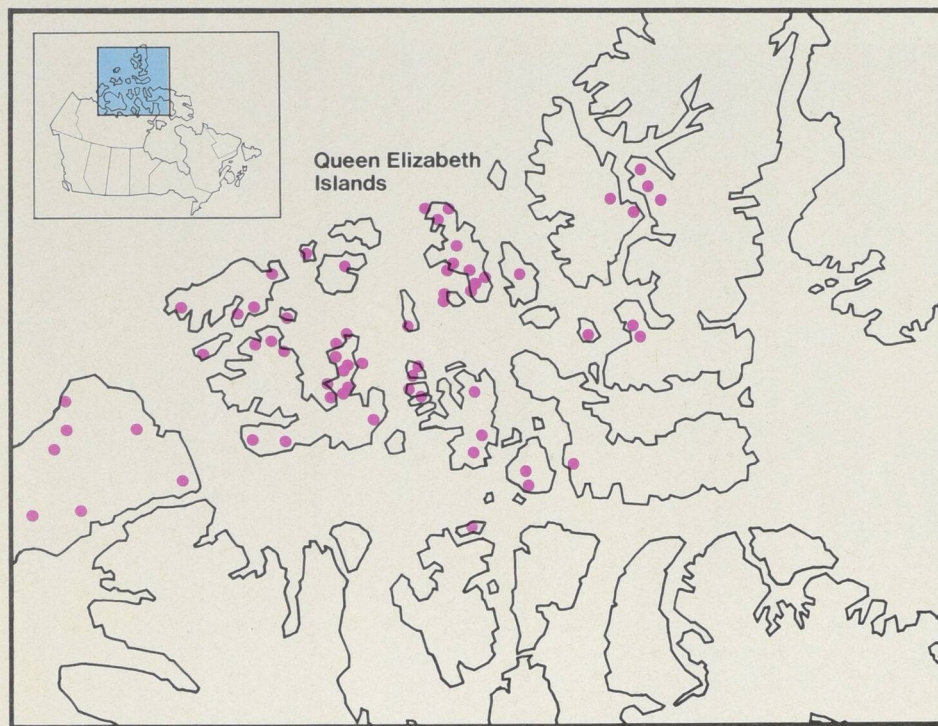
extend over 85 per cent of the sea bottom. One of the largest deposits — a hydrated zone several hundred metres deep, extending over several hundred square kilometres — lies off the coast of California, and it is here, Davidson speculates, that the first major gas recovery may take place. The sea itself will provide the cheapest source of energy for gas hydrate recovery. At 20°C, for example, the surface water is warm enough to melt the hydrate, if it can be pumped down into the hydrated zone. The gas might then be collected by some type of umbrella arrangement and piped away or transported by ship.

In northern Canada, the greatest hydrate deposits are found under the Beaufort Sea in an almost continuous layer, but deposits underlying

The mysterious disappearances of ships and aircraft in areas like the Bermuda Triangle (above) may be due to methane hydrates.

Artist John Bianchi's impression of the gas hydrate structure — a molecular 'cage' that traps gas molecules.

Energy may pave the seafloor



Arctic drilling sites where methane hydrates have been found.

terrestrial permafrosts occur sporadically and usually to a thickness of a few metres. By understanding the nature of the hydrates, scientists hope to predict where these seams occur, in part to minimize fire hazards and other problems encountered by exploration drilling crews who have accidentally punched through and heated up the hydrate, releasing the gas. Gas hydrate deposits also tend to form in drill holes and natural-gas transmission lines. Warm, moist gas brought up

from the well crystallizes when it hits the colder surface temperature, and eventually constricts or completely plugs up the opening. Such problems led the Russians to examine the phenomenon of solid gas deposits, and they are now experimenting with various recovery techniques in the hydrated zones found within their enormous natural gas fields in Siberia.

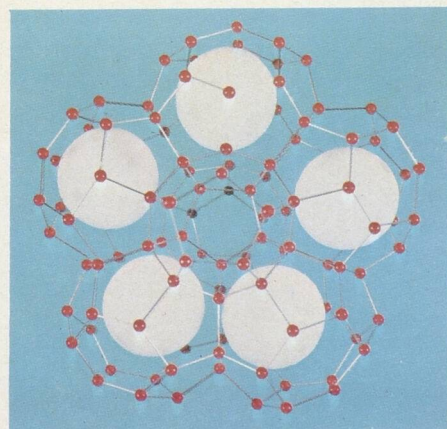
The exploratory techniques being studied for the recovery of heavy oil, such as steam injection or injection of hot gases, Davidson says, might be applied to gas hydrates, although the inaccessibility and harsh environment of the Arctic will forestall attempts to harness the energy for

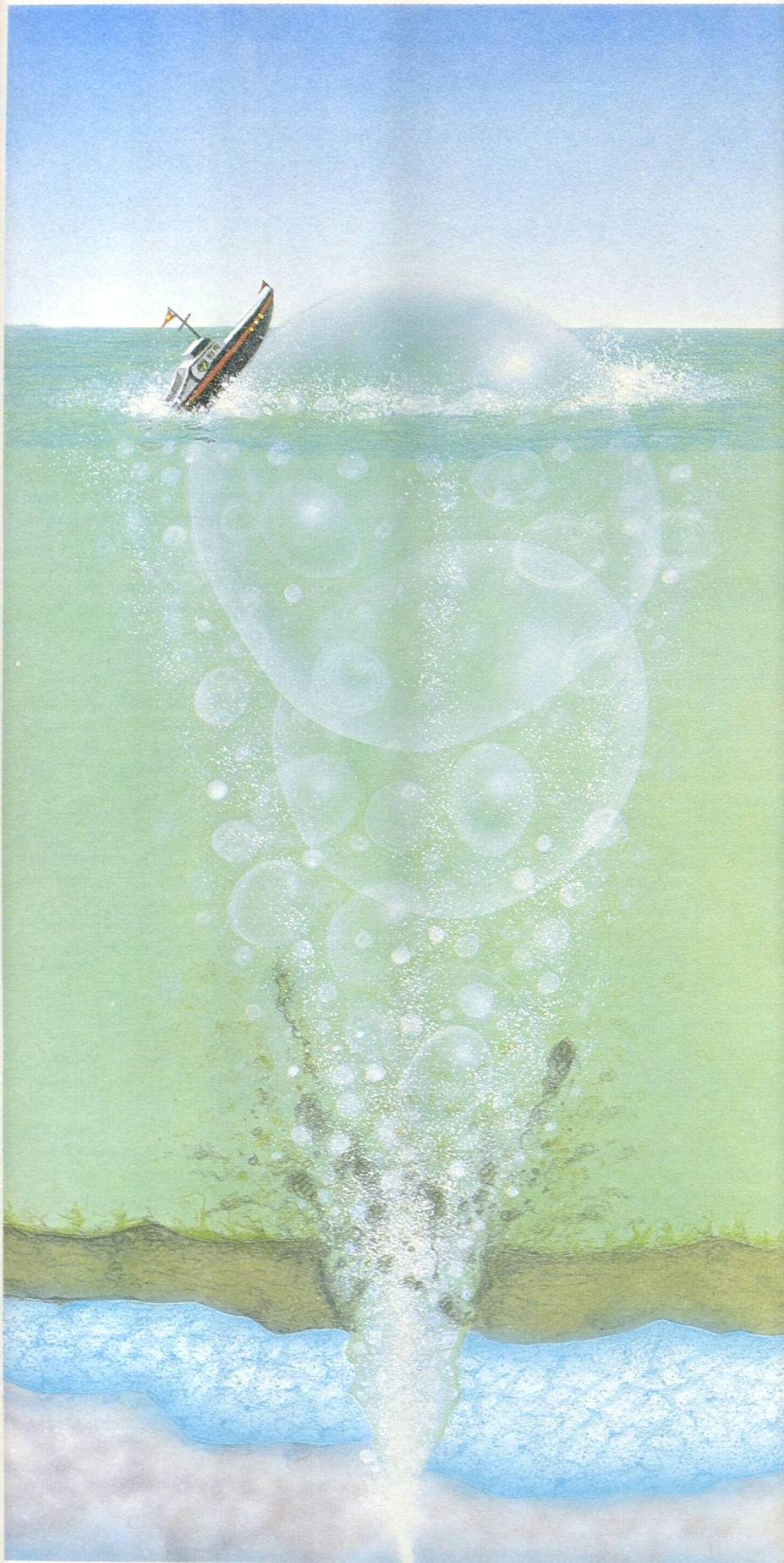
A model of the molecular structure of the gas hydrate. Enormous pressures and low temperatures shape water molecules (red balls) into a network that traps methane molecules (white balls) in spherical cages.



Chemist Don Davidson: "If predictions are correct, the sea bottom is paved with gold in the form of gas hydrates."

years to come. The nature of the hydrate is becoming better understood, but even if the technology were available, the abundance of natural gas and relatively cheaper



Is this what happens?

production costs make gas hydrate recovery too expensive at present. In the meantime, continued research will help tackle some of the problems already encountered with hydrates, and pave the way for future safe and inexpensive exploitation of these vast reserves.

How might the phenomenon of solid gas relate to the mysterious disappearances of ships and aircraft at sea? This too may be the result of natural gas blowouts. Richard McIver (McIver Consultants International, Houston, Texas) suggests that the hydrate zone acts as an impermeable barrier to underlying gas fields that accumulate where temperatures are too high for the formation of gas hydrates. If the seal cracks or breaks up because of an earthquake or other disturbance, free gas and chunks of decomposing hydrate shoot to the surface, erupting as waterspouts or causing turbulent patches of water. A large enough gas flow could produce a highly concentrated flammable bubble above the surface of the sea, posing a danger not only to ships but to low-flying aircraft.*

Aircraft pilots have reported sightings of waterspouts on the ocean which might be the result of these blowouts, although the theory has not been proven. The loss of ships has been reported more frequently in such places as the Bermuda Triangle, Davidson suggests, because of the large number of small ships and low-flying aircraft which pass through this area. In any case, he feels that gas hydrate blowouts are as likely an explanation as the other violent physical phenomena which have been advanced to account for the Bermuda Triangle. ☾

*Ref. R.D. McIver, *Amer. Assoc. Petrol. Geologists Bull.* 66, 789 (1982)

SUZUKI

Confidence in Canada's class

I vividly remember a moment years ago when I asked my son how he thought the Canadian hockey team would do in the coming world tournament. He was captain of his hockey team at the time, and quite a good player. His reply was, "Aw, they always choke. I'm rooting for the Czechs."

I was crushed by the cynicism and lack of faith evident in such a youngster. Ever since, I have been acutely aware of the terrible lack of heroes for Canadian teenagers.

Indeed, if we can generalize about such things, Canadians are modest about their own achievements to a point where they have little faith in doing anything that is world class. I often hear people bragging that Lorne Greene is a Canadian, while disparaging actors who still live in Canada. Well, to me, Lorne Greene is an American and it gives me little satisfaction knowing that he started with the CBC. Of course, it was once necessary for top Canadian talent to go to Europe or the U.S. to receive world acclaim. But we have long ago passed through that phase. Margaret Atwood, Northrop Frye, Robertson Davies, Pierre Berton, Anne Murray, Gordon Pinsent, are just a few of the talented people I would gladly place in an international arena. Yet, over and over, such people tell of running into the attitude, "You can't be that good, or you'd be in the States."

I've seen several cases of scientists carrying out research in Canada that was completely original but who could not get Canadian funds because there wasn't anyone else doing it in the U.S. or Europe. If we don't believe Canadians can be truly innovative, then it guarantees that we will always be imitative.

Years ago, I wrote to Prime Minister Trudeau decrying the lack of models of excellence for youngsters to admire and emulate. I said that they need to know that Canadians are world class so that they will not be afraid to try to be too. In my view, the scientific community could provide those models very quickly and so I suggested an increase in the amount of science funding over a 10-year span and the targeting of these new funds at the creation of centres of excellence, built around outstanding young scientists. Nothing came of it, but I have not altered my belief



that children need to know about first-rate people in their own country.

I have had a number of unpleasant experiences when I've expressed my concern about Canadian science. "Science transcends nationality" I've been told over and over, although I'd like to know where our research money comes from and why there's such a keen interest in a *national* science policy. "Nationalism is dangerous" I've been told. One of my colleagues at the University of British Columbia (from Britain) called me a fascist for suggesting that we make two lists of candidates for jobs in our department. One would be Canadian, the other everyone else. We would rate the Canadians and if we found one who met our standards, we would hire him or her without looking at the other list. If none of the Canadians was good enough, then we'd screen the rest.

For this I was called a fascist, yet any Canadian knows that the Americans discriminate against us for jobs in the U.S., so here we are putting Canadians at a double disadvantage by making them compete equally with every American applicant. I'm often told at meetings in the U.S. that Canadians are overly nationalistic and concerned with identity. That attitude always seems to me to be comparable to the rich aristocrat who can put down a poor person's concerns about money. When you've got it, you can downplay its importance. Yet, the most blatantly nationalistic and patriotic people I know are Americans, although they are unaware of it because they have reached a

point where they take their pride for granted. But Canadians aren't there yet and we still have to be self-conscious about it.

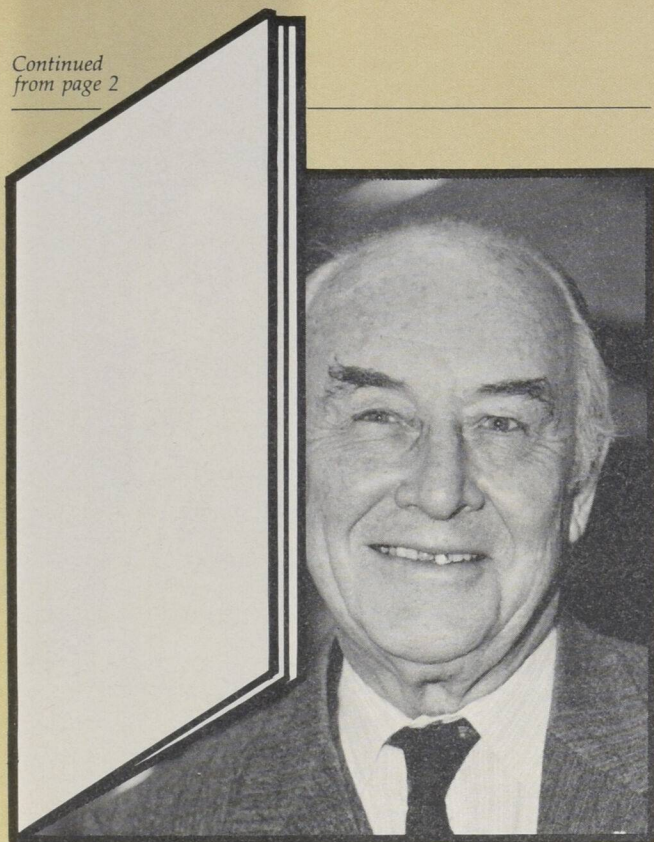
So, for the past couple of years, I've been trying to find examples of first-class Canadian science and technology that youngsters could be inspired by. And there are plenty. In one project, I have been looking at the history of inventions and ideas in the province of British Columbia, and the breadth and ingenuity of innovation there is amazing. What becomes apparent is that necessity does indeed bring out the impulse to improvise and innovate. The vast distances in B.C. have inspired new ways to communicate and to transport materials, forests have been exploited in novel ways, and so on. How many know that the walkie-talkie was invented by a Burnaby, B.C. resident or that the jolly jumper was made by a part-Indian woman who modelled it after the Indian cradles? The world's first self-propelled/self-loading/self-dumping log barge was designed and built in Vancouver. Container shipping was first started in B.C., and a Vancouverite designed the built-in handle on beer cartons. The stories are wonderful and varied.

A second project has provided me with many hours of vicarious pleasure. I am writing a book on research done in Canada that opened new avenues of world science. Again, the search has turned up an astonishing number of world class scientists. Just a few are Frederick Banting, James Collip, Gerhard Herzberg, Ernest Rutherford, Neil Bartlett, Gobind Khorana, Donald Hebb and Wilder Penfield. The stories of how these people found their fields and made their discoveries are fascinating. The lesson that comes home again and again is that good *people* are the key to important discoveries, not big grants, modern buildings or fancy equipment. It's people with ideas, curiosity and drive.

But, as governments lavish money on new research areas like genetic engineering and computers, I would urge them to focus on world class *people* and not confuse new buildings and large grants with doing good research. And for youngsters, I can assure you there are dozens of stories affirming that world class research can be carried out here in Canada. All we have to do now is get these stories told.

CBC

Continued
from page 2



Dr. Tuzo Wilson: First an Educator

change public attitudes while keeping science basically intact. As far as the schools go, you can upgrade tests, teacher qualifications, and equipment all you want. But the experimental element remains the single most vital thing. When you come down to it, testing by experiment lies at the heart of science.

Science Dimension: But how early can you start education by experimental procedure? Isn't this procedure mostly for adults?

Wilson: Oh no, not at all. Young children learn naturally by experimentation. We have a program here at the OSC to instruct children as young as three years old in simple scientific experiments. For this, they don't need labs or even desks: they sit on the floor and manipulate balloons, paper cups, water, yeast, soap, lemon juice — everyday items like that. Costs work out to under a dollar per child per session, and the child takes his 'lab equipment' home afterwards. Parents say their children prefer our program to the Saturday morning cartoons.

Science Dimension: Have you published this curriculum?

Wilson: No. We haven't had time. There are tens of thousands of youngsters in Canada who'd love to experience this program; and another three hundred million in China, for that matter. But our resources are limited. We simply haven't got around to publishing all our ideas yet.

Science Dimension: Do you have any other experimental programs?

Wilson: Certainly, they're our *raison d'être*. We have a one-woman travelling demonstration show we call our 'rent-a-teacher program.' Again, it's the experiments that make science instruction memorable, especially if you see them live. Another of our programs is a special school for senior high school students. These students come 24 at a time for a six-month semester. We work them hard; but we must be giving quality instruction, because 82 per cent of the girls and 64 per cent of the boys win college-entrance scholarships. They come from all over Ontario — from Windsor north to Cochrane. The teachers in this program rotate in and out of the regular Ontario secondary system, just as all our teachers here do; so although they have a freer rein at the OSC, they're still in touch with the real world.

Science Dimension: Does the OSC do anything outside Ontario?

Wilson: There are hundreds of millions of dollars being spent around the world these days on science centres, and so we're selling our hard-won expertise abroad. We license Canadian firms to design exhibits, fabricate them, set them up, and staff them for overseas clients. This approach is showing real success: our sales to Japan last year, for example, topped a million dollars.

We've also incorporated a private society called "Friends of Science" — "Les Amis de la science," which has 14 branches throughout the province. It's not so much a forum where scientists meet other scientists, like the American Association for the Advancement of Science, as much as a place where lay people can discuss science and watch experiments. Something like that is surely necessary if a consciousness of science and technology is to become a part of every educated person's life. ☞

GET YOUR OWN



It's fun to read SCIENCE DIMENSION
with a pack of friends. Canada's science magazine
has up-to-tomorrow news on science and technology,
packed with illustrations and written so you
can understand it. And it's free!

But all that makes SCIENCE DIMENSION pretty popular —
if you're a subscriber,
you know how your copies disappear.
And if you don't subscribe yet, isn't it time
you stopped reading SCIENCE DIMENSION
over someone else's shoulder?
Send in the reply card and GET YOUR OWN!

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

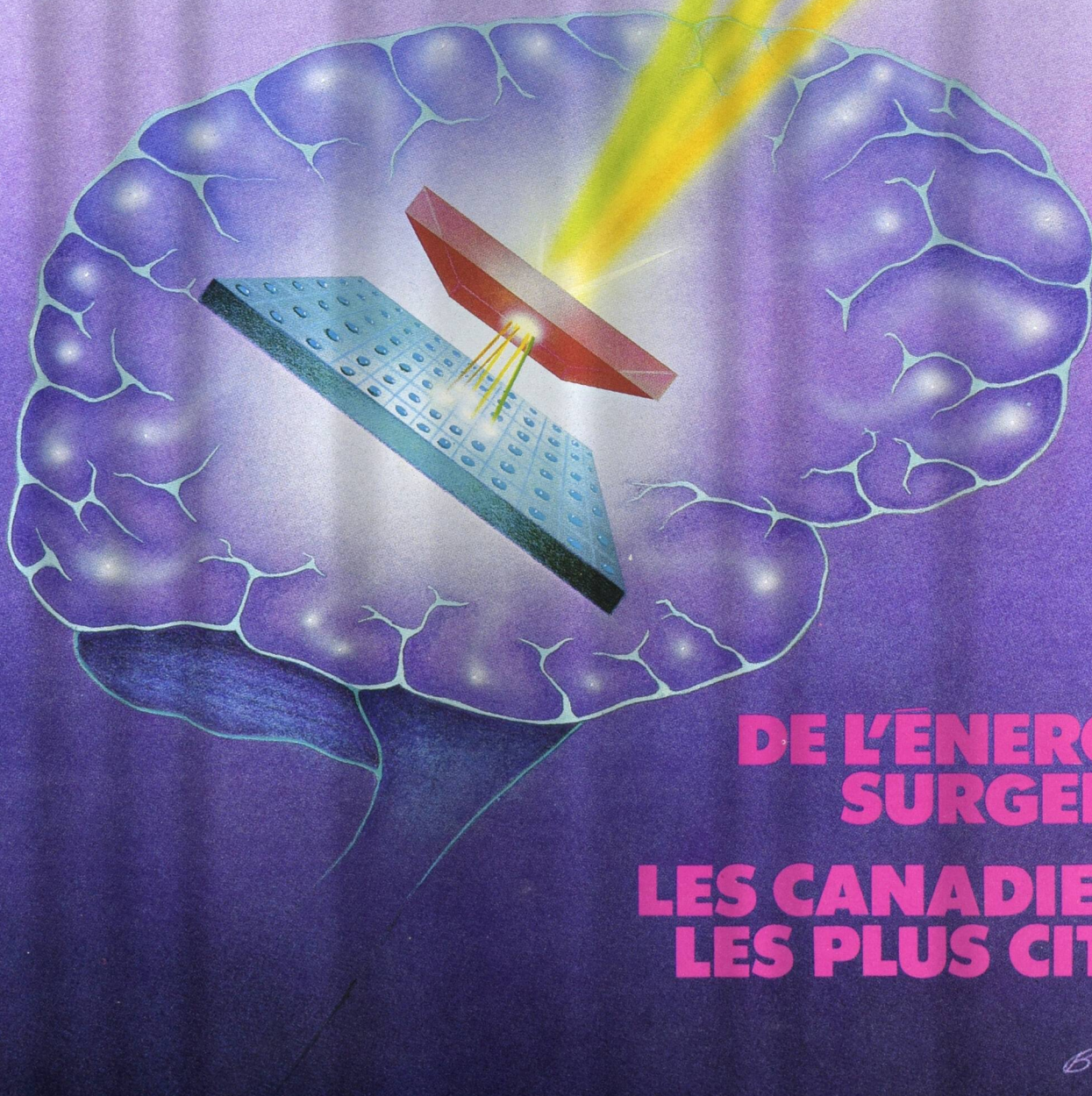
Changing your address? We need the number
printed on the upper right of your mailing address
label to make the change on our computer.

Canada

DIMENSION SCIENCE

1984/5

LA MÉMOIRE À CRISTAUX



**DE L'ÉNERGIE
SURGEÉE**
**LES CANADIENS
LES PLUS CITÉS**

Bianchi

Tuzo Wilson - éducateur par excellence

Professeur, voyageur et homme de science, John Tuzo Wilson fait partie du peloton de tête des grands chercheurs de réputation internationale du monde de la Science. Né à Ottawa en 1908, il a fréquenté les universités de Toronto, Cambridge et Princeton. Sa passion pour la physique et son enthousiasme non moins ardent pour la vie au grand air l'ont conduit à s'orienter vers la géophysique en 1927. Wilson dit que son laboratoire, c'est la Terre; mais à ses débuts, rares étaient ceux que fascinait autant que lui la géophysique. Dans les trois universités où il a reçu sa formation, les cours qu'il a suivis étaient les premiers jamais donnés dans cette discipline.

Mais le professeur Wilson a toujours trouvé naturel d'être en avance sur son temps. Il fut parmi les premiers à saisir la portée des nouvelles données géologiques recueillies par photographie aérienne dans les années trente et, dans les années cinquante, par les navires océanographiques en haute mer. À l'époque, la géologie était une science statique, purement descriptive; Tuzo Wilson a contribué à en faire une science dynamique, fondée sur la théorie de la tectonique des plaques. Il s'agit de plaques dites "crustales" (de la croûte terrestre) flottant sur des mers de roches en fusion.

En 1974, Wilson devenait directeur général de l'Ontario Science Centre (OSC) à Toronto. L'OSC, créé par l'Ontario pour marquer le Centenaire du Canada, n'est ni un musée d'histoire naturelle qui catalogue les espèces, ni un dépôt d'artefacts scientifiques; il s'agit plutôt de la plus grande installation publique au monde consacrée à ce qui constitue le fondement de la Science: l'expérimentation. Sous la direction de Wilson, l'OSC a étendu la sphère de ses activités à l'enseignement expérimental, car ce chercheur se considère avant tout comme un éducateur.

Dans le bureau de Wilson, adjacent à la tour administrative de l'Ontario Science Centre, règne un beau désordre: les surfaces planes disparaissent sous un demi-mètre de documents et on ne peut distinguer la couleur des murs tant sont nombreuses les distinctions qui les couvrent. Mentionnons les médailles Blaylock, Miller, Ewing, Bucher, Wollaston, Penrose, Carty, les prix Huntsman et Vetlesen et l'Ordre du Canada. C'est là qu'un rédacteur de DIMENSION SCIENCE, Bill Atkinson, l'a rencontré en mai dernier.



Dan Getz

"Rien ne peut remplacer la démonstration expérimentale."

Dimension Science: Dr Wilson, comment l'Ontario Science Centre a-t-il développé son approche expérimentale?

Wilson: De façon indirecte. À l'origine, on envisageait d'en faire un musée de l'histoire de la Science qui exposerait des pièces, remises à neuf, marquant les différentes étapes de l'évolution des sciences et de la technologie. Mais à mesure que les conservateurs du musée rassemblaient leur nouvelle collection, ils se rendirent compte qu'elle ne contiendrait jamais d'articles véritablement de premier ordre, ceux-ci étant déjà dans des musées comme la Smithsonian Institution. Cela signifiait que l'Ontario aurait dû se contenter d'un musée régional plutôt que d'un musée de classe internationale, ce qui fut jugé, judicieusement à mon avis, inacceptable. D'un autre côté, il existait des précédents qui militaient en faveur d'une institution qui puisse enseigner, de façon intéressante, les principes scientifiques

fondamentaux aux enfants et aux adultes. Le gouvernement de l'Ontario réunit donc autour d'une table ronde une centaine d'hommes de métier avec des scientifiques et construisit l'OSC tel qu'il est aujourd'hui: une installation de classe internationale.

Naturellement, cela ne s'est pas fait tout seul! Il n'était pas facile de concevoir des expériences qui devaient être vues par un million de visiteurs par année. La conception du centre s'est donc faite au fur et à mesure que le projet prenait forme. L'an dernier, nous avons reçu un million et demi de visiteurs de 51 pays, ce qui fait de nous, pour les touristes étrangers et après les Rocheuses et les Chutes Niagara, la plus importante attraction canadienne.

Dimension Science: Le Conseil des sciences du Canada vient de publier un rapport sur l'enseignement des sciences, dans lequel on recommande aux écoles canadiennes de mettre davantage l'accent sur les sciences. Avez-vous des commentaires à faire sur ce rapport?

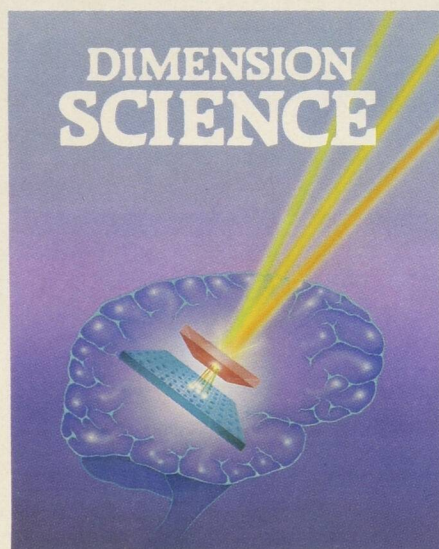


DIMENSION SCIENCE

VOLUME 16, N° 5 1984

Rédactrice en chef Madeleine Vaillancourt
Chef de la production Joan Borsu
Conception graphique Jean L. Richard
Réalisation graphique Carisse Graphic Design Ltd.
Imprimé au Canada par Dollco Printing

31159-4-0011



John Bianchi

NOTRE COUVERTURE:

Voici, selon John Bianchi, comment un ordinateur de cinquième génération pourrait emmagasiner un million de milliards (c'est approximativement le nombre de litres d'eau contenus dans le lac Supérieur) de bits sur une surface de un centimètre carré. La mémoire à cristaux dont le Dr Alex Szabo, du CNRC, est l'un des inventeurs ferait appel aux différentes longueurs d'onde d'un laser modulable pour introduire des changements permanents et effaçables dans la mémoire à accès sélectif du superordinateur (voir article p. 21).

Entrevue	2
Lettres	4
Capsules	5
La mesure du mérite Ceux dont les idées comptent le plus	7
Machines pensantes	21
Suzuki	29
De l'énergie surgelée Les hydrates de méthane	30

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*.

Lettres

Le CRDI a fait sa part

J'ai lu avec grand intérêt l'article sur le manioc que vous avez fait paraître dans le numéro 3/1984 de *Dimension Science*. Au fur et à mesure de la lecture de l'article de Paul Tisdall, je me félicitais de retrouver le nom d'un chercheur bien connu du Centre de recherches pour le développement international (CRDI), le Dr Kartha, de même que la mention d'organismes internationaux impliqués dans la préservation de plasma germinatif comme le Centro internacional de agricultura tropical (CIAT) de Cali en Colombie.

Comme je poursuivais ma lecture, je devenais de plus en plus surpris de ne pas voir apparaître quelque part le nom du Centre de recherches pour le développement international. En effet, le CRDI a apporté une aide substantielle aux travaux de ce chercheur sur le manioc. En fait, la Division des sciences de l'agriculture, de l'alimentation et de la nutrition du CRDI a accordé 49 000 \$ au Conseil national de recherches en 1978 et 1981 pour que le docteur Kartha poursuive ses recherches sur la congélation des méristèmes. Il me semble, en toute logique, que l'aide d'un organisme canadien comme le CRDI aurait pu être mentionnée dans le texte.

Robert Charbonneau
Division des communications
C.R.D.I.
Ottawa

Réponse — L'auteur de l'article, Paul Tisdall, n'était pas au courant de l'aide accordée par le C.R.D.I. au Dr Kartha. Nous espérons, par la publication de votre lettre, corriger quelque peu cette omission involontaire.

Louanges

L'article intitulé "Scruter la pluie", paru dans le numéro 1984/2 de *Dimension Science*, est un excellent texte de référence pour le programme "Biologie 20" en Alberta. Il offre plus qu'une approche classique du problème.

Par ailleurs, votre publication contient beaucoup d'articles touchant les domaines de la chimie et de la physique. Ces articles donnent à l'étude des

sciences des exemples concrets d'applications.

Plusieurs élèves lisent l'exemplaire que je reçois à l'école et, donnant suite à votre offre, nombre d'entre eux ont souscrit un abonnement d'un an.

Dimension Science est un excellent magazine.

Philip Lenko
Hilltop High School
Whitecourt, Alberta

Gaffe solaire

Dans un récent numéro de *Dimension Science* (1984, vol. 16, n° 1), vous avez publié un article fort intéressant sur l'astronomie terrestre au CNRC. L'illustration de la page 13 contient toutefois plusieurs erreurs. La légende indique qu'il s'agit d'une "image du Soleil obtenue à l'Observatoire de Shirley's Bay" dans "la fenêtre de la raie alpha de l'hydrogène". Or cette photo a été prise par des astronautes à bord du Skylab en orbite autour de la Terre à la longueur d'onde de 304 angströms (soit celle de l'hélium à ionisation unique). Un rayonnement de cette longueur d'onde ne peut traverser l'atmosphère terrestre. Les photos du Soleil dans la raie alpha de l'hydrogène sont prises à la longueur d'onde de 6562 angströms (qui correspond à la raie la plus intense de l'hydrogène) dans la partie rouge du spectre visible qui atteint le sol après avoir traversé l'atmosphère terrestre. De surcroît, la photo a été inversée...

Cette photo a été publiée, entre autres, dans *The New Solar System* 1982, 1981 (éd. J.K. Beatty et al., Cambridge University Press, p. 12).

Il est particulièrement navrant qu'un article sur l'astronomie terrestre soit, par erreur, illustré au moyen d'une photo prise au-dessus de l'atmosphère terrestre!

P.H. Andersen
Maître assistant
Université du Manitoba
Winnipeg, Manitoba

Réponse — Il s'agit bien d'une erreur de notre part. La lettre du professeur Andersen nous est parvenue peu après que nous ayons reçu un appel rectificatif de Shirley's Bay!



Un Stanois nous écrit

Je reçois régulièrement *Dimension Science* et le dernier numéro m'a particulièrement intéressé avec l'article sur la radioastronomie.

Lecteur fidèle depuis plusieurs années, j'apprécie beaucoup votre revue pour la variété et le choix de ses articles. Et puis, un peu de science canadienne vers la France, cela fait du bien.

Dr Jacques Trémolières
Ing. Méc. et Électron.
Biologiste
Stains — France

Éloges

C'est avec beaucoup d'intérêt que j'ai lu la rubrique de Suzuki dans *Dimension Science*. Permettez-moi de vous féliciter d'abord pour votre excellente publication et, ensuite, de féliciter le Dr Suzuki de nous rappeler à un moment particulièrement opportun que la recherche fondamentale est toujours à la source de toutes les applications. Mes étudiants ne l'oublieront pas. Merci.

Isidore A. Julien
Professeur de biologie
Roxbury Community College
Boston, Massachusetts

Capsules

Les 25 ans de la Voie maritime

Mille neuf cent quatre-vingt-quatre marque le 25^e anniversaire de la construction de la Voie maritime du Saint-Laurent, réseau d'écluses, de canaux et de chenaux qui permet de naviguer sur le fleuve Saint-Laurent de Montréal aux lacs Ontario, Érié et aux autres Grands Lacs situés en amont. Avant la construction de la Voie maritime, le laboratoire d'hydraulique du CNRC en fit une maquette pour étudier toutes les conditions hydrauliques du fleuve. Vingt-cinq ans plus tard, la Voie maritime transporte plus de fret (50 millions de tonnes par année) que jamais. Nous voyons ici un segment de la maquette construite par le laboratoire d'hydraulique du CNRC il y a 25 ans et représentant la Voie maritime dans la région de Cornwall.

Anne McIlroy est une rédactrice indépendante d'Ottawa.



CNRC

L'eau comme outil de coupe

La plupart des gens à qui vous demanderiez ce qu'ils font de l'eau vous répondraient probablement qu'ils la boivent, s'en servent pour prendre leur douche ou arroser leur jardin. Mais, à la même question, le Dr Mohan Vijay du Conseil national de recherches vous donnerait la réponse suivante: "On l'utilise pour couper du béton armé, du granit, de l'aluminium et presque n'importe quel autre matériau."

Vijay fait de la coupe à l'aide de jets d'eau à haute pression qui ont le même effet qu'une lame de couteau bien aiguisée. Des moteurs d'une puissance pouvant atteindre 150 kilowatts (200 HP) permettent d'obtenir un débit d'eau de quelque 80 litres par minute et qui sort d'un ajutage (bec) ayant généralement la forme d'un dé à coudre et dont le diamètre varie de 0,076 à 0,635 millimètres. Si l'on maintient l'ajutage à une pression allant jusqu'à 310 mégapascals (45 000 lb/po²), le jet peut rapide-

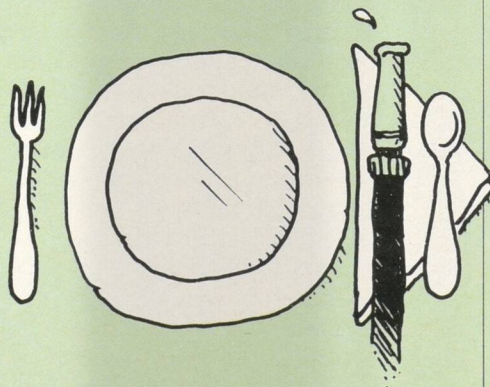
ment trancher la plupart des matériaux sans causer beaucoup de gâchis, de gaspillage ou de perturbation dans ledit matériau.

"Les applications industrielles de la coupe par jets d'eau sont innombrables", explique Vijay. "Bien que cette technologie existe depuis plus d'une décennie déjà, de récents perfectionnements dans le domaine des pompes à haute pression l'ont rendue plus fiable, et donc plus intéressante

du point de vue économique, que jamais."

Ce genre de jets d'eau est déjà très couramment employé pour les gros travaux de nettoyage (élimination des organismes marins qui s'accumulent sur les plates-formes pétrolières côtières, par exemple) et commence à être utilisé dans l'industrie minière. Certaines compagnies comme Inco et Falconbridge en étudient les possibilités d'application, et des jets d'eau sont déjà à l'oeuvre dans les mines de charbon de la Kaiser Corporation en Colombie-Britannique. Du fait qu'ils permettent de couper le béton, les jets d'eau pourraient être utiles dans l'industrie de la construction, surtout pour se débarrasser des débris produits par la démolition des bâtiments.

Mais leur utilité ne se limite pas aux gros travaux; on peut également s'en servir pour des travaux qui exigent plus de délicatesse. Le CNRC a en effet mis au point un instrument capable de couper de façon précise la fourrure, les parements d'aluminium, le caoutchouc et d'autres matériaux.



L'ajutage de cet instrument est en saphir synthétique et ressemble à une minuscule perle dont le diamètre est inférieur à 0,076 mm. Selon Vijay, l'eau jaillissant de cet ajutage peut couper la plupart des matériaux aussi bien qu'un couteau, mais sans les problèmes associés à la coupe

mécanique. (Il n'y a pas de lames qui s'émoussent!)

On enregistre une demande de plus en plus importante pour ce genre d'instrument de précision dans le secteur manufacturier, et le CNRC a autorisé une entreprise canadienne, Indescor Hydrodynamic Inc., à en

lancer la fabrication commerciale. "Cette compagnie fabrique aussi deux autres sortes d'outil de coupe hydraulique", dit Vijay. "Ses prévisions de ventes sont bonnes, et elle a déjà de nombreux clients, surtout dans l'industrie du nettoyage."

Anne McIlroy est une journaliste indépendante d'Ottawa.

La pollution d'un étang par le fluorure

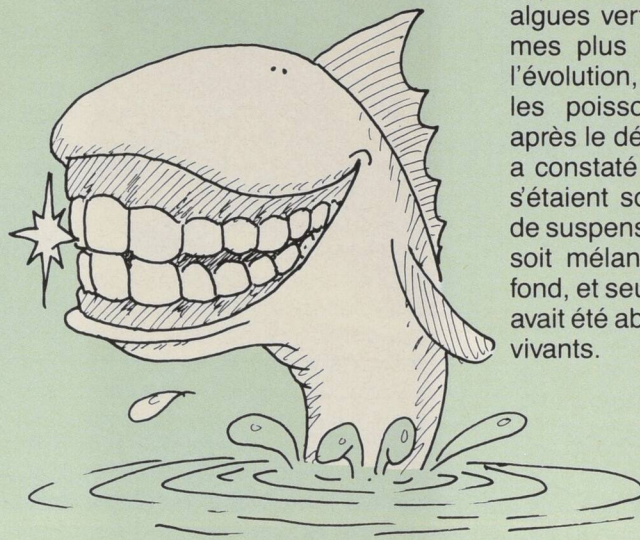
Des scientifiques canadiens ont tiré de précieux renseignements d'une étude effectuée en France sur la pollution d'un étang par le fluorure. Les applications des fluorures, ou autres composés du fluor, sont très répandues dans la société moderne. Ces composés sont utilisés pour la prévention des caries dentaires, pour le maintien de la pression des cannettes d'aérosols, ainsi que dans la fabrication de l'aluminium et des tapis synthétiques. Mais, nous ignorons encore ce que deviennent ces fluorures dans l'environnement après utilisation.

La plupart des fluorures industriels se répandent dans l'atmosphère puis retombent éventuellement sur terre sous forme de pluie. Là ils se combinent et se recombinaient à d'autres éléments et composés pour aboutir dans la nappe phréatique. Mais la mesure des taux de fluorure contenus dans l'eau potable est difficile à interpréter car ce composé peut également provenir de l'infiltration de l'eau dans certaines roches qui en contiennent naturellement.

La teneur en fluorure de l'eau non polluée est en moyenne d'environ une partie par dix millions (0,1 ppm). Mais on a déjà enregistré des taux 35 fois supérieurs dans des régions industrielles. Quels effets pourraient-ils donc avoir sur toutes les espèces végétales et animales de la chaîne alimentaire?

Akira Kudo, chercheur du CNRC détaché du laboratoire de biologie végétale du Centre d'études nucléaires, à Grenoble, en France, et Jean-Pierre Garrec, un des chercheurs de ce centre, ont pollué volontairement un étang par du fluorure. Pour cela, ils ont déversé une importante quantité de fluorure d'ammonium dans un étang de 12 m² dont la

flore et la faune étaient déjà bien établies, puis ils ont procédé au moniteurage de l'effet toxique de ce produit ainsi que de sa distribution et de son transport au cours d'une période de 30 jours. Kudo et Garrec ont précisé que cet étang était suffisamment grand pour permettre d'obtenir des



résultats expérimentaux satisfaisants et suffisamment petit pour une étude exhaustive.

Aussitôt après le déversement du fluorure, les deux chercheurs ont observé la formation d'une substance blanche gélatineuse à la surface de l'étang. Il semblait s'agir de fluorure de calcium (CaF₂), l'un des produits des réactions chimiques rapides qui se déroulent après la dissolution de nombreux fluorures dans l'eau du sol. Et les résultats obtenus après 30 jours d'observation donnent à penser que ces fluorures altérés sont moins toxiques que les fluorures déversés au départ, car à la grande surprise des chercheurs, seule une faible perturbation de la vie de l'étang a été notée. Malgré des concentrations de fluorure atteignant 5 000 ppm (soit

une partie par 200), aucune absorption par des organismes de la chaîne alimentaire n'a été enregistrée. En fait, la pénétration du fluorure a été plutôt superficielle et, contrairement à ce qui en est avec d'autres polluants tels que les métaux lourds, l'accumulation du fluorure a été plus importante chez les plantes et les algues vertes que chez les organismes plus avancés sur l'échelle de l'évolution, tels que les mollusques et les poissons. Vingt-quatre heures après le déversement du fluorure, on a constaté que 99,8% de ce produit s'étaient soit accumulés sous forme de suspension à la surface de l'étang, soit mélangés à des sédiments de fond, et seul 0,2% du volume déversé avait été absorbé par des organismes vivants.

Ces résultats sont en contradiction avec d'autres données qui semblent indiquer que l'absorption du fluorure est plus importante et plus rapide dans les systèmes aquatiques. Cependant, Kudo et Garrec font remarquer que cette étude a été effectuée à la fin de l'hiver, période au cours de laquelle l'activité biologique de l'étang est à son point le plus faible. Ainsi, il serait possible qu'à ce moment-là l'écosystème soit plus résistant à la pollution par le fluorure. Si cette hypothèse s'avère exacte, on pourrait en déduire qu'à certaines périodes l'écosystème est plus vulnérable qu'à d'autres. Kudo et Garrec estiment que la réalisation d'études supplémentaires de ce type pourrait aboutir à la mise au point de méthodes sûres et peu coûteuses pour lutter contre la pollution par le fluorure.

La mesure du mérite

Ceux dont les idées comptent le plus

Tout comme les grands musiciens et les grands écrivains, les scientifiques qui excellent dans leur domaine sont considérés d'emblée comme des autorités par leurs pairs. Recherchés par les étudiants les plus brillants, ils accumulent prix, bourses et postes prestigieux et la valeur de leur contribution semble être unanimement reconnue.

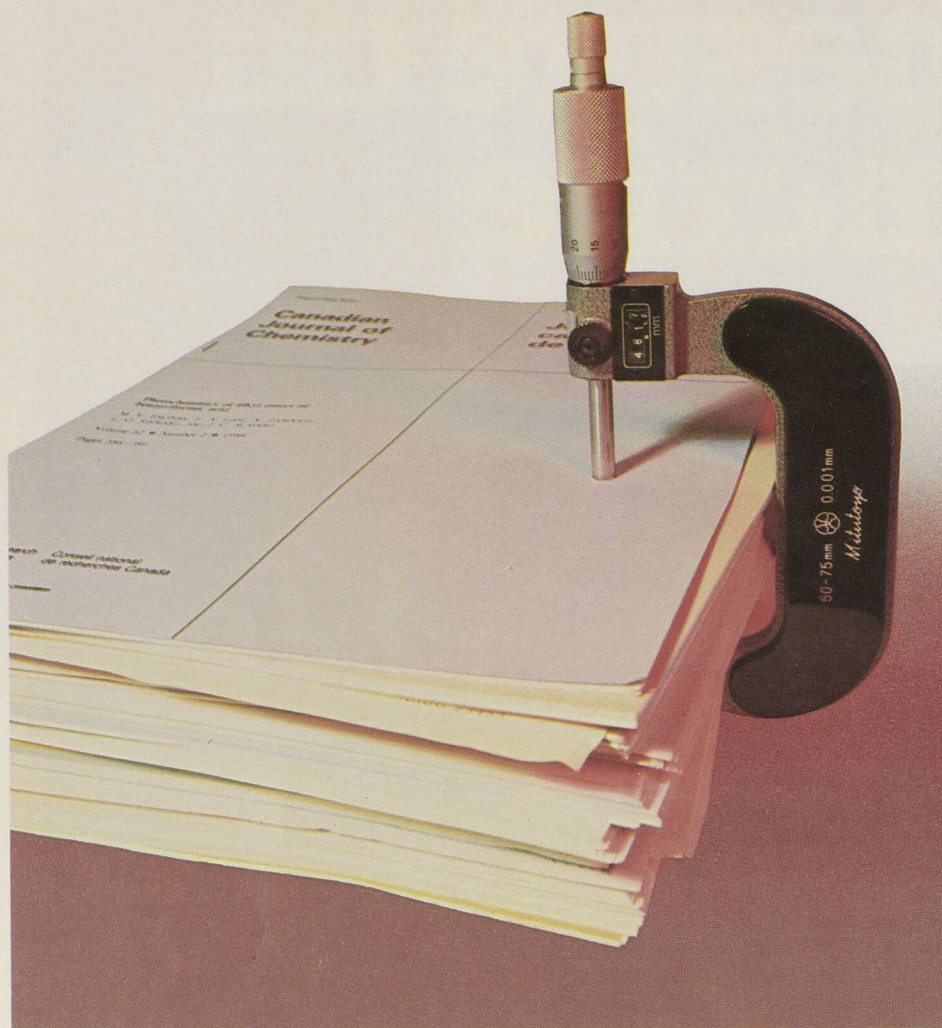
Mais s'agit-il uniquement d'un jugement subjectif ou existe-t-il une façon objective d'identifier ces vir-

tuoses de la Science? Peut-on mesurer le mérite scientifique?

Le travail d'un scientifique est de produire des connaissances. Il peut diffuser celles-ci lors de rencontres officielles avec des collègues, de discussions ou d'appels téléphoniques ou, de façon plus officielle, lors de conférences et par la publication de livres et de communications scientifiques. Parmi ces dernières,



par Séan McCutcheon



Dan Getz

les communications publiées dans des revues scientifiques spécialisées sont, en vertu d'une convention depuis longtemps établie, considérées comme les plus importantes. Environ deux millions de ces communications scientifiques sont publiées chaque année et ce nombre est appelé à doubler tous les dix ans. Le prestige d'un scientifique se fonde par conséquent sur les articles qu'il publie et celui qui ne publie pas reste généralement méconnu.

Si les meilleurs scientifiques étaient également les plus prolifiques, il serait facile de les classer par ordre de mérite en se basant sur le nombre ou le poids en papier représenté par les articles qu'ils ont publiés. Malheureusement, tout n'est pas si simple et, dans le domaine de la production scientifique comme dans d'autres, quantité n'est pas toujours synonyme de qualité.

Il peut sembler avantageux pour un scientifique de réécrire un article concis et bien structuré, même au risque de lui faire perdre sa sub-

stance, en vue d'en répartir la matière sur deux articles ou plus. "Publier ou périr" est le mot d'ordre: plus le nombre d'articles qu'il produit est grand, meilleures sont ses chances de conserver son poste. Mais ce n'est pas avec des travaux de recherche médiocres qu'un scientifique pourra gagner le respect de ses pairs; des travaux banaux et sans originalité risquent plutôt de le faire sombrer dans l'oubli.

Mais les scientifiques dont les travaux sont originaux et rigoureux sont lus — et abondamment cités.

La recherche scientifique est une activité collective et cumulative. Elle consiste d'abord à réfuter, à vérifier et à développer les travaux d'autres chercheurs. Même Isaac Newton a reconnu sa dette envers ses prédécesseurs. "Si j'ai pu voir un peu plus loin, a-t-il écrit, c'est parce que je suis monté sur les épaules de géants."

Les scientifiques rendent aujourd'hui hommage à ceux dont les travaux les ont inspirés en les citant

dans des notes en bas de page. Ils citent ceux qui ont fait des découvertes importantes dans leur spécialité, ceux dont ils ont utilisé les données ou les méthodes expérimentales ou ceux dont les résultats coïncident avec les leurs.

La fréquence avec laquelle les travaux d'un chercheur sont cités serait-elle alors une mesure fiable et objective du mérite de ce dernier?

Pas nécessairement. En effet, les scientifiques ne citent pas uniquement les contributions importantes. Ils citent également des expériences futiles ou des données inexactes. Ainsi, la controverse soulevée il y a quelques années sur la poly-eau a valu aux auteurs d'articles sur ce sujet de nombreuses citations, mais leurs travaux n'ont guère eu de retombées durables puisque la poly-eau, nous le savons aujourd'hui, n'existe pas.

Il n'empêche que la meilleure façon de juger de la valeur d'un scientifique contemporain demeure probablement l'interprétation intelligente du nombre de citations dont ses travaux font l'objet chez d'autres chercheurs.

Eugene Garfield, fondateur et éditeur des *Current Contents* et du *Science Citation Index* (deux outils bibliographiques qui répertorient l'ensemble des articles scientifiques) ont compilé une liste des mille auteurs ayant obtenu le plus grand nombre de citations pour des articles publiés entre 1965 et 1978 et portant sur tous les domaines scientifiques. Vingt-trois d'entre eux sont rattachés à des institutions canadiennes.

Dans les pages qui suivent, nous vous présentons cinq de ces scientifiques canadiens de renom, soit:

Phil Gold, de l'Université McGill, à Montréal,

Keith Ingold, du Conseil national de recherches, à Ottawa,

Howard Clark, de l'Université de Guelph,

John Polanyi, de l'Université de Toronto, et

Ian Smith, du CNRC, à Ottawa.

Phil Gold

*Le cancer est une chose
curieuse.*

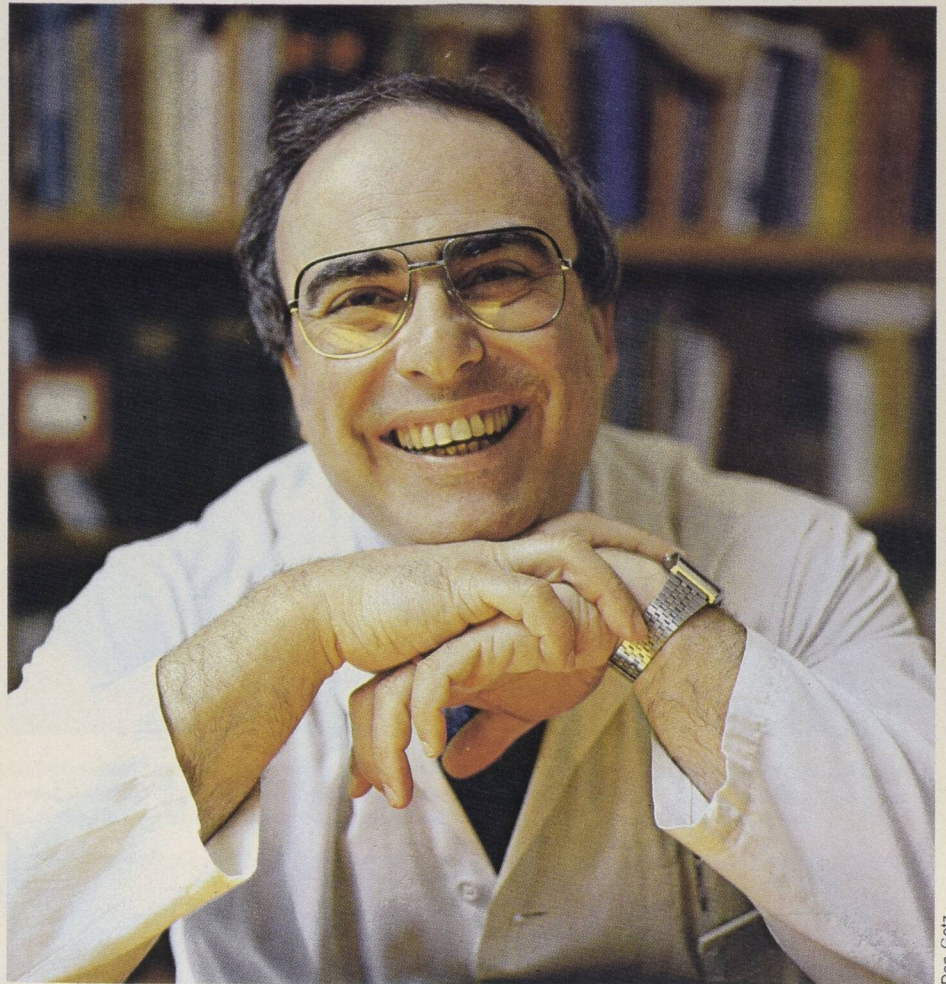
*J'aimerais avoir le souffle
poétique d'Homère*

*Pour dire les malheurs du
carcinome rectal,*

*Qui tue plus de gens aujourd'hui
Que n'en périrent lors du
massacre de Troie.*

C'est alors qu'il se mourait d'un cancer du rectum que le philosophe anglais J.B.S. Haldane a écrit ces vers courageux. Le cancer est, après les maladies du cœur et des artères, la plus grande cause de décès chez l'adulte dans les pays industrialisés. Les organes où se forment le plus fréquemment des tumeurs malignes sont les poumons, les seins et les intestins. Ces derniers — ou, pour être plus précis, la partie inférieure du tube digestif, y compris le côlon et le rectum — sont devenus les sites de prédilection du cancer chez l'homme.

Il y a environ vingt ans, Phil Gold — qui effectuait alors des recherches en physiologie à Montréal dans le cadre de son programme de doctorat — découvrit un facteur permettant de diagnostiquer le cancer de l'intestin: une substance qui était présente à l'intérieur des cellules malignes mais absente des cellules normales — sauf, fait intéressant, chez les cellules de l'embryon humain. En examinant les implications de sa découverte, Gold, et d'autres chercheurs à sa suite, a dévoilé de nombreux aspects fascinants de la biologie des cellules cancéreuses humaines. Depuis les années 70, les oncologistes (spécialistes des tumeurs cancéreuses) ont recours à un test qui permet de déceler cette substance dans le sérum sanguin d'un patient: il s'agit du premier test sérologique jamais mis au point pour



Dan Getz

Phil Gold: À la recherche des anticorps du cancer

le diagnostic du cancer chez l'être humain.

Âgé de 48 ans, Phil Gold est un homme affable et polyvalent: il est à la fois scientifique, professeur, administrateur, porte-parole et chef de file de la communauté de la recherche médicale, et médecin.

Il est né et a grandi à Montréal, où il réside, et il a étudié la biologie et la géologie à l'Université McGill. Alors qu'il finissait son baccalauréat, Arnold Burgen — aujourd'hui Sir Arnold et maître du Darwin College de l'Université de Cambridge — qui était à l'époque son mentor, lui demanda ce qu'il comptait faire.

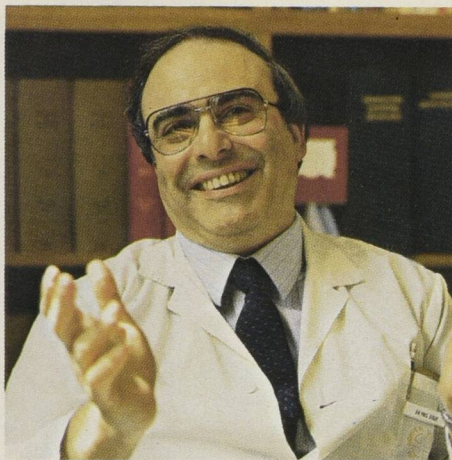
"Eh bien, j'ai l'intention d'entreprendre des études de doctorat sous votre direction", se hasarda-t-il à répondre.

Burgen objecta: "Vous ne connaissez pas suffisamment la physiologie humaine, et la seule école qui puisse vous l'enseigner est la faculté de médecine." C'est ainsi que Gold devait ajouter la médecine à sa formation scientifique.

En 1961, Gold obtint son doctorat en médecine et, grâce aux recherches en hématologie qu'il fit sous la direction de Burgen pendant les mois d'été, sa maîtrise en physiologie. (Il remporta également plus

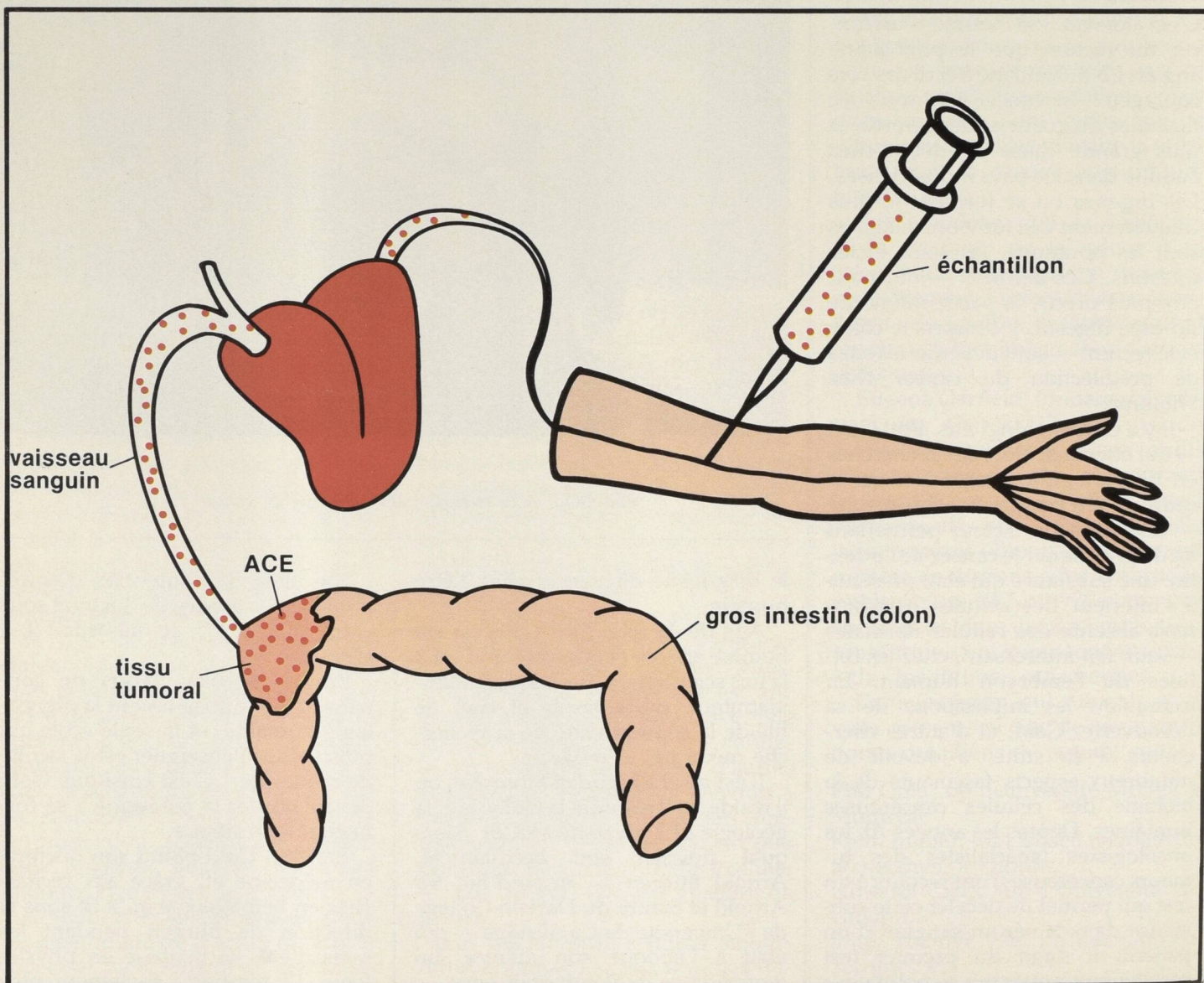
Des gènes dont l'activité s'était arrêtée à la naissance s'activent au sein de la tumeur.

d'une douzaine de bourses, de prix, de médailles et de distinctions diverses.) Il se mit alors en quête d'un projet de recherche pour sa thèse de doctorat. Burgen l'incita fortement à poursuivre ses recherches en hématologie mais, sachant que ce dernier était sur le point de retourner en Angleterre, Gold entreprit de se chercher un nouveau mentor, qu'il trouva en la personne de Sam Freedman, allergiste et immunologiste, et il se découvrit du coup un nouvel intérêt pour l'immunologie du cancer.



L'immunologie est la science qui traite de la façon dont le corps reconnaît et détruit les substances étrangères à l'organisme, substances que les scientifiques regroupent souvent sous le vocable collectif de "non-

Comment fonctionne le test ACE: les cellules tumorales de l'intestin produisent une molécule spécifique au cancer, l'antigène carcino-embryonnaire (ACE), dont on peut trouver la trace dans le sang. En prélevant un échantillon de sang et en l'exposant aux anticorps de l'ACE, les oncologistes parviennent à diagnostiquer la maladie avec une faible marge d'erreur.

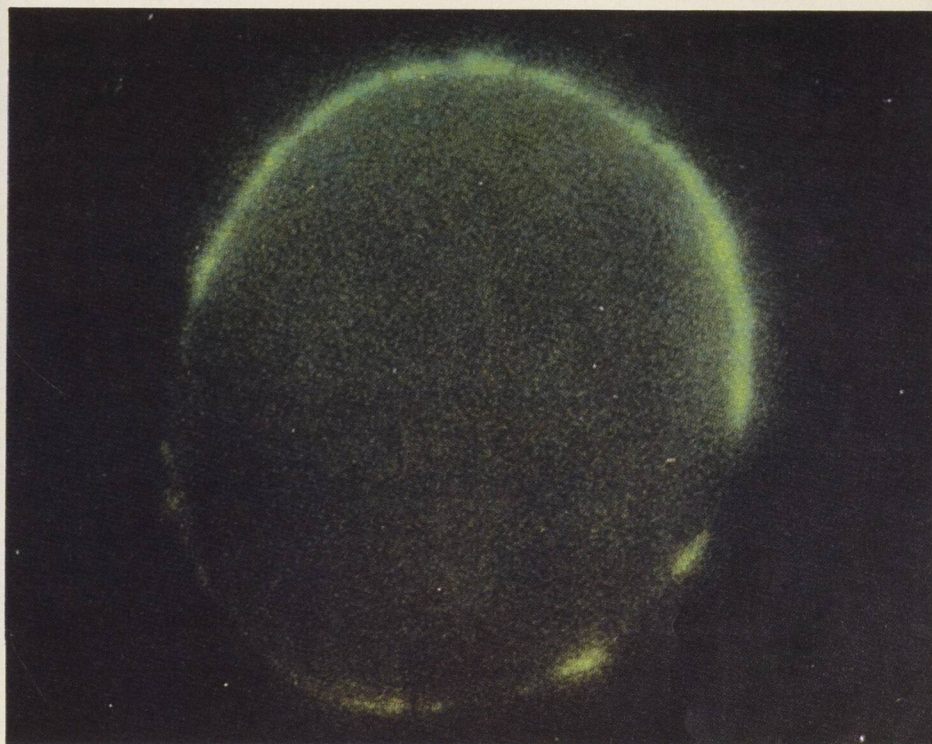


soi". Cette protection est rendue possible grâce à la capacité de l'organisme d'identifier des structures moléculaires appelées "antigènes". Ces structures étrangères provoquent ce qu'on appelle une "réaction immunologique": l'organisme élabore des "anticorps" pour lutter contre l'agresseur. Les anticorps sont des protéines sanguines modifiées qui s'ajustent aux antigènes comme une camisole de force pour les rendre vulnérables à l'attaque d'autres éléments du système de défense de l'organisme.

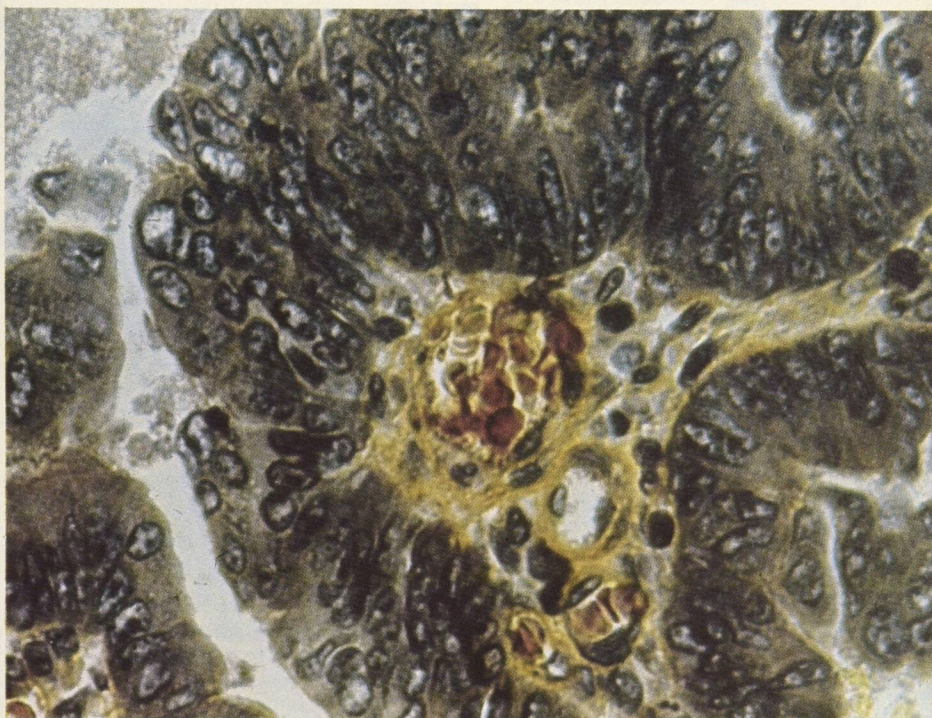
Les spécialistes de l'immunologie du cancer étudient de quelle façon le système immunitaire pourrait être amené à différencier les cellules cancéreuses des cellules saines et ainsi inciter les mécanismes de défense naturels du corps à rejeter les premières. Ce n'est que récemment, dans les années 50 et 60, qu'ont été mis au point les concepts et les techniques expérimentales qui permettent aux scientifiques de sonder plus profondément les mystères du cancer. La question que tous se posent aujourd'hui est la suivante: "Est-ce que la transformation d'une cellule normale en cellule cancéreuse équivaut à un passage du soi au non-soi?" Si les cellules cancéreuses étaient perçues comme des cellules étrangères par le système immunitaire, ce dernier mobiliserait les moyens de défense naturels de l'organisme pour les combattre. En outre, en établissant les différences qui existent entre ces deux types de cellules, les scientifiques auraient une meilleure idée des changements biologiques qui surviennent dans le développement du cancer.

L'immunologie du cancer était une discipline naissante lorsque Gold décida d'en faire son domaine de recherche et entreprit la série d'expériences qui allaient le rendre célèbre.

Ses expériences consistèrent, essentiellement, à se servir de méthodes immunologiques pour étudier



La technique d'immunofluorescence: une substance fluorescente, couplée à la molécule d'ACE (voir texte), adhère à la surface externe de la cellule. Seuls les anticorps des cellules cancéreuses iront se fixer sur l'antigène et trahiront la présence du cancer en devenant fluorescents.



Vue en coupe de l'intestin humain montrant une tumeur cancéreuse (noyaux sombres). Le test ACE permet de diagnostiquer ce type de cancer dès les premiers stades.

les différences entre la cellule cancéreuse et sa contrepartie normale.

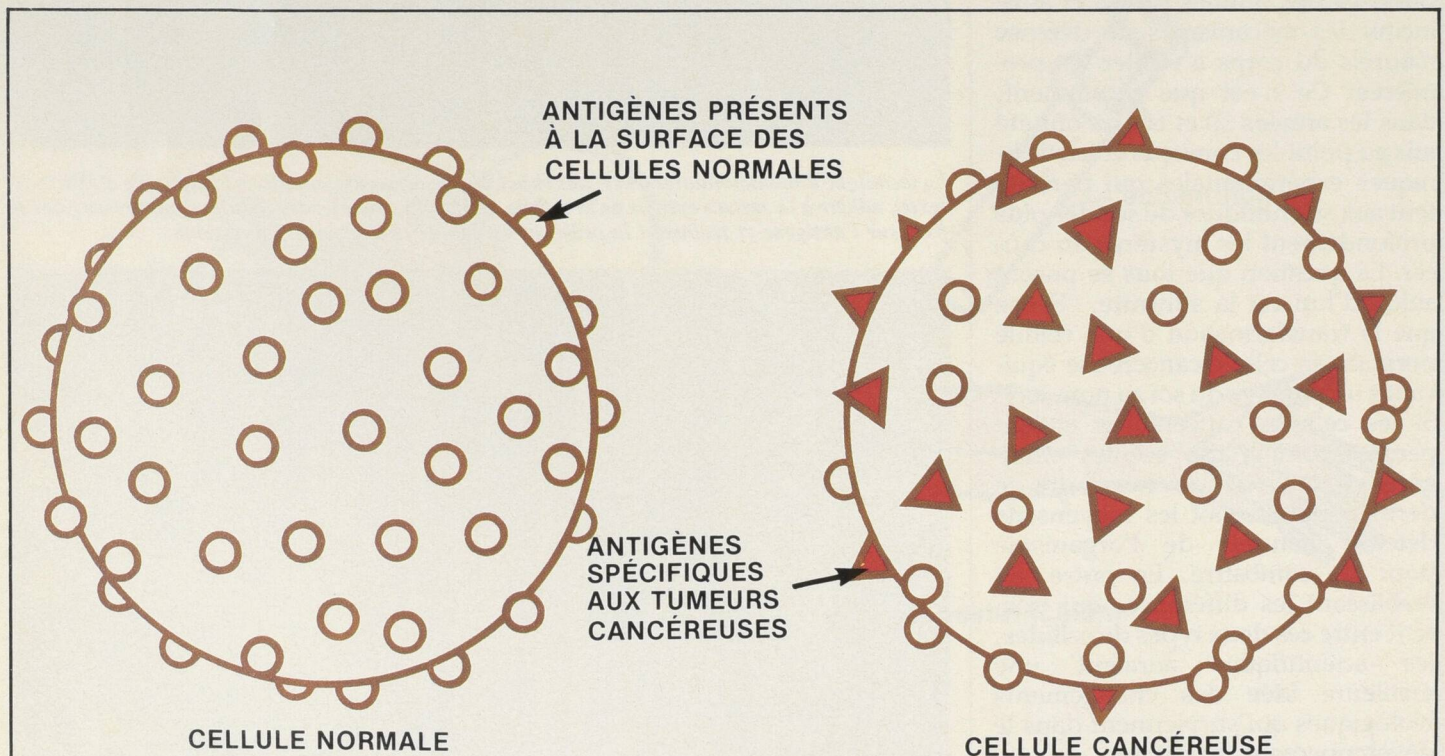
Il injecta des extraits de côlons humains à des lapins. Les lapins injectés avec des cellules normales produisirent des anticorps spécifiques à ces cellules. Gold émit alors l'hypothèse suivante: les lapins injectés avec des extraits de côlons cancéreux devraient produire des anticorps à la fois pour les cellules normales présentes dans ces tissus et pour les cellules cancéreuses. En éliminant le premier type d'anticorps au moyen de techniques sophistiquées, Gold obtint des anticorps *spécifiques* aux cellules tumorales du côlon humain. Autrement dit, il venait d'isoler des anticorps

dont l'action était dirigée spécifiquement contre les antigènes présents à la surface des cellules cancéreuses du côlon mais absents des cellules normales. Il avait découvert un indicateur tumoral.

Les antigènes qu'a identifiés Gold semblent être spécifiques aux tumeurs malignes; ils ne sont pas présents, par exemple, au sein de tumeurs bénignes (non cancéreuses) du côlon. Il les a trouvés dans chacun des 40 échantillons de tumeurs primitives qu'il a testés (une tumeur "primitive" du côlon est une tumeur qui se développe originellement dans ce tissu) mais pas dans les échantillons de tumeurs secondaires — c'est-à-dire de tumeurs qui se sont

étendues au côlon à partir d'autres sites. Détail intéressant, les tissus où ont été trouvés ces antigènes — ceux qui forment la partie inférieure du tube digestif — se sont tous développés à partir d'une petite boule de cellules dans l'embryon. Ce fait lui ayant mis la puce à l'oreille, Gold entreprit d'examiner les cellules *normales* qui donnent naissance aux organes digestifs chez l'embryon humain. Il y retrouva son antigène, qu'il nomma "antigène carcino-embryonnaire" (ACE).

En produisant des antigènes carcino-embryonnaires, les cellules cancéreuses du côlon ne font, semble-t-il, que régresser vers une forme plus primitive de comportement:



Des indicateurs tumoraux, ou antigènes spécifiques aux tumeurs cancéreuses (triangles rouges), se fixent sur la surface de la plupart, sinon de la totalité, des cellules cancéreuses. On croit qu'il s'agit de complexes protéiniques et glucidiques qui ont été élaborés au sein de la cellule et refoulés vers sa membrane externe. La découverte de ces antigènes spécifiques a permis de mettre au point un test de diagnostic précoce du cancer.

L'évolution des méthodes de traitement du cancer nous fera oublier la chimiothérapie

elles fabriquent de nouveau une substance produite au cours des premiers mois de la vie par les cellules mêmes qui leur ont donné naissance.

Nous provenons tous, à l'origine, d'une cellule unique qui contient toutes les instructions nécessaires à la fabrication et au fonctionnement des nombreux organes du corps humain. Lors de la division de cette cellule pour former deux cellules-filles, et lors de la division subséquente des cellules-filles, la totalité de l'information génétique est transmise à chacune des nouvelles cellules. Mais seule une fraction des instructions héritées par chaque cellule est effectivement exprimée par celle-ci. En effet, pour se spécialiser — pour devenir, par exemple, une cellule du cerveau — la cellule doit ignorer les instructions qu'elle possède sur la façon de fonctionner au sein des autres tissus de l'organisme. "Chaque cellule, explique Gold, possède l'information nécessaire pour accomplir toutes les fonctions du corps pendant toute notre vie. Nous nous spécialisons en apprenant. Les cellules se spécialisent en oubliant ou en supprimant de l'information."

Mais la cellule cancéreuse semble se souvenir et reproduire, dans une certaine mesure, le comportement de ses ancêtres embryonnaires. Mais, contrairement à l'embryon en développement où des cellules semblables croissent rapidement et restent solidaires (elles se déplacent également mais d'une façon soigneusement réglée que nous ne parvenons pas encore à bien comprendre), dans la masse cancéreuse, les cellules croissent et se propagent (on dit qu'elles donnent des métastases) sans inhibition. Des gènes dont l'activité s'était arrêtée à la naissance s'activent au sein de la tumeur et des substances comme l'ACE, élaboré pendant la vie foetale ou embryonnaire, sont produites de nouveau. "La cellule cancéreuse est

une cellule qui a reculé dans le temps", explique Gold. "'Archiplasme' serait sans doute un meilleur terme pour qualifier ce type de cellule que 'néoplasme'", ajoute-t-il.

Pourquoi les cellules produisent-elles de l'ACE? Cela demeure un mystère. Peut-être que l'ACE leur est nécessaire pour se reproduire rapidement, comme c'est le cas des cellules embryonnaires et tumorales. C'est du moins ce que suggèrent Gold et Freedman dans deux articles publiés en 1965 dans le *Journal of Experimental Medicine* (vol. 121, pp. 439-462; vol. 122, pp. 467-481) où ils rapportent leur découverte.

Ces deux articles ont valu à Gold et Freedman de figurer sur la liste des mille scientifiques les plus cités. Mais, à l'époque, leurs travaux passèrent inaperçus. Personne ou presque ne les remarqua, jusqu'au jour où Gold, Freedman et leurs collaborateurs trouvèrent une application clinique à leur découverte.

Après avoir rédigé sa thèse de doctorat, Gold poursuivit sa formation médicale. Pendant ce temps, Freedman réunit une équipe pour faire de la recherche dans les laboratoires de l'Hôpital Général de Montréal et pour pratiquer la médecine au sein de son département des allergies et de l'immunologie clinique, dont il était le chef. Cette équipe allait concentrer ses recherches sur l'antigène carcino-embryonnaire (ACE) de Gold. C'était une excellente équipe: l'enthousiasme de Gold, que l'anticipation de résultats prometteurs ou la simple mention d'une nouvelle idée suffisait à emballer, était tempéré par l'exigence de Freedman d'appuyer ceux-ci sur des "données solides".

"J'avais déniché un manuel intitulé *Purification Techniques by Chemical Processes*", se rappelle Gold. "Un véritable livre de recettes! Nous nous sommes servis de nos méthodes immunologiques et de ces techniques pour isoler l'ACE et étudier sa composition. Nous sommes tombés sur une molécule énorme (il

s'agit en fait d'une glycoprotéine, substance formée par l'union d'un glucide et d'une protéine), dotée d'une tête enroulée et d'une longue queue fourchue. Puis, nous avons découvert que celle-ci se fixait à la surface de la cellule. L'idée nous est venue qu'elle pourrait bien s'en détacher; nous avons donc tenté d'en trouver la trace dans le sang. Notre objectif était d'explorer un intéressant phénomène biologique, et non pas de mettre au point un test pour le diagnostic du cancer. Nous avons eu la surprise de notre vie."

Un des membres de l'équipe montréalaise s'était familiarisé en Californie avec la technique du dosage radio-immunologique, technique nouvelle et très sensible permettant de mesurer des quantités extrêmement faibles de protéines et, par conséquent, de déceler l'ACE dans le sang.

Les premiers résultats s'étant révélés encourageants, ils tentèrent de déceler la présence de l'ACE dans des échantillons sanguins fraîchement prélevés sur des cancéreux. Sur 36 patients atteints de tumeurs du côlon ou du rectum, 35 présentaient des niveaux détectables d'ACE dans le sang; il n'y eut qu'un seul résultat faussement négatif. Ils ne décelèrent aucun ACE chez les patients dont les tumeurs du côlon avaient apparemment été opérées avec succès mais ils en détectèrent chez chacun des 15 patients dont les tumeurs avaient réapparu après leur ablation chirurgicale. Ils publièrent leurs résultats dans une revue prestigieuse, les *Proceedings of the National Academy of Science*, en 1969. La communauté scientifique qui avait jusque-là ignoré l'ACE s'y intéressa enfin. C'était la première fois qu'un test sérologique permettait de diagnostiquer un cancer humain.

La succursale américaine de la société Hoffman La Roche acheta à l'Université McGill les droits de production d'un test sanguin dérivé de leur découverte et investit quelque

20 millions de dollars dans sa mise au point et sa commercialisation. Ces tests sont aujourd'hui administrés partout dans le monde et représentent un chiffre d'affaires de 100 millions de dollars par année. Les oncologistes s'en servent quotidiennement pour juger du succès d'une opération ou d'un traitement chez des patients cancéreux. Si, par exemple, le niveau d'ACE ne diminue pas rapidement après l'ablation d'une tumeur, il est probable que toute la tumeur n'a pas été enlevée. Si le niveau diminue après l'opération mais augmente au bout de quelques mois, il se peut que les cellules cancéreuses aient colonisé d'autres organes — cette augmentation survient bien avant que l'on puisse déceler les symptômes cliniques d'une rechute.

Mais ces résultats sont parfois ambigus. D'autres scientifiques ont repris les essais de Gold et de ses collègues et ils ont constaté — comme l'avaient d'ailleurs prédit Gold et Freedman — que la sensibilité et la spécificité de ce test n'étaient pas aussi grandes que les rapports initiaux l'avaient donné à penser. L'ACE n'était pas un indice infaillible comme on l'avait d'abord cru. Un certain nombre de patients dont les tumeurs s'étaient initialement développées dans d'autres sites que les intestins ou qui étaient atteints de maladies autres que le cancer — cirrhose avancée, par exemple — donnaient des résultats faussement positifs. De même, certains patients ont été soumis au test parce que l'on avait décelé du sang dans leurs selles — un symptôme du cancer de l'intestin — mais aucune trace d'ACE n'a pu être détectée chez eux; ils ont pourtant dû être opérés par la suite pour des tumeurs malignes du côlon. Par conséquent, on enregistrait un faible nombre de résultats faussement positifs et faussement négatifs. Mais le domaine des indicateurs tumoraux ayant connu une croissance accélérée au cours

des vingt dernières années — trois à quatre livres et des centaines d'articles sont publiés sur ce sujet chaque année — Gold est d'avis que les progrès technologiques réalisés permettront d'améliorer les tests basés sur ces indicateurs.

Malgré ces problèmes, Gold, comme d'autres chercheurs d'ailleurs, considère que le test ACE demeure un outil d'une valeur inestimable, particulièrement pour le diagnostic des patients ayant subi

***“La cellule
cancéreuse est une
cellule qui a reculé
dans le temps.”***

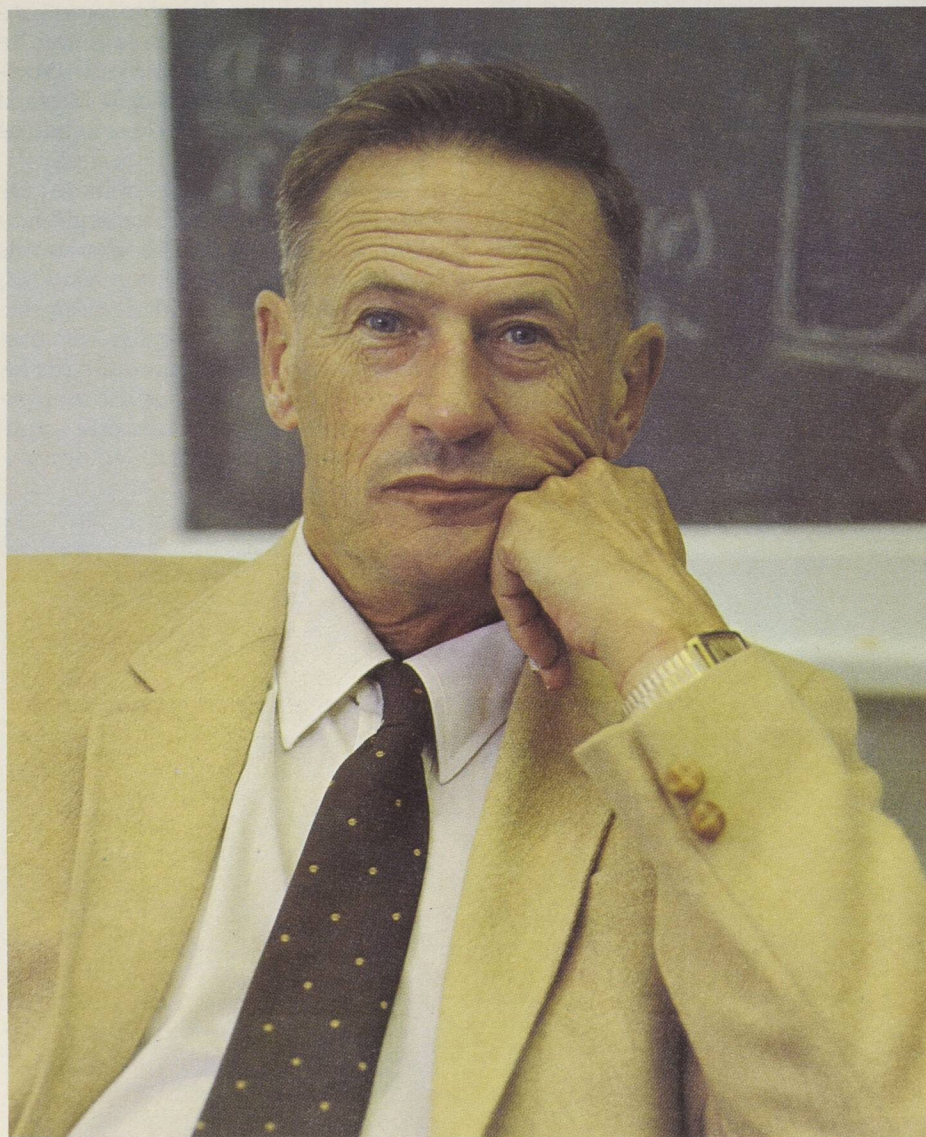
une intervention chirurgicale pour l'ablation d'une tumeur cancéreuse et chez qui l'on soupçonne la réapparition ou la propagation de la tumeur. Il soutient que ce test permet de prévoir de trois mois à trois ans à l'avance la réapparition de la tumeur. Gold n'est pas d'accord avec les médecins qui s'empressent de réopérer leur patient lorsque le niveau d'ACE augmente après une chute initiale consécutive à une première opération — un signe certain que le cancer est réapparu ou qu'il a engendré des métastases. Dans ce dernier cas, un véritable essaim de cellules tumorales iront coloniser plusieurs sites à la fois et une deuxième opération ne permettra d'enlever que les tumeurs assez grosses pour être discernées par le chirurgien. Il faudrait plutôt, selon Gold, administrer au patient un traitement médicamenteux de façon systématique pour combattre efficacement tous les sites de tumeurs sans détruire inutilement les tissus

ou perturber leurs fonctions normales. Il ajoute toutefois: “Les générations futures auront sans doute du mal à comprendre que nous ayons pu recourir aux poisons que nous administrons actuellement en chimiothérapie, tout comme nous trouvons aujourd'hui primitives les pratiques des médecins qui, jadis, appliquaient des sangsues sur la peau de leurs patients.”

Au début de sa carrière, Gold consacrait le plus clair de son temps à la recherche. Aujourd'hui, il pratique surtout la médecine mais il dirige toujours une équipe de recherche, avec enthousiasme, charisme et compétence. Abe Fuks, biologiste moléculaire et membre de cette équipe, témoigne: “Il vient à peine de finir de lire un article que déjà il s'exclame: ‘Pourquoi ne pas essayer ceci?’ Je répond: ‘Vous avez perdu la raison.’ Le plus souvent, son intuition est bonne.”

En tant que premier directeur du Centre de recherche sur le cancer de l'Université McGill, Gold a coordonné la recherche et les traitements liés au cancer au sein des universités et des centres hospitaliers universitaires de la région de Montréal. “Phil aime rire et donner de grandes tapes dans le dos de ses collègues”, rapporte Jack Siemiatycki qui, avec l'aide de Gold, a entrepris une importante étude sur l'épidémiologie du cancer. “Mais lorsqu'il convoque une réunion, c'est: ‘Bon, qu'est-ce qui nous amène ici? Que pouvons-nous faire?’ Il n'a pas de temps à perdre en vains bavardages.”

Depuis 1981, Phil Gold est médecin en chef de l'Hôpital Général de Montréal. “J'ai une grande dette envers cette institution”, explique-t-il. “J'essaie d'en rembourser une partie. J'ai pu faire de la recherche ici, ce que j'aimais. J'ai pu enseigner, ce que j'aime également. Et aujourd'hui, je peux soigner les gens.”



Keith Ingold

Lorsque Londres fut bombardée durant la Seconde Guerre mondiale, le département de chimie de l'Université de Londres, alors dirigé par Sir Christopher Ingold (surnommé le "père de la chimie physico-organique"), fut transféré dans une petite ville du pays de Galles. Celle-ci n'offrait pas beaucoup de distractions pour un adolescent et, les fins de semaine et pendant l'hiver, le fils de

Sir Christopher, Keith, se plaisait à visiter le laboratoire de son père; il devint ainsi un souffleur de verre accompli et, plus tard, un chimiste.

En 1946, Keith Ingold s'inscrit au sein du département de son père, puis décroche un doctorat à Oxford sous la direction de Sir Cyril Hinshelwood. Il s'établit au Canada en 1951, d'abord comme boursier postdoctoral en cinétique des gaz au

Le Dr Keith Ingold: Neutraliser les radicaux libres au sein de la matière vivante

Conseil national de recherches, puis comme chercheur à l'Université de Colombie-Britannique.

En 1955, il accepte un poste au CNRC au sein de ce qui s'appelait alors la Division de chimie appliquée. Le CNRC était de loin le plus grand établissement de recherche du pays, tant pour ce qui était du nombre de scientifiques, de l'étendue des domaines étudiés et de l'importance du budget que pour la richesse des instruments scientifiques disponibles. Aujourd'hui âgé d'une cinquantaine d'années et dans une forme superbe qu'il maintient grâce à la pratique du ski et de la planche à voile, Keith Ingold est actuellement directeur associé de la Division de chimie du CNRC.

À ses débuts au CNRC, on lui demanda de s'attaquer à un problème concret: trouver la cause de la dégradation des huiles lubrifiantes des moteurs d'automobile, et le moyen de les rendre plus résistantes. Les huiles se dégradent et deviennent acides et visqueuses parce qu'elles réagissent avec l'oxygène de l'air; autrement dit, elles s'oxydent. Le même processus d'oxydation est responsable du rancissement des graisses dans les aliments conservés trop longtemps. Ce processus chimique est en fait une réaction en chaîne complexe qui met en jeu de nombreux composés intermédiaires d'une durée de vie très courte.

Le Dr Ned Steacie, ancien président du CNRC aujourd'hui décédé, fut incontestablement l'un des experts mondiaux de son époque en cinétique chimique; il a montré, avec d'autres, comment l'on pouvait étudier ces processus complexes dans les gaz en analysant les réactions élémentaires qui forment ces processus. Mais leur étude au sein des liquides se révéla beaucoup plus difficile. Les réactions élémentaires

Dan Geitz

responsables de l'oxydation des huiles lubrifiantes mettent en cause ce que l'on appelle des "radicaux libres". À l'époque, on ne savait pas grand-chose sur le comportement des radicaux libres au sein des liquides.

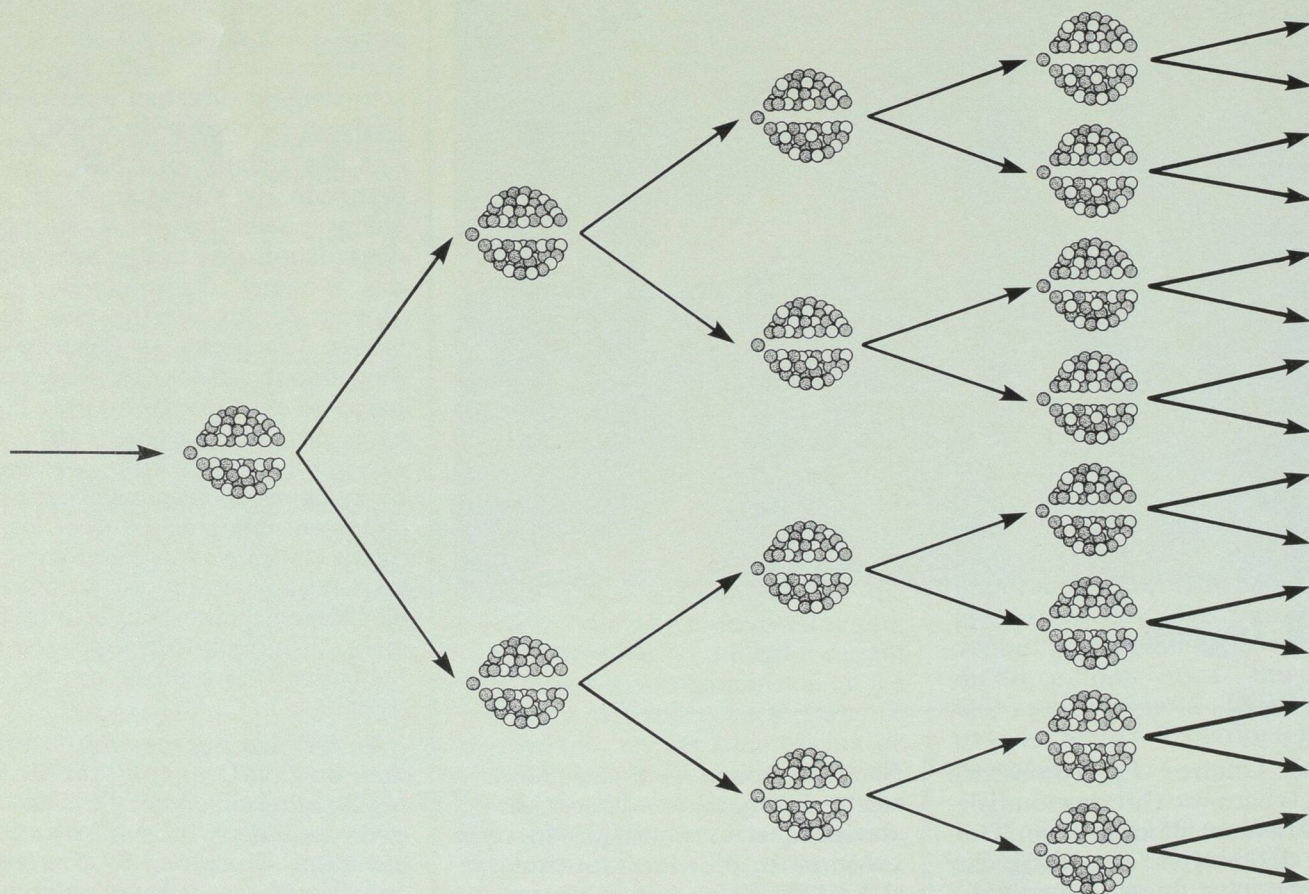
Les radicaux libres sont des fragments moléculaires, des groupes d'atomes fortement réactifs qui ont généralement une vie indépendante très éphémère. Ils jouent toutefois un rôle vital dans de nombreux processus industriels et biologiques. Fasciné par ces fragments énigmati-

ques, Ingold voulut en savoir plus long.

"À l'époque, rapporte-t-il, les théories en vogue sur l'oxydation des huiles et leur protection au moyen de substances appelées 'antioxygènes' étaient extrêmement naïves. En conséquence, une grande partie de la recherche visant à découvrir des antioxygènes nouveaux et plus efficaces représentait du temps perdu en vains efforts." Ingold démontra que la théorie acceptée sur l'action des antioxygènes était incorrecte et, grâce à une

expérience d'une élégante simplicité qui faisait clairement ressortir le mécanisme par lequel les antioxygènes "piègent" les radicaux libres, il réorienta la recherche dans la bonne direction.

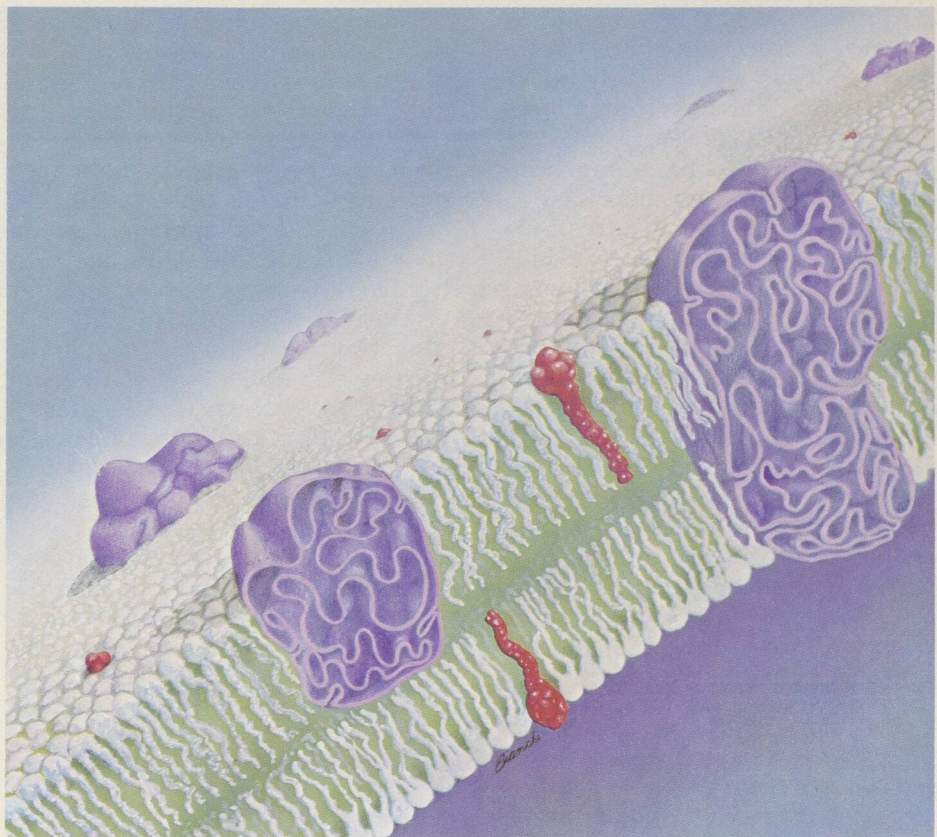
En recherche expérimentale, les possibilités des scientifiques dépendent en grande partie des outils qu'ils ont à leur disposition. En 1967, le laboratoire d'Ingold fit l'acquisition d'un spectromètre de résonance paramagnétique électronique (RPÉ), appareil couramment utilisé en physique mais jusque-là très peu appli-



Une bombe cellulaire: à l'instar de la réaction en chaîne des atomes d'uranium 235 responsable de l'explosion d'une bombe atomique, les réactions d'oxydation au sein de la membrane cellulaire s'accroissent avec le temps.

qué à la solution de problèmes de chimie et, encore moins, de cinétique chimique. Cet instrument permit à Ingold et à ses collègues d'élargir considérablement le champ de leurs recherches en rendant possibles des expériences inédites en cinétique ainsi que l'observation directe des quantités infinitésimales de radicaux libres qui participent aux réactions chimiques. Pendant dix ans, le spectromètre RPE fut leur principal outil de recherche. Aujourd'hui, il fait partie d'une batterie d'instruments sophistiqués comptant notamment un chromatographe en phase gazeuse qui, combiné à un spectromètre de masse, leur permet d'identifier tous les composés prenant part aux réactions chimiques, même au sein d'échantillons minuscules.

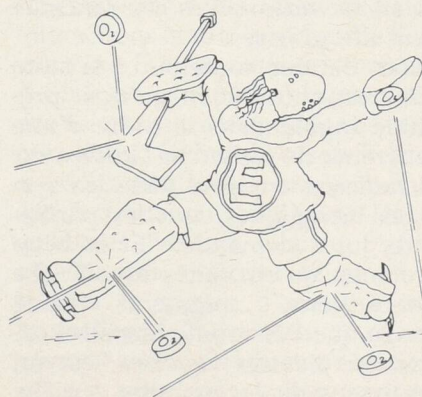
Parmi les nombreuses communications d'Ingold, il en est une, publiée en 1968, qui a été citée deux ou trois fois plus que les autres. Cela le surprend car ce "best-seller" concerne la cinétique des réactions impliquant des radicaux libres au sein de molécules organométalliques (molécules organiques qui renferment des atomes métalliques dans leur structure) et l'information qu'il contient ne revêt aucune importance économique ou industrielle particulière. Que son nom figure sur la liste des scientifiques les plus cités ne le surprend cependant pas tout à fait. "Si vous effectuez un nombre important de mesures cinétiques pertinentes et fiables sur lesquelles d'autres appuieront leurs propres travaux de recherche, explique-t-il, il est probable que vos travaux seront cités par ces scientifiques pendant de nombreuses années à venir." Et il ajoute: "Naturellement, avoir derrière soi une carrière de chercheur longue et raisonnablement féconde constitue également un atout." Présentement, son intérêt porte toutefois sur les problèmes liés à l'action des radicaux libres au sein de la matière vivante. Pour apprécier la



John Bianchi

Des chimistes du CNRC semblent avoir élucidé le rôle de la vitamine E dans l'organisme. La membrane plasmique qui enveloppe les cellules vivantes et dont on peut voir ici la coupe transversale contient des molécules de vitamine E. Ces molécules (représentées en rouge), dont l'action est encore indéterminée, la protègent contre l'effet destructif de l'oxydation et préservent son intégrité. Les corps pourpres dispersés dans la membrane cellulaire sont des protéines.

portée de ses travaux actuels, il convient d'expliquer les dommages que peuvent infliger ces groupes d'atomes très réactifs aux organismes vivants.



John Bianchi

Ce que nous appelons "cancer radio-induit" est dû en réalité aux radicaux libres qui se forment au sein des systèmes biologiques sous l'action des rayonnements. Lorsque ces radicaux libres échappent aux mécanismes enzymatiques qui protègent normalement la cellule contre l'invasion de ces composés hautement réactifs, ils peuvent perturber des molécules voisines d'ADN, porteuses du code génétique, ainsi que les systèmes moléculaires qui contrôlent l'expression de ce code, et provoquer le cancer.

Dans les tissus adipeux du corps humain, l'oxydation engendrée par des radicaux libres peut amorcer une véritable réaction en chaîne (l'exem-

Manger des carottes pourrait réduire le risque de cancer

ple le plus connu d'une réaction en chaîne est le processus de fission nucléaire qui est à l'origine de l'explosion d'une bombe atomique). Chacune des molécules oxydées qui se forment alors peut engendrer deux autres radicaux libres qui, à leur tour, iront oxyder d'autres molécules lipidiques. Le rythme des réactions augmente exponentiellement: plus le temps passe, plus il s'accélère. Heureusement, nous possédons des mécanismes naturels capables de stopper ces réactions désastreuses. C'est ainsi qu'il existe, au sein de l'organisme, des antioxygènes biologiques spéciaux qui freinent l'activité des radicaux libres.

Les chercheurs médicaux savent depuis quelque temps déjà que les tissus qui proviennent de tumeurs animales ou humaines, quel qu'en soit le type, s'oxydent à un rythme

normaux. En outre, les chercheurs du CNRC ont découvert qu'il y a plus d'antioxygènes dans les lipides qui proviennent de tumeurs que dans ceux des tissus sains. La raison de cette plus grande résistance demeure toutefois un mystère.

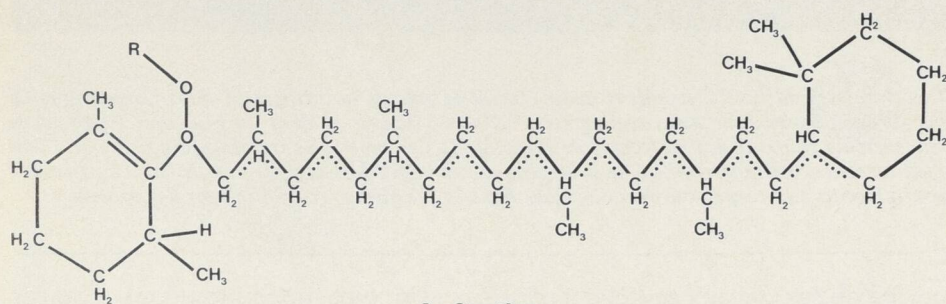
On sait depuis longtemps que la vitamine E constitue l'un des antioxygènes naturels des organismes vivants. Dernièrement, Ingold a procédé à une expérience très simple sur des échantillons de son propre sang et de celui de ses collègues — expérience qui n'aurait pas été possible il y a dix ans parce que les instruments de mesure ayant la sensibilité voulue n'existaient pas. Les résultats de ce test ont indiqué que la vitamine E est certainement le principal — et probablement le seul — antioxygène capable de piéger les radicaux libres dans le sang humain. Ce composé joue un rôle essentiel dans

béta-carotène, que voulez-vous dire?" s'étonna Ingold.

Comme d'autres scientifiques qui sont spécialistes dans un domaine et qui ne peuvent être au fait de tout ce qui se passe dans les autres disciplines, Ingold ne savait pas à l'époque qu'un groupe d'épidémiologistes d'Oxford avait démontré statistiquement que des fumeurs couraient un moins grand risque d'être atteints du cancer du poumon s'ils consommaient beaucoup de bêta-carotène — comme ce serait le cas, par exemple, s'ils aimaient beaucoup les carottes. L'implication d'une telle découverte était que le bêta-carotène pouvait être un agent anticancérigène et, par conséquent, un "piège à radicaux".

Les conférences Gordon, qui se tiennent plusieurs fois par année et portent sur un domaine particulier de la chimie, ont pour but de stimuler l'interaction entre des spécialistes de différentes disciplines. La conférence à laquelle Ingold participait en tant que communicateur regroupait pas moins de cent scientifiques qui, tous, s'intéressaient naturellement au sujet de la conférence mais provenaient de disciplines fort différentes et avaient reçu une formation très variée. La suggestion que le bêta-carotène pouvait réduire le risque de cancer en agissant comme antioxygène avait été lancée par les Drs Norman Krinsky et Bruce Ames.

"Pour être franc, confie Ingold, j'ai tout d'abord rejeté cette idée. La structure du bêta-carotène ne correspond pas à la configuration traditionnelle d'un antioxygène. Mais nul ne peut balayer du revers de la main des idées nouvelles, particulièrement lorsqu'elles proviennent de scientifiques ayant la réputation et l'intuition de Krinsky et Ames. Pour en avoir le cœur net, nous avons entrepris une série d'expériences afin de vérifier si le bêta-carotène présentait une activité antioxygène — mais non sans avoir auparavant longuement discuté de



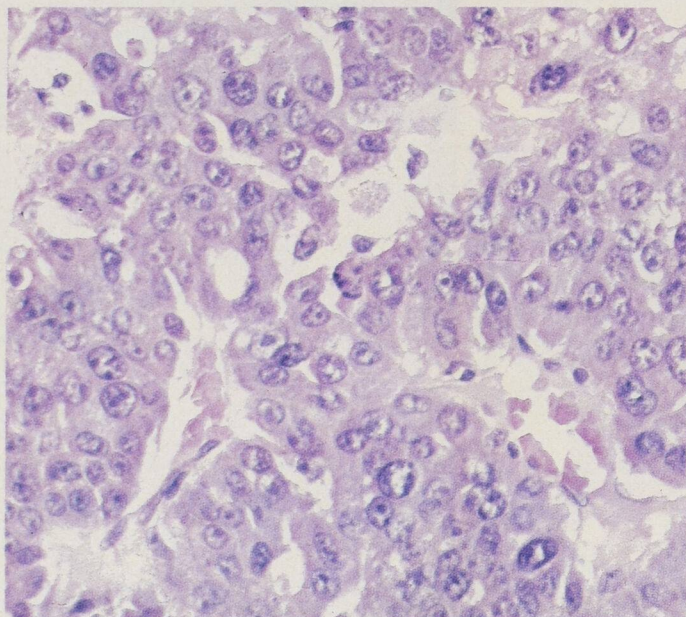
B - Carotène

Carisse Graphic Design Ltd.

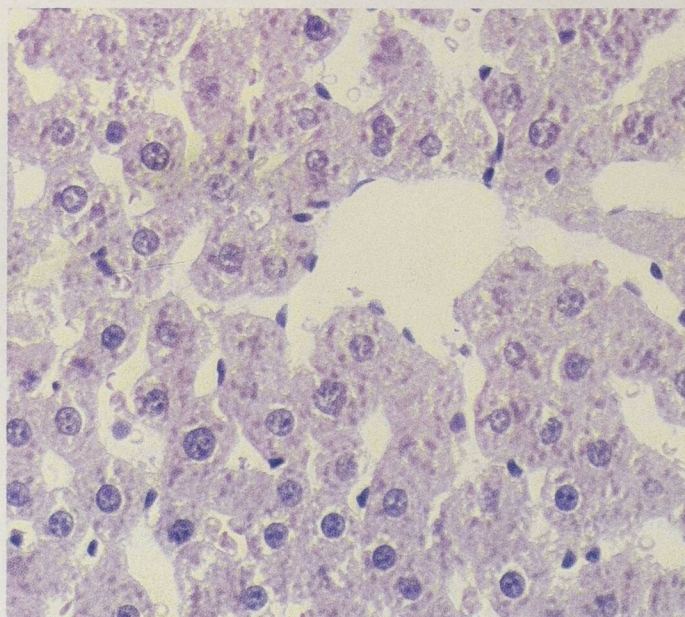
plus lent que les tissus normaux. Le groupe de recherche d'Ingold a vérifié récemment ce phénomène avec des tumeurs de rats et s'apprête à le faire avec des tumeurs d'autres animaux et de l'Homme. Il a réussi à mettre au jour des différences entre la composition des lipides (qui sont les constituants primordiaux de la membrane externe de la cellule) des tissus sains et celle des tissus tumoraux et il a de plus montré que ces différences sont de nature à rendre les tissus tumoraux plus résistants à l'oxydation que les tissus

la protection de l'organisme contre les effets indésirables du rancissement des graisses.

L'an dernier, toutefois, à la suite d'une communication qu'avait présentée Ingold dans le cadre d'une conférence de recherche Gordon sur les radicaux oxygène dans les systèmes biologiques, un des participants lui a demandé: "Et le bêta-carotène, qu'en faites-vous?" (Le bêta-carotène, pigment jaune orange que l'on trouve dans les carottes et d'autres légumes, est un précurseur de la vitamine A.) "Le



Dave Gillan



Dave Gillan

Vues en coupe de tissus provenant de foies humains normaux (à gauche) et cancéreux (à droite). Les travaux du CNRC sur les "pièges à radicaux libres" comme la vitamine E et le bêta-carotène indiquent que ces molécules pourraient protéger la cellule contre les "agressions de l'environnement" qui conduisent au cancer.

la question avec Krinsky et Ames au bar attendant à la salle de conférences, en esquissant des structures chimiques et des mécanismes de réaction sur des serviettes de papier, et avoir lu tous les articles sur le sujet."

Les premiers résultats devaient indiquer, comme l'avait prédit Ingold, l'absence d'activité antioxygène du bêta-carotène. Par mesure de commodité, les échantillons de bêta-carotène avaient été testés en présence d'oxygène pur à la pression atmosphérique — procédure courante au sein du laboratoire d'Ingold. Se rappelant toutefois du résultat curieux qu'il avait déjà obtenu avec un certain composé — dont l'activité antioxygène *augmentait* lorsque le taux d'oxygène *diminuait* — il décida de procéder à une expérience additionnelle... et constata que le bêta-carotène se comportait de la même façon.

Autrement dit, il s'agissait *bel et bien* d'un antioxygène, mais il ne commençait à être vraiment efficace pour stopper le processus d'oxydation que lorsque les concentrations d'oxygène étaient très faibles, comme c'est le cas à l'intérieur de la cellule.

Le groupe de recherche d'Ingold est l'un des rares dans le monde à posséder la formation et l'équipement nécessaires à l'étude chimique quantitative des radicaux libres en solution. Ce dernier bénéficie par conséquent d'une position très enviable puisqu'il est libre d'étudier les problèmes qui l'intéressent particulièrement.

Il désire désormais s'attaquer à la schématisation des réactions et des interactions entre la vitamine C, la vitamine E et les autres substances qui interviennent dans la protection des tissus contre les méfaits des radicaux libres. Le but de ces recherches est de cerner totalement l'ensemble des facteurs qui protègent les organismes vivants contre l'action néfaste des radicaux libres et de trouver le moyen d'accroître cette protection. L'importance de ces travaux est indéniable puisque les dommages cellulaires causés par les

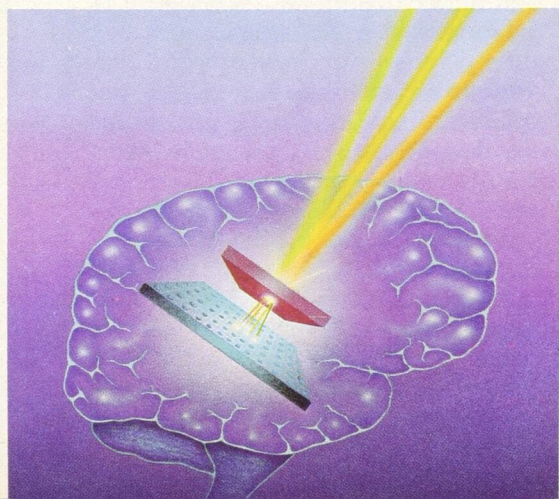
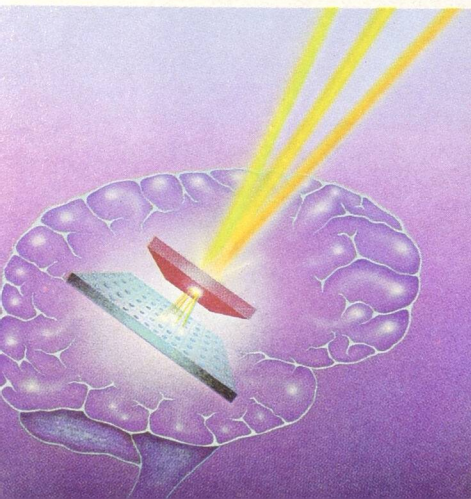
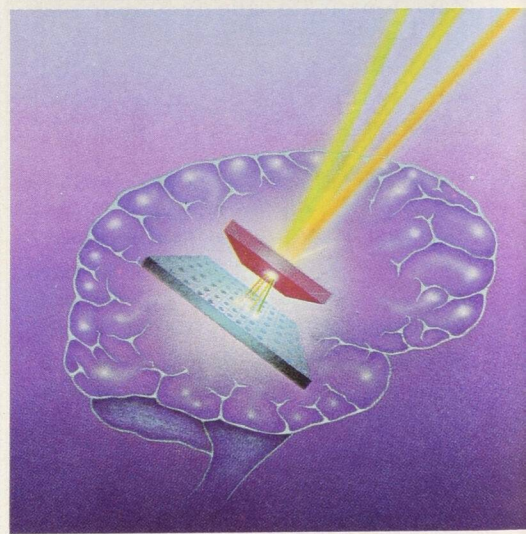
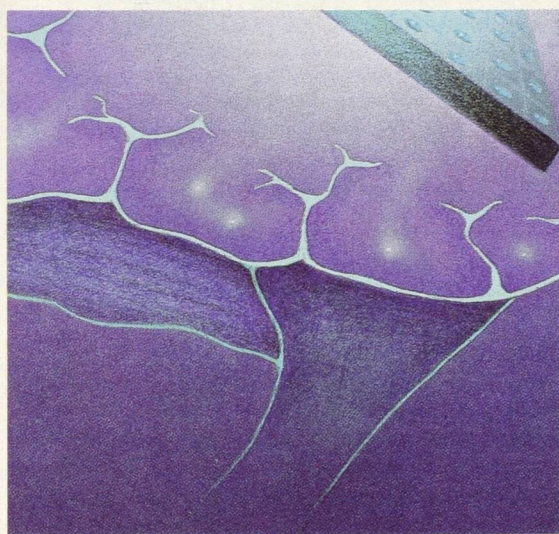
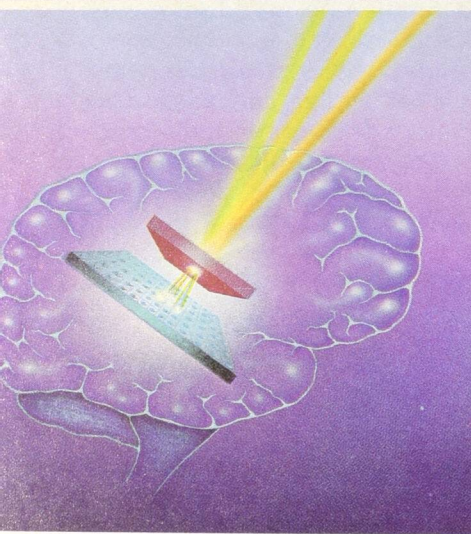
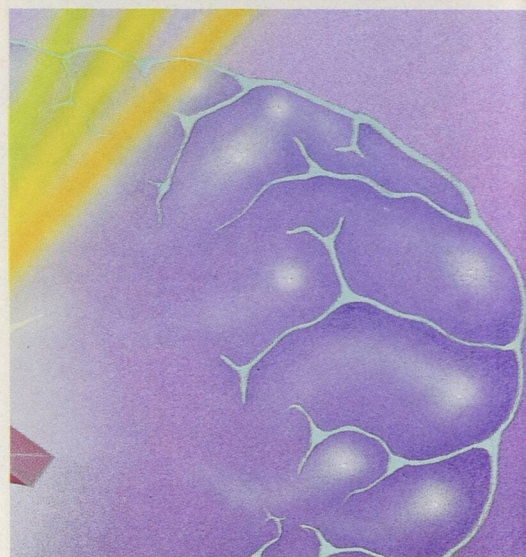
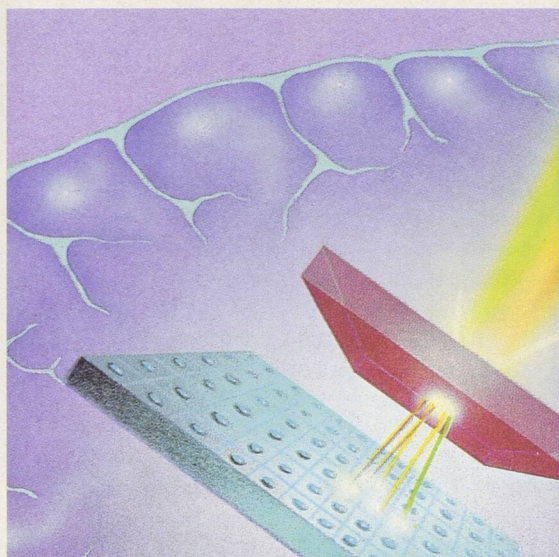
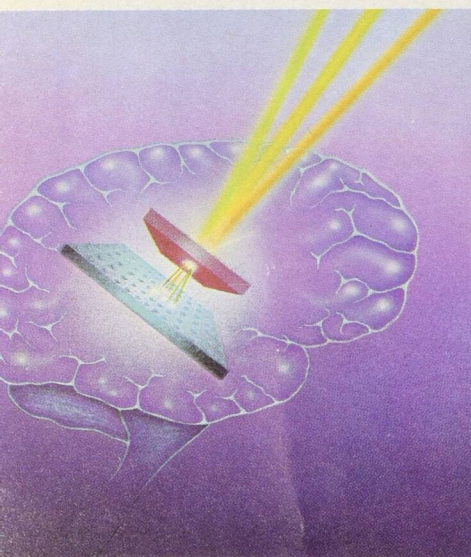
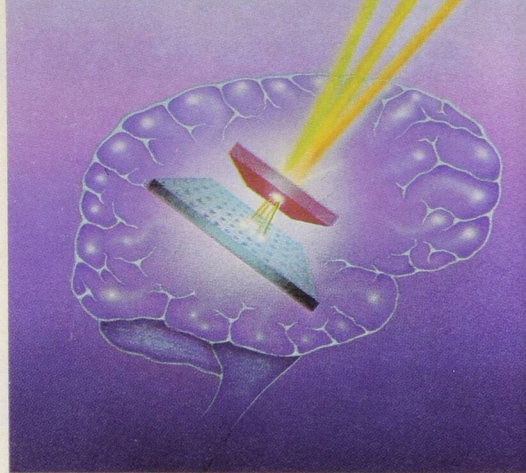
radicaux ont été impliqués dans un grand nombre de maladies: cancer, athérosclérose, et même dans le processus de vieillissement lui-même.

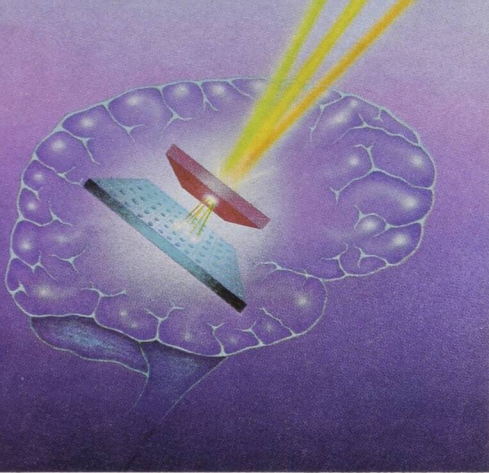
"Ce n'est pas l'argent mais le désir de savoir et de comprendre le 'pourquoi' des choses qui pousse des jeunes gens à se lancer dans une carrière scientifique", conclut Ingold.

(Première partie d'un article en deux parties.)

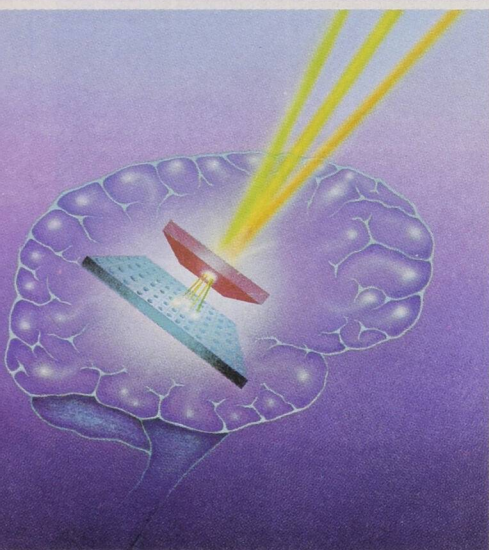
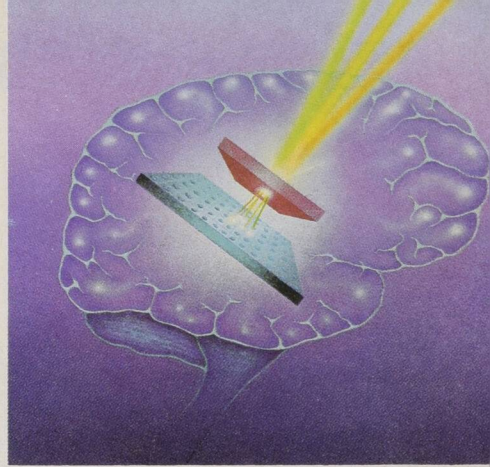
Séan McCutcheon est un rédacteur indépendant de Montréal.

Adaptation française: Line Bastrash





On entrevoit la
possibilité d'une
cinquième génération
d'ordinateurs,
véritables



machines pensantes

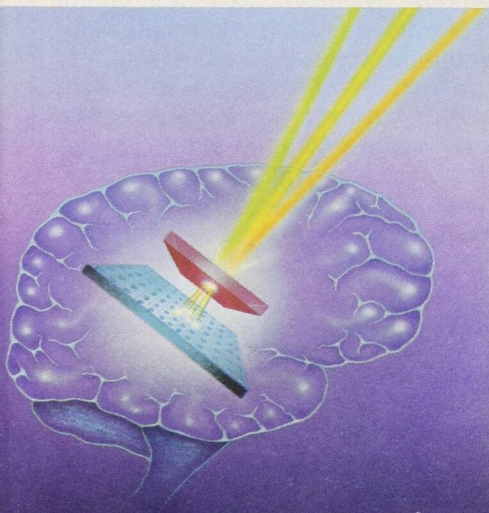
par Paul Tisdall

Certains résultats de la recherche fondamentale — la recherche "curieuse" — se métamorphosent en produits commerciaux plus rapidement que d'autres. Une règle simple: plus la recherche se rapproche des frontières du savoir, moins ses découvertes débouchent rapidement sur le marché. Mais toute règle a ses exceptions. Les travaux du Dr Alex Szabo, du Conseil national de recherches, en sont une, et de taille. Szabo — un physicien de 53 ans d'Ottawa — oeuvre depuis 15 ans dans le domaine ésotérique de la "spectroscopie laser des solides". Ses articles, remplis d'équations de physique quantique, sont incompréhensibles pour tout le monde, sauf une poignée de spécialistes. Mais certaines retombées de ses recherches — désormais brevetées — pourraient bien révolutionner l'industrie de l'informatique d'ici 10 ans, et rapporter des milliards de dollars...

Dans son célèbre film *2001: l'odyssée de l'espace*, sorti en 1968, Arthur

C. Clarke nous présentait HAL, l'ordinateur de bord avec qui les astronautes faisaient gentiment la conversation, avant de devoir le lobotomiser parce qu'il s'était trompé. À cette époque, Clarke avait prédit que des machines semblables seraient disponibles avant 30 ans, prévision écartée du revers de la main par les savants. Mais les faits semblent aujourd'hui donner raison au visionnaire. En 1981, le gouvernement japonais faisait de la réalisation d'ordinateurs "intelligents", au cours de la prochaine décennie, une priorité nationale. Question de stratégie industrielle nippone.

Les Japonais ont donné à leur projet le nom accrocheur de "cinquième génération". (Les quatre premières générations correspondent grosso modo à l'invention du tube à vide, du transistor, du circuit intégré et, pour la quatrième génération, de dispositifs à intégration à très grande échelle (VLSI) dont les unités de logique et de mémoire offrent une plus grande capacité.) L'industrie et le



gouvernement japonais financeront l'entreprise au rythme de 850 millions de dollars pendant les dix prochaines années. Alors que les premiers ordinateurs ne comprenaient que le langage numérique, les ordinateurs actuels peuvent assimiler des instructions verbales ou écrites. Mais, à la base, ce genre d'opérations repose toujours sur l'utilisation d'un langage numérique. Avec les ordinateurs de cinquième génération qu'on nous promet pour demain, les utilisateurs n'auront plus l'impression de traiter avec des machines purement mathématiques. On leur demandera de raisonner, d'apprendre et surtout de cracher des milliards de calculs à une vitesse folle. Ils seront "gentils avec les usagers", comprenant et traduisant la parole humaine dans diverses langues, lisant des cartes géographiques, des photos, l'écriture manuscrite.

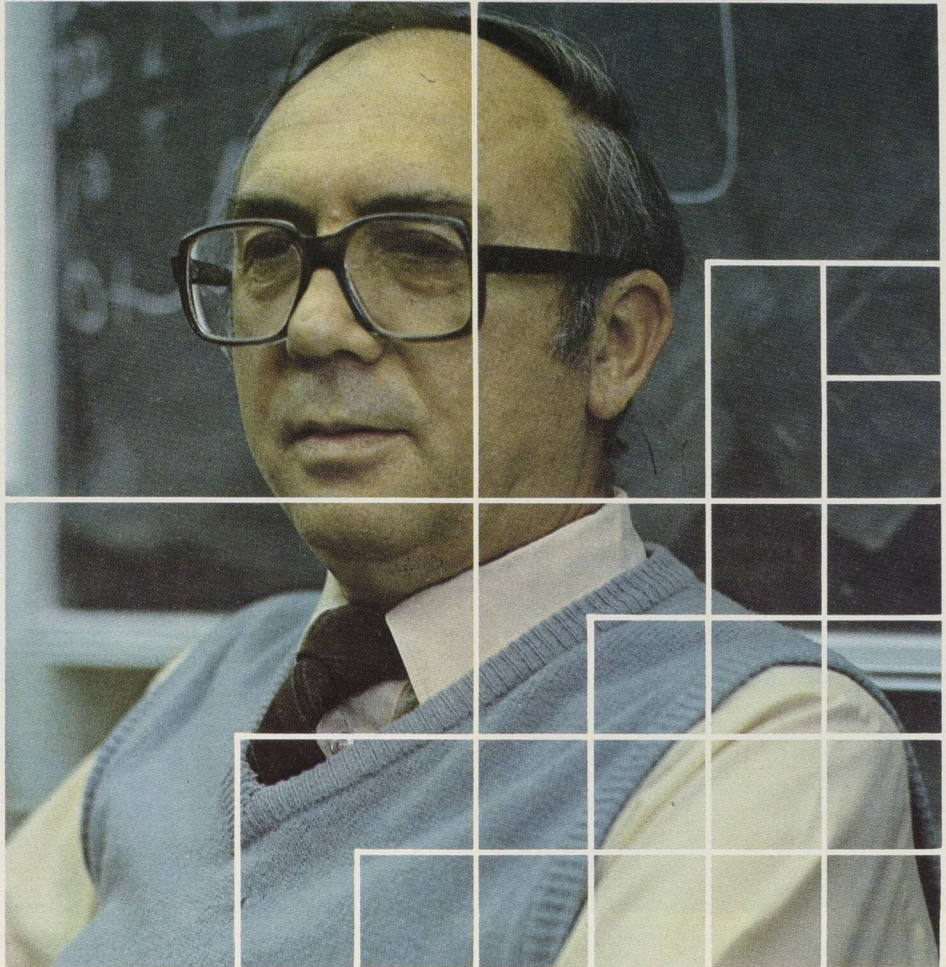
Alarmé par cette percée japonaise, le ministère américain de la Défense se lançait dans la ruée vers le silicium en octobre 1983, avec un projet quinquennal de 600 millions de dollars. Objectif: la mise au point d'ordinateurs de cinquième généra-

tion pour fins militaires, d'ici cinq ans.

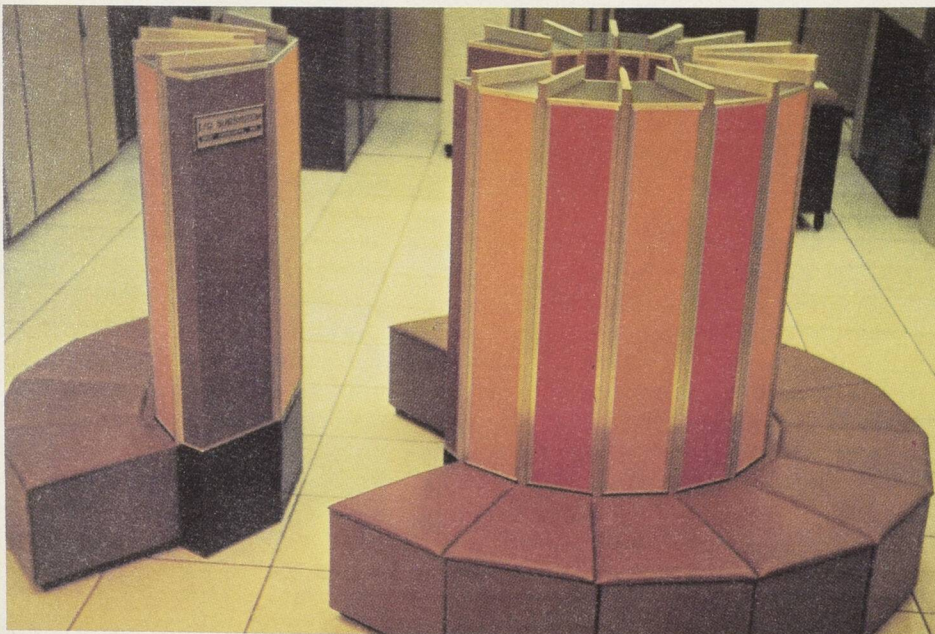
Les chercheurs japonais et américains s'entendent au moins sur un point: les machines pensantes de

demain devront presque à coup sûr être construites selon une architecture informatique révolutionnaire, le "traitement en parallèle". Les ordinateurs actuels utilisent "l'architecture Von Neumann", du nom du mathématicien génial qui la décrit à la fin de la Seconde Guerre mondiale. Dans les ordinateurs Von Neumann, l'information va et vient entre l'unité centrale de traitement et les mémoires, le long d'un canal unique. Celui-ci crée un goulot d'étranglement où viennent s'embouteiller les données, réduisant la

Le Cray-I, superordinateur météorologique en service à Montréal, au Québec. L'un des ordinateurs de "quatrième génération" les plus perfectionnés du monde, le Cray-I, est équipé de dispositifs à intégration à grande échelle qui lui confèrent une mémoire et une capacité de traitement extrêmement rapides. Les travaux d'Alex Szabo sur des mémoires encore plus vastes et plus rapides pourraient trouver application dans des ordinateurs de "cinquième génération" dotés d'une intelligence artificielle.



Le Dr Alex Szabo: Vers l'ordinateur intelligent



vitesse et la capacité des machines. Avec le traitement en parallèle, plusieurs unités seraient reliées chacune par leur propre canal de mémoire, permettant d'attaquer simultanément les différentes parties d'un problème.

C'est l'Américain Seymour Cray, fabricant prodige des "superordinateurs" qui portent son nom, qui, le premier, a su utiliser le traitement en parallèle. Le seul superordinateur canadien est d'ailleurs un Cray-1 de 15 millions de dollars, stationné à Dorval depuis février 1984, où il sert à la prévision météorologique.

La simulation de l'atmosphère terrestre constitue en effet un problème classique d'ordinateur, et fournit une preuve convaincante de l'utilité et de la puissance du traitement en parallèle. Dans les modèles prévisionnels, l'atmosphère est divisée selon une immense grille tridimensionnelle. On recueille les données météorologiques en chaque point correspondant aux intersections de la grille. Travaillant en parallèle, les unités de traitement de l'ordinateur font alors des calculs similaires pour tous les points, étirant le modèle dans le temps et permettant d'aboutir à des prévisions. Le nombre de calculs requis est colossal. Même avec sa vitesse vertigineuse de 50 millions d'opérations-seconde, le Cray-1 peine pendant sept heures pour émettre une prévision de 10 jours. Qui lui a pris 100 milliards de milliards de calculs!

Même si ces ordinateurs sont les plus sophistiqués du monde, ils utilisent essentiellement une architecture de style Von Neumann, sur laquelle on a "monté" des unités de traitement en parallèle. Celles-ci ne peuvent accomplir que des calculs semblables sur des données similaires. Le problème, c'est la nature même des ordinateurs: beaucoup de gens doutent que des systèmes électroniques puissent un jour travailler véritablement en parallèle, et être

animés de l'"intelligence" des ordinateurs de cinquième génération.

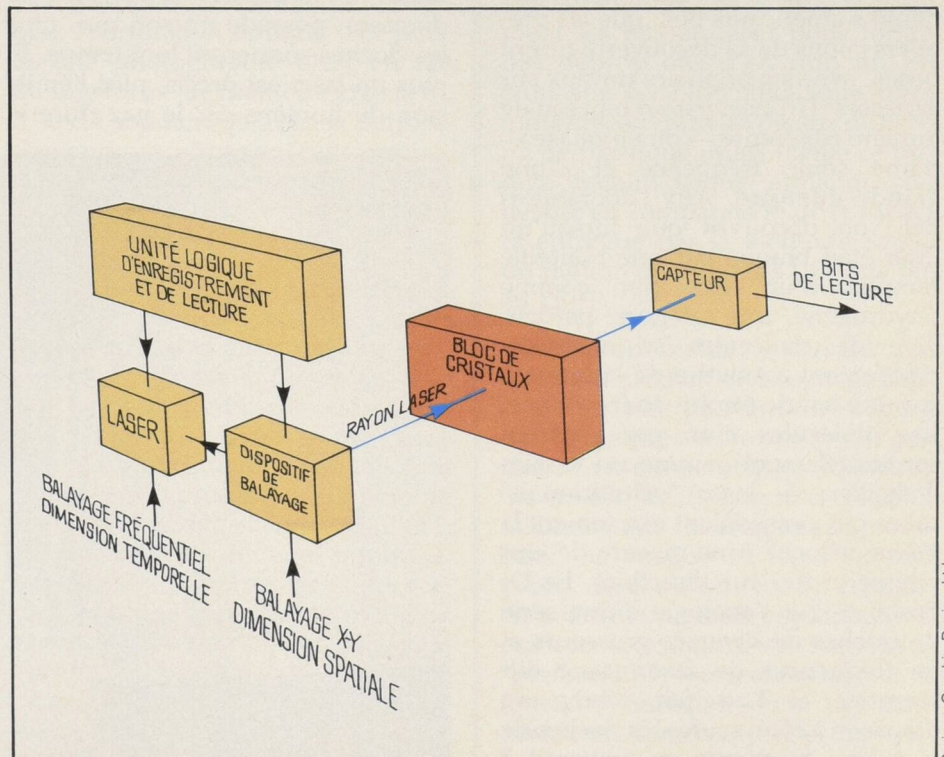
Et c'est là qu'entre en scène le Dr Szabo. Les circuits électroniques, pense-t-il, devront céder la place à des rayons lumineux! L'ordinateur "optique" sera seul capable de véritable traitement en parallèle. Cela nécessitera bien sûr une mémoire également optique, chose étrange qu'il vient justement d'inventer.

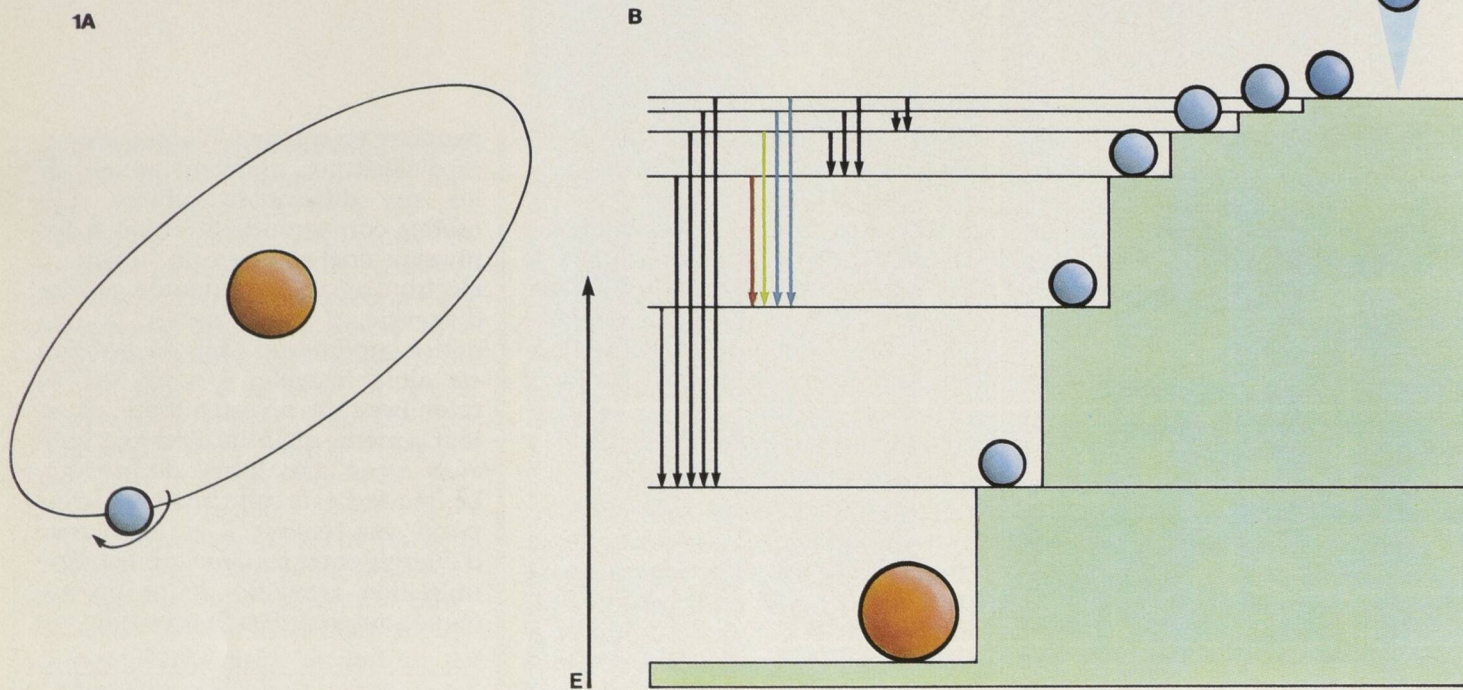
Sa découverte repose sur les propriétés fondamentales de la matière et de la lumière. Tout le monde se souvient de ces expériences de la petite école, où le professeur se servait d'un prisme pour décomposer la lumière solaire en couleurs de l'arc-en-ciel, couleurs correspondant à autant de fréquences qui délimitent le "spectre visible" (moyenne de 10^{15} Hz). Ainsi, une feuille apparaît verte parce que ses pigments de chlorophylle absorbent toutes les fréquences visibles, sauf le vert qu'ils réfléchissent.

Au niveau des atomes, l'affaire se complique un tantinet. Un atome

peut être vu comme un noyau entouré d'électrons, gravitant autour de lui sur différentes orbites. Les orbites correspondent en fait à des niveaux énergétiques, et lorsqu'un électron reçoit une quantité précise d'énergie, il peut "sauter" à une orbite supérieure. Mais sa position est alors instable: il a tôt fait de retomber à son niveau normal, émettant la même quantité d'énergie qu'il avait reçue sous forme de lumière. La fréquence de cette lumière correspond exactement à la différence d'énergie entre les deux orbites. Une utilisation familière de ce phénomène sont les tubes fluorescents, où

Fonctionnement d'une mémoire à cristaux au sein d'un ordinateur de cinquième génération. Sous la direction de l'unité logique d'enregistrement et de lecture, un petit laser balaie le bloc de cristaux, le saturant de lumière en certains endroits. C'est la fonction d'enregistrement. Pour la fonction de lecture, le laser balaie de nouveau le bloc de cristaux: les régions saturées, ou "trous", laissent passer la lumière tandis que les régions non saturées la bloquent.





le courant électrique pousse continuellement les électrons sur des orbites supérieures, d'où ils retombent en émettant de la lumière.

La mémoire optique du Dr Szabo repose sur ces principes fondamentaux du spectre électromagnétique, de l'absorption et de l'émission atomiques.

C'est dans les années 60, aux laboratoires américains Bell, que les premiers jalons de sa découverte furent posés, avec les premiers travaux sur les lasers. Un laser est un pinceau de lumière cohérente — ou en phase — d'une seule fréquence et d'une grande intensité. Aux Laboratoires Bell, on découvrit que lorsqu'un laser était braqué sur une bouteille remplie d'un gaz pur comme l'hydrogène, une catégorie particulière de molécules se mettaient rapidement à émettre de la lumière sur une bande étroite de fréquence. Les molécules d'un gaz s'agitent continuellement comme un essaim d'abeilles: le laser "sélectionnait" celles qui possédaient exactement la même vitesse (une mesure de leur vitesse et de leur direction). Le Dr Szabo utilise l'analogie d'une série de cloches de diverses grosseurs et de fréquences de résonance différentes: si l'on fait vibrer un diapason à côté, seules les cloches de la même fréquence se mettront à

sonner. C'est d'ailleurs la technique employée pour accorder les instruments de musique comme la guitare. Mais ce n'est pas tout: plus le diapason possède un son pur, plus les cloches sonneront longtemps. Et plus un laser est précis, plus l'émission de lumière par le gaz durera.

Ce qui se passe en fait au coeur des atomes, c'est que le laser fournit l'énergie exacte pour mettre les électrons d'une certaine vélocité en orbite. Et lorsqu'ils retombent, ils

Essai d'un réseau de circuits intégrés.

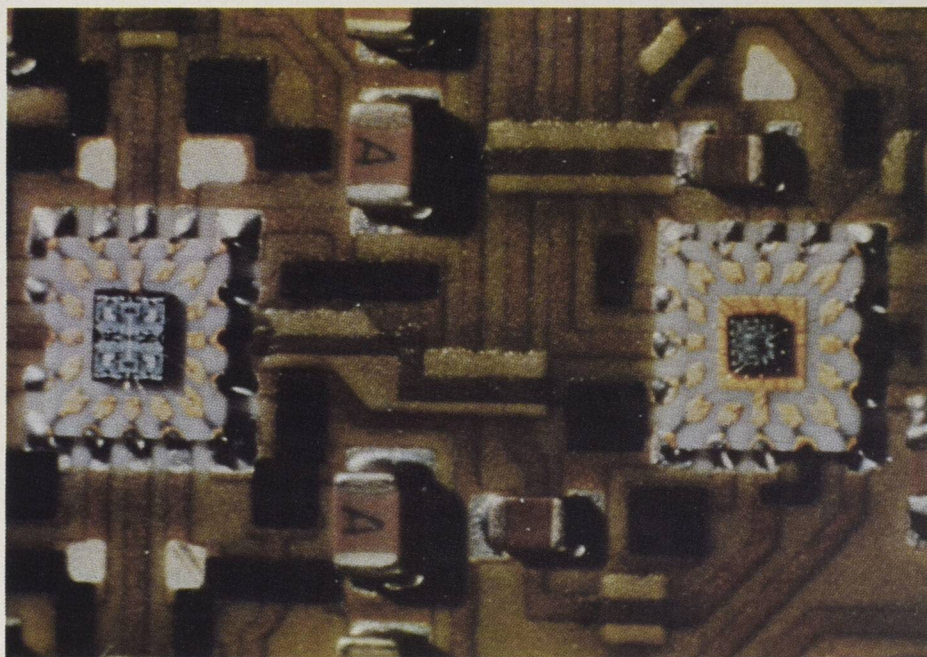


régurgitent toute cette énergie sous forme de lumière.

Aux Laboratoires Bell, on se contentait d'explorer ces phénomènes avec des gaz. Mais en 1970, le Dr Szabo tente pour la première fois l'expérience sur des solides: il braque un laser pulsé à rubis sur un cristal de rubis, et observe la lumière qui en sort. On n'avait jamais encore tenté la chose, car les physiciens pensaient qu'il était théoriquement impossible d'obtenir les mêmes résultats avec les solides qu'avec les gaz. Selon le credo scientifique de l'époque, la lumière du laser devait se "perdre" dans les méandres du cristal, et seule une fluorescence à large bande en émerger.

Après mûres réflexions, le Dr Szabo décide que comme tout dogme, celui-là pouvait bien être faux, et tente l'expérience: "C'était vraiment difficile, dit-il. Il fallait tout faire pendant le millième de seconde où le laser émettait. À ma grande surprise et à mon immense joie, tout a fonctionné du premier coup! D'habitude, ce n'est pas du tout le cas. J'étais un peu délirant car les choses se passaient exactement comme je l'avais prédit. Le laser oscillait entre deux fréquences très rapprochées. Lorsque j'ai visé le rubis, la fluorescence en est sortie plusieurs millièmes de seconde après que le laser se soit éteint. Mais les deux fréquences étaient parfaitement conservées. Autrement dit: chaque fréquence avait excité une catégorie particulière d'ions."

L'analogie avec une photo couleur à très grande résolution lui vint immédiatement à l'esprit. Comme une photographie "enregistre" les couleurs, le rubis emmagasinait deux fréquences lumineuses très étroites et très rapprochées. Et lorsque les électrons atteignaient leur phase excitée, le rubis devenait "transparent" à tout laser de même fréquence: plutôt que d'absorber la lumière, il la retransmettait. Le phénomène équivaut à faire un trou dans une feuille de papier avec une



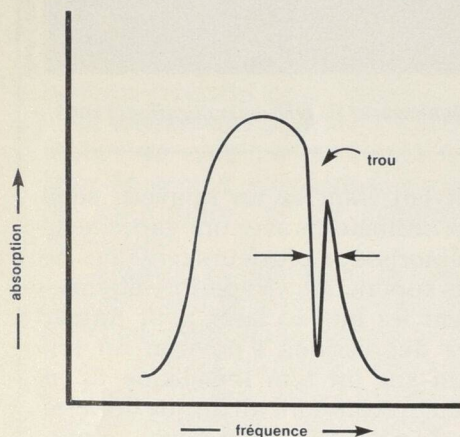
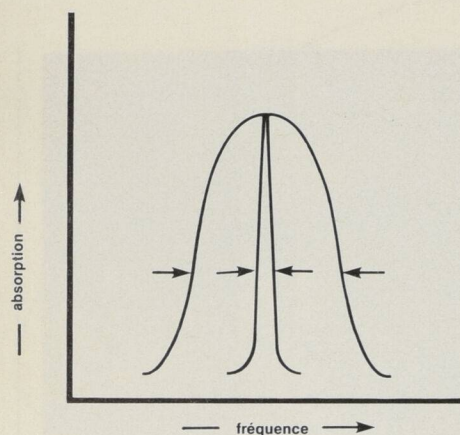
Circuits intégrés de Mitel Corporation destinés à l'équipement de télécommunications (x40).

loupe solaire, et à l'éclairer ensuite avec la même lumière: celle-ci passera à travers la feuille par le trou. Szabo appela d'ailleurs sa technique: "perforation optique". Et puisqu'une photographie n'est en fait qu'une forme de mémoire grossière, il se dit soudain qu'avec sa perforation optique infiniment plus précise, il avait peut-être découvert la plus formidable mémoire informatique jamais inventée.

Pour comprendre la portée révolutionnaire de la découverte du Dr Szabo, quelques comparaisons s'imposent. Les ordinateurs actuels utilisent un langage binaire: un code à deux chiffres — 1 ou 0 — qui forme l'unité de base, le bit. Huit bits font un octet et représentent un nombre ou une lettre, par exemple 00101001. Il y a 20 ans, les données informatiques étaient perforées dans des cartes, avec une capacité de mémoire d'environ quatre bits par cm^2 . Puis vinrent les cassettes et les disquettes magnétiques et leurs centaines de milliers de bits par cm^2 . Enfin, les vidéodisques qui, depuis deux ans,

ont fait franchir un nouveau seuil aux ordinateurs avec une capacité de mémorisation plusieurs centaines de fois supérieure. On perfore littéralement les bits au laser pour former des dépressions d'environ un micron sur un film métallique ultramince recouvrant un disque de verre ou de plastique. Mais même ce prodige technologique apparaît bien désuet en comparaison de la capacité entrevue par la méthode Szabo: un million de milliards (10^{15}) de bits au cm^2 !

Voilà, en réalité, comment cela fonctionne. Il faut un laser à modulation, un laser pouvant être réglé à des fréquences incroyablement précises. La limite actuelle est d'environ un millier de fréquences, mais 10 millions sont théoriquement possibles. On braque ce laser sur des points choisis d'un bloc de cristaux, en utilisant une couleur particulière, mettons le rouge. C'est l'opération "perforation", correspondant à la fonction "enregistrement des données" dans la mémoire. Des capteurs lumineux sont disposés en surface



Carisse Graphic Design Ltd.

En haut: en mettant en rapport l'absorption et la fréquence lumineuse d'une mémoire à cristaux, on obtient un grand nombre de "crêtes". Sur ce diagramme, nous en voyons un exemple au centre, extrêmement grossi. (Une mémoire à cristal peut avoir des millions de crêtes.) La ligne qui relie les sommets de toutes les crêtes d'absorption trace une courbe en forme de cloche classique.

En bas: Lorsqu'on projette un rayon laser de fréquence déterminée sur une mémoire à cristaux, la lumière est absorbée par le cristal. Celui-ci ne pourra absorber davantage de lumière à cette longueur d'onde avant d'avoir réémis l'énergie qu'il vient d'absorber: on dit qu'il est "saturé". Cela se traduit, sur le diagramme, par un trou à l'endroit où l'une des crêtes se détache de la courbe. Dans certains cas, le processus de saturation peut s'effectuer sur un espace d'un micron (0,001 mm) seulement. Dans la plupart des cristaux, ces trous "s'effacent" au bout d'une fraction de seconde mais des chercheurs d'IBM ont mis au point récemment des matériaux qui enregistrent ces "trous de fréquence" de façon permanente.

de l'autre côté des cristaux. Pour "lire" la mémoire, on illumine tout le bloc avec un projecteur du même rouge. La lumière passe exactement à travers les trous perforés, mais se trouve bloquée partout ailleurs. On peut recommencer l'opération avec une autre couleur, du vert, du jaune, etc. qui passera au travers d'autres trous perforés sur le même bloc. Un petit calcul: 100 millions (10^8) de rayons laser finement localisés sur 1 cm^2 de cristaux, multipliés par 10 millions (10^7) de fréquences théoriques, égalent... un million de milliards (10^{15}) de bits par cm^2 .

Mais pour conserver cette mémoire optique stable, il faut refroidir le matériau à la température glaciale de 4 K (-269°C), celle de l'hélium liquide. Pour y arriver, on enferme les cristaux dans une espèce de bouteille thermos. On y injecte de l'hélium liquide par des tuyaux, et on enveloppe le tout dans une couche isolante d'azote liquide à 77 K. La lumière nécessaire à l'enregistrement et à la lecture des données pénètre jusqu'aux cristaux par des hublots. Toute cette installation très énergivore signifie évidemment que l'invention du Dr Szabo ne convient qu'aux gros ordinateurs installés à demeure. De toutes façons, il est peu probable que les machines portatives aient jamais besoin d'une telle mémoire. Bref, le problème de la température ne refroidit guère le savant.

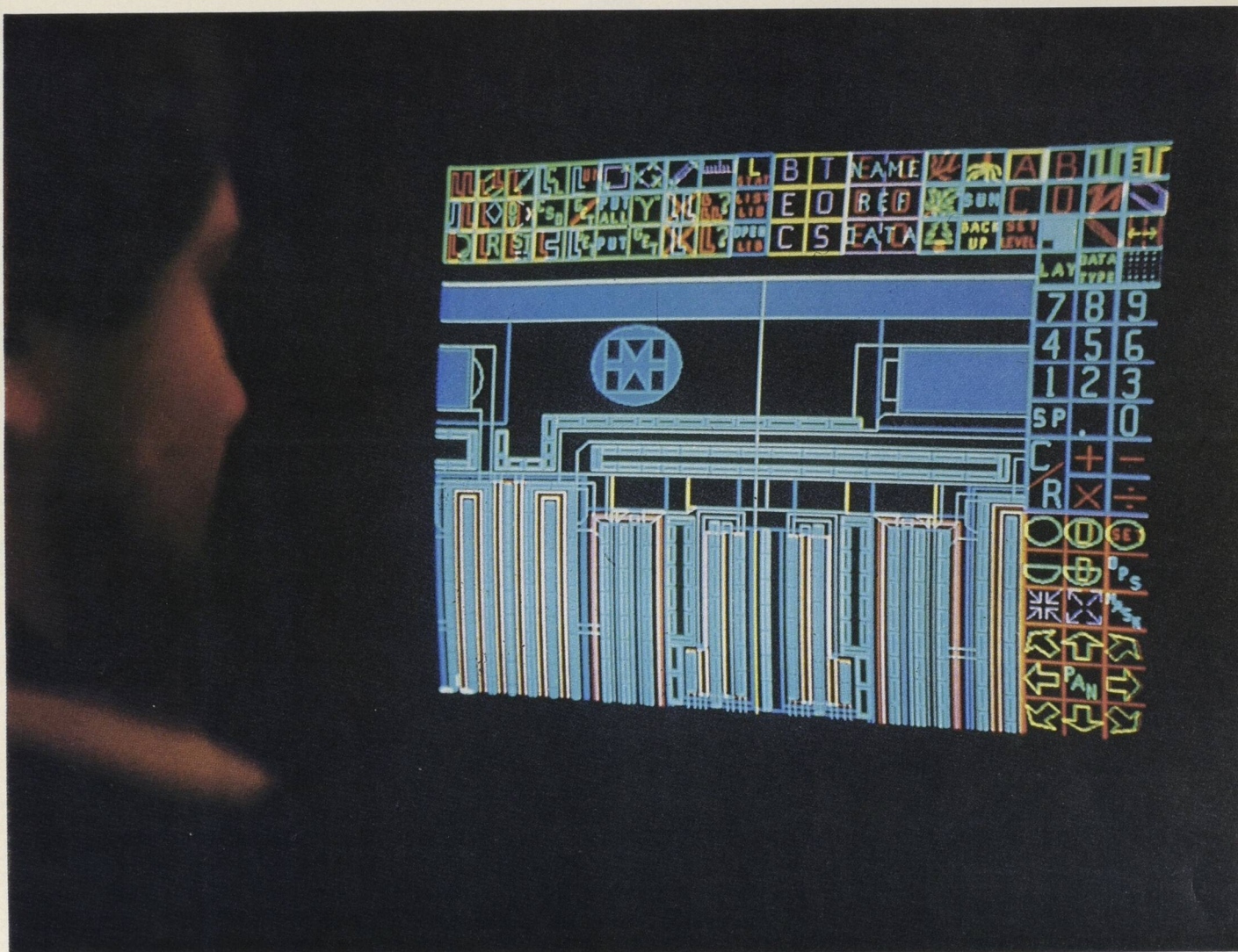
La découverte par le Dr Szabo, en 1970, que des cristaux pouvaient ainsi emmagasiner une quantité phénoménale d'informations contredisait la sagesse scientifique du temps, et portait en elle le germe d'une véritable révolution informatique. En 1972, le scientifique dépose une demande de brevet au Canada et aux États-Unis, qui est accordée en 1975. Mais à cette époque, toute une série d'obstacles apparemment insurmontables semblaient encore empêcher la réalisation pratique de la mémoire optique.

Le principal problème: comment "rafraîchir" et mettre à jour une telle mémoire? La perforation optique ne durait que 4 millisecondes, après quoi les électrons retombaient joyeusement à leur état initial. Il fallait donc trouver une technique qui permette une mise à jour tous les 4 millièmes de seconde. Les mémoires vives des ordinateurs actuels (mémoires RAM) sont ainsi rafraîchies en millisecondes. Mais faire la même chose avec un million de milliards de "souvenirs", se dit le Dr Szabo, c'était une autre paire de manches. Il aurait fallu dépenser tellement d'énergie et échafauder une telle quincaillerie, que la chose était tout simplement impossible. Solution: la mise au point d'une mémoire optique permanente, ou à long terme. Mais la tendance inéluctable des électrons à "retomber" — effaçant d'un coup tout souvenir — semblait rendre cette solution tout aussi inaccessible.

Malgré ce problème apparemment insurmontable, des expériences effectuées depuis 1974 par le savant soviétique Karl Rebane semblaient indiquer que la perforation optique était faisable. Un peu plus tard, une équipe puissamment financée par IBM s'attaqua au problème aux États-Unis, et le résolut de façon spectaculaire.

Les chercheurs d'IBM ont découvert que certains composés organiques, notamment les dérivés du polyéthylène, peuvent en effet servir à une mémoire à long terme. Une mémoire, de plus, effaçable à volonté. Cette dernière qualité s'avère hautement désirable car les matériaux peuvent alors être réutilisés constamment.

Au niveau atomique, les composés organiques se comportent de la façon suivante: lorsque les électrons atteignent leur niveau élevé d'énergie, ils propulsent les atomes voisins dans une configuration nouvelle; lorsque les électrons retournent à leur niveau initial, les atomes,



Mitel Corporation

eux, demeurent dans leur position. Cela signifie que la perforation en un certain endroit entraîne l'apparition de nouvelles fréquences en plusieurs points. Celles-ci peuvent servir à leur tour à emmagasiner des informations. Pour effacer la mémoire, il suffit de diriger un rayon laser, modulé expérimentalement, sur les nouveaux points: les atomes reprennent alors leur configuration originale.

L'autre difficulté de la mémoire Szabo concernait les lasers eux-mêmes. Ce sont des appareils encombrants, chers, énergivores et à l'humeur particulièrement changeante, "si changeante, dit Szabo,

qu'il faut les cajoler constamment". Mettre la mémoire d'un ordinateur à la merci de ces instruments semblait impraticable. Mais cette difficulté a maintenant été résolue par la mise au point des fameux lasers C³ par les Laboratoires Bell (C³ signifie "à clivage, à couple, à cavité" — une description technique du laser). Il s'agit de petits semi-conducteurs réglables, simples, peu gourmands et peu chers. En somme, les candidats idéaux pour faire des petits trous dans une mémoire d'ordinateur optique.

Devant toutes ces solutions récentes, le Dr Szabo est évidemment enthousiaste. "La mémoire optique

Aide à la conception informatisée.

sera un million de fois plus puissante que tout ce qui existe. Le monde de l'information en sera bouleversé."

Le million de milliards de bits qui pourront ainsi être emmagasinés dans une mémoire de la taille d'un ongle dépasseront, dit Szabo, la capacité du cerveau humain lui-même, évaluée à cent mille milliards (10¹⁴) de bits. Ainsi dotés, prédit-il, les ordinateurs deviendront impossibles à programmer. Il faudra leur inculquer de véritables algorithmes d'apprentissage, ou d'autoprogram-

mation. On pourra alors vraiment parler d'intelligence artificielle: des machines capables d'apprendre, comme nous, par l'expérience. En somme, la mémoire Szabo ne fera peut-être pas que faciliter l'arrivée des ordinateurs de cinquième génération: elle en aura sans doute besoin pour fonctionner.

Mais l'enthousiasme du savant se teinte de regrets. En 1978, IBM obtenait un brevet américain semblable à celui octroyé au Dr Szabo en 1975. Il semble que les chercheurs de IBM aient songé à abandonner leur demande lorsqu'ils découvrirent le brevet antérieur de Szabo. Mais leur projet mentionnait explicitement la perforation optique *permanente*, contrairement à celui du chercheur, et le brevet fut accordé. La perforation optique est bel et bien son invention. La technique faisant qu'elle peut être permanente fit l'objet d'une publication par Rebane en 1974, et fut subséquemment mise au point par des scientifiques hollandais.

La guerre des brevets concernant la mémoire optique semble d'ailleurs de plus en plus chaude. Szabo obtenait récemment un nouveau brevet décrivant une technique de balayage laser permettant de lire et d'enregistrer rapidement les données sur les cristaux; elle s'accompagne d'une méthode rendant possible la production de films holographiques à partir de la mémoire. Mais il craint qu'une autre demande de brevet qu'il a déposée ne soit bloquée par IBM, bien qu'il ait "établi le premier les principes physiques fondamentaux".

La petite histoire de l'électronique et de l'informatique indique que le savant ne s'inquiète probablement pas pour rien. Ces industries ont toujours été déchirées par des batailles de brevet. Au début, Thomas Edison lui-même subit les coûts d'une guerre au sujet de son ampoule électrique, et parlait des

brevets comme d'une simple "invitation à une poursuite civile". Dans son livre *The new alchemists* (*Les nouveaux alchimistes*) publié en 1982, Dirk Hanson explique comment les déboires d'Edison entraînèrent la situation suivante:

...le brevet devint une arme puissante pour conquérir le marché. En obtenant le plus de brevets possibles pour une seule invention, une compagnie détenant les droits pouvait littéralement empêcher une compagnie rivale de lancer son propre produit. Et comme chaque génération d'inventions électroniques posait aux tribunaux de nouvelles questions, les compagnies se devaient de poursuivre d'abord, et de vérifier la validité de leur cause après...

Et ainsi s'est déroulée l'histoire.

La guerre du tube à vide par exemple — un avatar de la bataille de l'ampoule électrique qui jeta les bases de l'industrie électronique moderne — fit rage devant les tribunaux américains pendant près de deux décennies au début du siècle. La priorité pour l'invention de l'ordinateur numérique, mis au point dans les années 40, ne fut finalement établie qu'en 1974. La bataille du circuit intégré — l'âme de la révolution micro-informatique — dura de 1959 à 1969. Quant à la guerre du laser, également amorcée à la fin des années 50, elle dure toujours.

Le Dr Alex Szabo pense qu'une bataille juridique fondée sur ses brevets pourrait être bientôt engagée. "Si IBM sort un produit, je possède toujours le premier brevet. De nos jours, les mémoires représentent pour cette compagnie un plus gros marché que les ordinateurs eux-mêmes. On parle ici de milliards de dollars!"

Pour le chercheur, ses travaux sont la confirmation que le Canada peut produire des recherches aussi valables que celles des Américains, des

Soviétiques ou des Japonais. Mais la question demeure: sommes-nous prêts à faire les efforts financiers et administratifs nécessaires pour transformer ces résultats en une industrie rentable? "Voulons-nous rester des éternels copieurs, ou prendre des risques et foncer?" demande-t-il.

En attendant la réponse, le chercheur solitaire, et la puissante équipe d'IBM, poursuivent leurs travaux sur la mémoire à cristaux. ☾

Paul Tisdall est un journaliste indépendant d'Ottawa.

Adaptation française: Daniel Pérusse

M. Pérusse est un journaliste indépendant de Montréal.

SUZUKI

Faire confiance au Canada

Je me souviens très distinctement de la réponse que me fit mon fils, il y a quelques années, lorsque je lui demandai s'il pensait que l'équipe canadienne de hockey allait faire bonne figure lors du prochain tournoi mondial. Il était capitaine de son équipe à l'époque, et un joueur plutôt habile. Il soupira: "Ils ne sont pas assez bons. J'aime mieux les Tchèques."

J'étais soufflé. Je n'en revenais pas de découvrir une attitude aussi cynique et désabusée chez un adolescent. Depuis lors, je suis terriblement conscient du fait que nos jeunes Canadiens manquent de héros.

Si nous pouvons généraliser à partir de cet exemple, nous constatons que les Canadiens ont tendance à sous-estimer leurs propres réussites, au point où il leur manque l'assurance nécessaire pour se lancer dans des entreprises d'envergure internationale. J'entends souvent des gens s'enorgueillir du fait que Lorne Greene soit un Canadien, tout en dénigrant les acteurs qui préfèrent demeurer au Canada. En bien, à mes yeux, Lorne Greene est un Américain et le fait de savoir qu'il a débuté dans le métier avec la CBC n'est pour moi qu'un motif de fierté dérisoire. Évidemment, il fut une époque où il était nécessaire pour nos artistes de talent de s'exiler aux États-Unis ou en Europe pour jouir d'une renommée mondiale. Mais nous avons depuis longtemps dépassé ce stade. À part les Canadiens et Canadiennes de réputation internationale, je pourrais nommer beaucoup de chercheurs, d'écrivain(e)s, d'artistes, de comédien(ne)s de chez-nous dont la compétence et le talent seraient appréciés n'importe où ailleurs. Ce qui ne les empêche pas de se faire demander à tout propos dans leur propre pays: "Comment se fait-il, si vous êtes aussi bien qu'on le dit, que vous ne faites pas carrière en France ou aux États-Unis?"

J'ai connu plusieurs scientifiques qui effectuaient au Canada des travaux de recherche totalement originaux et qui ne pouvaient obtenir de fonds canadiens parce que personne ne travaillait sur des projets similaires aux États-Unis ou en Europe. En refusant de croire que les Canadiens peuvent être novateurs, nous risquons de n'en faire à jamais que des imitateurs.



Il y a plusieurs années, dans une lettre au premier ministre Trudeau, je déplorais la pénurie, au Canada, de modèles d'excellence, que les jeunes Canadiens et Canadiennes pourraient admirer et imiter. Je lui disais qu'il faudrait faire connaître à nos jeunes l'existence de ces hommes et de ces femmes de notre pays qui ont fait leur marque sur la scène internationale afin de leur donner le goût et la détermination de marcher sur leurs traces. À mon avis, la communauté scientifique pourrait fournir de tels modèles et j'ai donc suggéré d'accroître, sur une période de dix ans, les fonds affectés à la recherche pour permettre la création de centres d'excellence misant sur les talents de jeunes scientifiques exceptionnels. Ma lettre n'a pas eu de suite, mais cela n'a en rien ébranlé ma conviction que nos enfants ont besoin de savoir qu'il existe également dans leur propre pays des personnes qui atteignent à l'excellence.

En voulant prendre la défense de la science canadienne, je me suis parfois attiré les foudres de mes interlocuteurs. "La Science transcende les nationalités", m'a-t-on souvent rétorqué. Mais alors, dites-moi, d'où proviennent nos fonds de recherche et pourquoi existe-t-il un intérêt aussi vif pour une politique scientifique *nationale*? "Le nationalisme est dangereux", a-t-on ajouté. Un des mes collègues de l'Université de la Colombie-Britannique (originaire de Grande-Bretagne) m'a traité de fasciste pour avoir suggéré d'établir deux listes distinctes pour les candidats à de nouveaux postes au sein de notre département. La pre-

mière liste renfermerait les noms de Canadiens, la deuxième, ceux de candidats d'autres nationalités. Nous pourrions évaluer les candidats canadiens et, si l'un d'eux satisfaisait à nos exigences, nous pourrions l'embaucher sans autre forme de procès. Si aucun des Canadiens ne faisait l'affaire, nous pourrions choisir parmi les candidats restants.

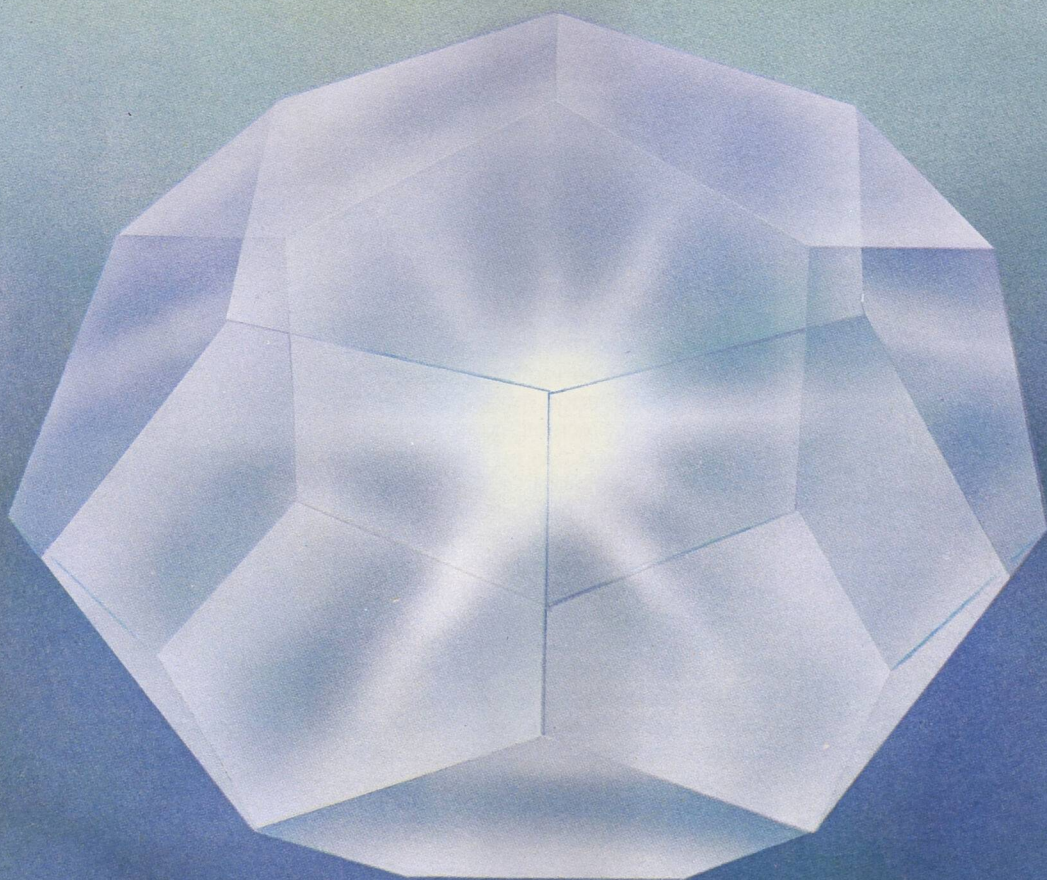
Pour avoir fait cette suggestion, on m'a traité de fasciste. Pourtant, tous les Canadiens savent que les Américains exercent une discrimination à notre égard lorsque nous sollicitons des emplois aux États-Unis, alors pourquoi imposons-nous aux Canadiens un double handicap en les plaçant sur le même pied que les Américains? J'ai souvent entendu, lors de voyages aux États-Unis, des Américains se plaindre que les Canadiens sont trop nationalistes et qu'ils se préoccupent trop de la question de l'identité. Cette attitude se compare, à mon avis, à celle du riche aristocrate qui méprise les inquiétudes du pauvre pour l'argent. Lorsque vous avez amplement d'argent, il est facile de minimiser son importance. Les Américains sont sans doute le peuple le plus nationaliste et le plus patriotique que je connaisse; s'ils n'en sont pas conscients, c'est parce qu'ils ont atteint le point où cette fierté n'a plus besoin d'être affirmée avec ostentation. Mais les Canadiens n'en sont pas encore là et nous devons encore être conscients de notre identité.

J'ai entrepris, au cours des deux dernières années, de trouver des exemples de Canadiens qui avaient atteint des sommets dans les Sciences et la Technologie et dont les jeunes Canadiens pourraient s'inspirer. Ils sont nombreux. Dans un premier temps, j'ai examiné l'histoire des inventions et des idées en Colombie-Britannique, et l'ampleur et l'ingéniosité des découvertes que j'y ai relevées m'ont étonné. Celles-ci prouvent, une fois de plus, que la nécessité est véritablement la mère de l'invention et qu'elle fournit souvent l'impulsion nécessaire pour improviser et innover. Les vastes espaces de la Colombie-Britannique commandaient de nouvelles façons de communiquer et de transporter les matériaux, d'exploiter les forêts, etc. Combien de vous savent que le walkie-talkie a été inventé par un résident de Burnaby, C.-B.? Ou que le "jolly-jumper" a été inspiré à une métisse par les porte-bébés indiens? Le premier chaland

De l'énergie surgelée

Les hydrates de méthane

Dans les profondeurs des océans et sous les étendues glacées de l'Arctique se trouvent de vastes réserves d'énergie sous forme d'hydrates de gaz. Si ces gisements étaient exploités, ils pourraient nous permettre de ménager nos réserves de combustible fossile et d'en prolonger la durée de plusieurs centaines d'années. Il se peut



par Janice Nurski

Blanchi

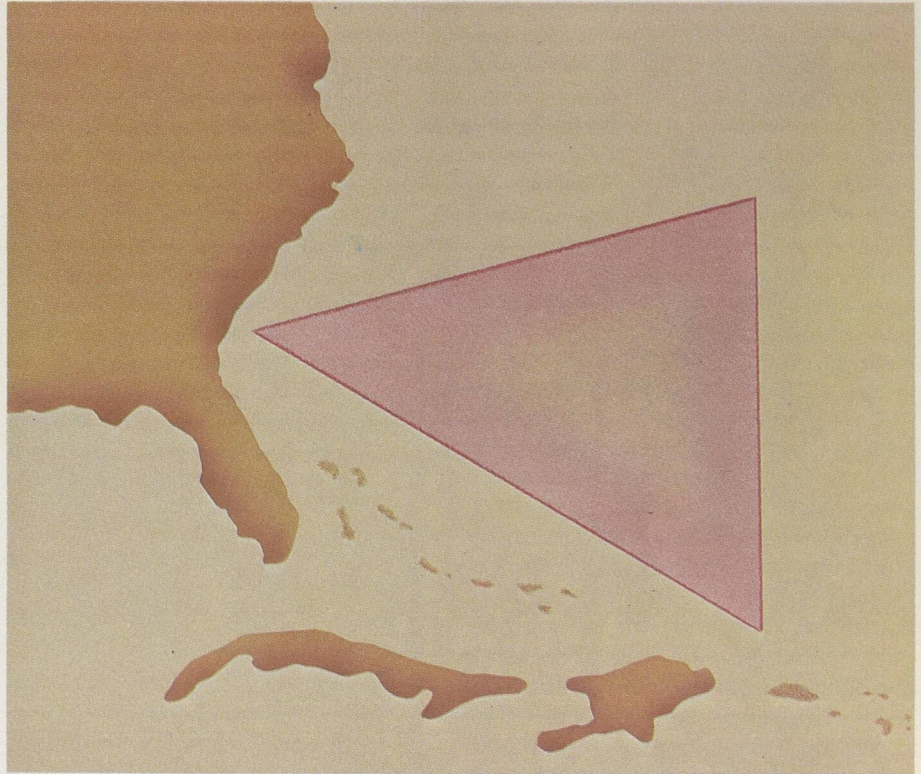
également qu'ils soient responsables de la disparition mystérieuse de navires et d'avions dans la région connue sous le nom de "Triangle des Bermudes".

Les fortes pressions et les basses températures qui existent au fond des océans se liguent pour transformer les molécules d'eau et de gaz en hydrate de gaz, combinaison qui présente une structure inusitée, semblable à celle de la glace. Toutefois, contrairement à ce qui se passe avec la glace ordinaire, les molécules d'eau qui s'unissent alors forment un réseau tridimensionnel de cages sphériques qui emprisonnent les molécules de gaz avoisinantes; l'un de ces gaz est le méthane, produit par la décomposition des sédiments organiques qui se déposent au fond des océans depuis des millions d'années. Ces hydrates gelés conservent habituellement leur stabilité — à moins que certaines conditions, comme une élévation de température ou une baisse de pression, ne provoquent leur "décomposition" ou leur fonte, libérant d'énormes volumes de gaz.

Selon Don Davidson, chimiste au CNRC, les réserves de gaz naturel ainsi piégé sous forme d'hydrates de gaz dépasseraient de beaucoup tous les gisements connus de gaz naturel emprisonné dans le sous-sol. Dans l'espoir de pouvoir un jour exploiter cette source d'énergie disponible, des scientifiques du CNRC étudient le comportement des hydrates de gaz dans différentes conditions. Quels niveaux de température et de pression permettent d'assurer la stabilité des hydrates? Quelle quantité

de chaleur est nécessaire pour les faire fondre? Selon eux, l'énergie nécessaire pour libérer le gaz hydraté ne serait guère plus grande que celle qui permet de faire fondre la glace. Le méthane libéré pourrait même servir au processus de récupération: la combustion d'environ 7% du méthane récupéré des hydrates fondus fournirait, semble-t-il, assez d'énergie pour faire fondre davantage d'hydrates.

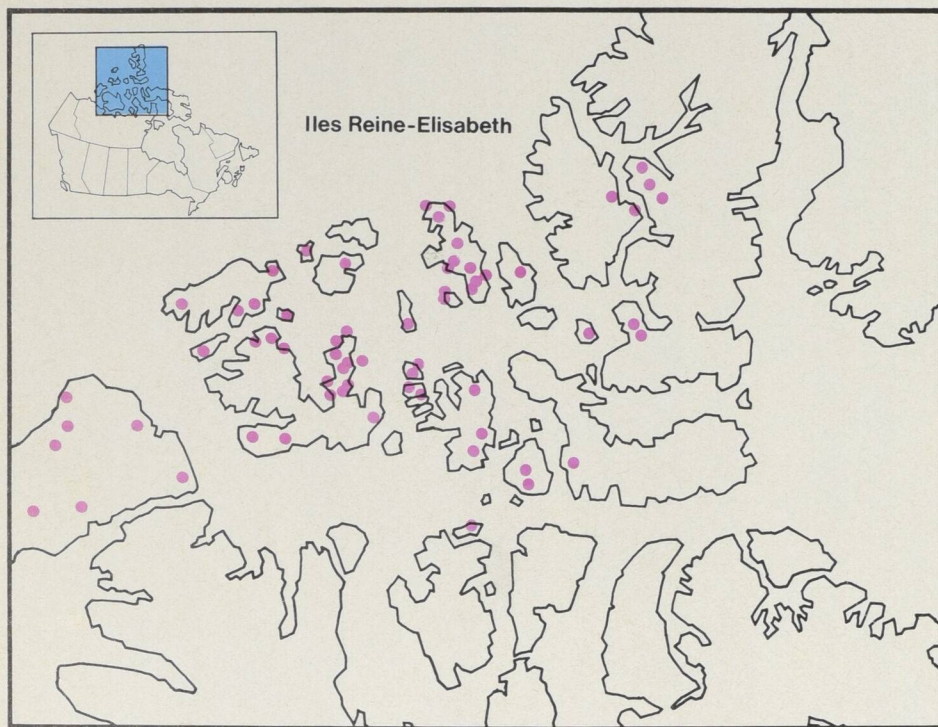
Des relevés océanographiques indiquent que les plus grands gisements d'hydrates de méthane se trouvent sous la mer. Si les évaluations des Russes sont exactes, ces gisements pourraient couvrir plus de 85% du sous-sol marin. L'un des plus gros gisements — une couche de plusieurs centaines de mètres de profondeur et de plusieurs centaines



Des explosions d'hydrates de méthane pourraient être responsables de la disparition mystérieuse de navires et d'avions dans des régions comme le Triangle des Bermudes (ci-dessus).

Voici comment l'artiste John Bianchi se représente la structure des hydrates de gaz, ces "cages" moléculaires qui emprisonnent les molécules de gaz.

Les fonds marins seraient pavés d'énergie gelée



Sites de forage dans l'Arctique où l'on a découvert des hydrates de méthane.

de kilomètres carrés — se trouverait au large des côtes de la Californie. Et c'est à cet endroit, pense Davidson, que le premier gros projet d'exploitation de ce gaz pourrait voir le jour. La mer fournira elle-même et à bon compte l'énergie nécessaire à l'opération: à 20 °C, les eaux de surface sont suffisamment chaudes pour faire fondre les hydrates... à condition toutefois que l'on trouve le moyen de les pomper jusqu'à la zone hydratée. Le gaz pourrait être capté au moyen d'un dispositif collecteur et transporté par gazoduc ou par bateau.

Dans le nord du Canada, les plus grands gisements d'hydrates de gaz se trouvent sous la mer de Beaufort et forment une zone presque continue; le pergélisol terrestre renferme également des poches sporadiques qui se présentent habituellement en couches de quelques



Dan Getz

Le chimiste Don Davidson: "Si les évaluations sont exactes, les gisements d'hydrates de gaz pourraient couvrir plus de 85% du sous-sol marin."

mètres de profondeur. Une meilleure connaissance de la nature de ces hydrates devrait permettre aux scientifiques d'en déterminer l'emplacement et, entre autres, de réduire les risques d'incendie et d'autres problèmes associés à l'exploration pétrolière — comme la "percée" accidentelle des couches d'hydrates par des équipes de forage et, la chaleur aidant, la libération du gaz qui s'y trouve. On note également que des dépôts d'hydrates de gaz ont tendance à se former dans les trous de forage et dans les gazoducs servant au transport du gaz naturel. Le gaz chaud et humide qui remonte dans le puits se cristallise au contact des tempé-

Est-ce bien ce qui arrive?



John Bianchi

ratures plus froides de la surface et finit par bloquer partiellement ou complètement l'ouverture. Ce sont de tels problèmes qui ont amené les Russes à étudier le phénomène des hydrates solides. Ils expérimentent actuellement diverses techniques d'exploitation dans les zones hydratées qui parsèment les immenses champs de gaz naturel de Sibérie.

Les techniques à l'étude pour l'exploitation du pétrole lourd — telles que l'injection de vapeur d'eau ou de gaz chauds — pourraient également, selon Davidson, être appliquées aux hydrates de gaz de l'Arctique. Malheureusement, l'inaccessibilité et l'environnement hostile de cette région interdisent toute exploitation rentable de cette source d'énergie dans un avenir rapproché. La nature des hydrates commence à être mieux comprise mais, même si l'on disposait de la technologie nécessaire, l'abondance et le coût de production relativement peu élevé du gaz naturel s'opposent à l'exploitation des hydrates de gaz, jugée trop coûteuse à l'heure actuelle. Entre temps, les recherches se poursuivent et devraient permettre de résoudre certains des problèmes posés par les hydrates tout en préparant la voie à une exploitation sûre et bon marché de ces immenses réserves.

Quel lien y a-t-il entre le phénomène des hydrates solides et la disparition mystérieuse de navires et d'avions en mer? Celle-ci pourrait être également due à des explosions de gaz naturel. C'est du moins la thèse avancée par Richard McIver (de McIver Consultants International, à Houston, au Texas), qui suggère que la zone hydratée pourrait opposer une barrière infranchissable au gaz qui s'accumule dans la couche sous-jacente, où la température ambiante plus élevée empêche la formation d'hydrates. Si

SUZUKI



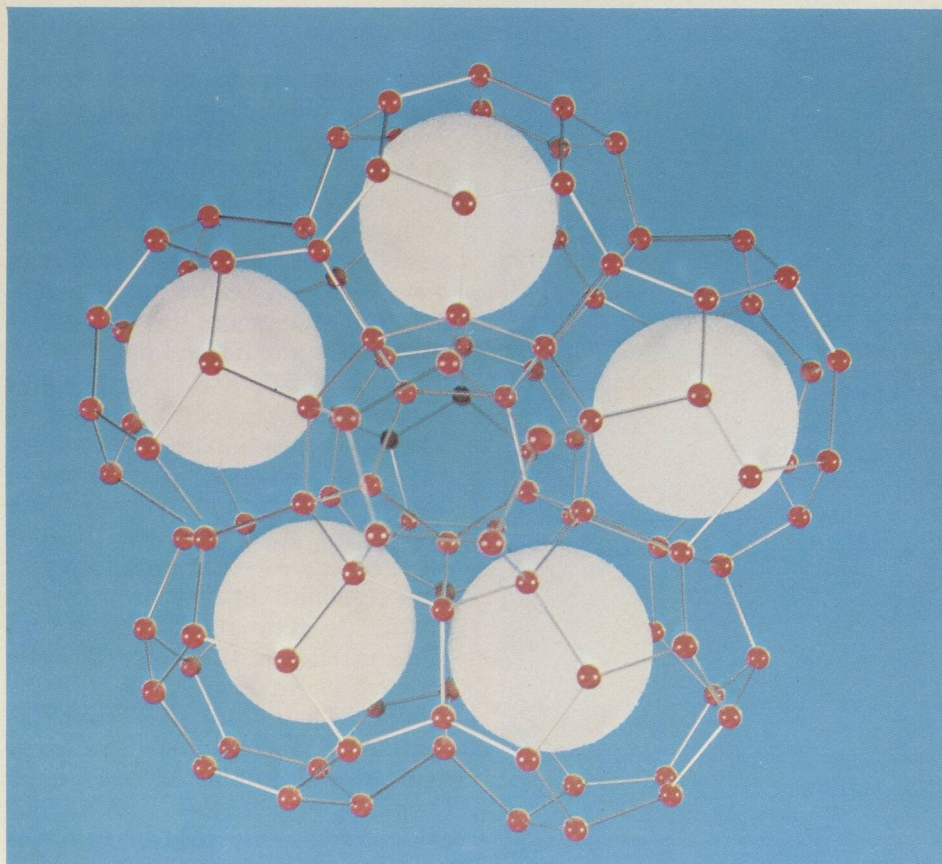
Suite de la page 29

automoteur, autochargeur et auto-déchargeur pour le transport des billes de bois a été conçu et fabriqué à Vancouver. Le transport par conteneurs a été introduit pour la première fois en Colombie-Britannique et c'est un citoyen de Vancouver qui a conçu les poignées encastrées que l'on retrouve sur les caisses de bière. L'ingéniosité et la variété de ces inventions devraient nous convaincre.

Un second projet m'a conduit à des recherches qui m'ont valu par procuration de nombreuses heures de plaisir. Je travaille présentement à un livre sur les travaux de scientifiques canadiens qui ont ouvert de nouvelles avenues à la science mondiale. Encore une fois, cette quête m'a permis de relever un nombre impressionnant de scientifiques. L'histoire de leur cheminement et de leurs travaux est tout simplement passionnante. Elle nous montre que les découvertes importantes sont dues au génie de *personnes*, et non à de larges subventions, à des édifices ultramodernes ou à un équipement hautement sophistiqué. Des personnes qui font montre d'originalité, de curiosité et de dynamisme.

Aux gouvernements, qui s'apprêtent à dépenser de fortes sommes dans des domaines de recherche nouveaux comme l'ingénierie génétique et les ordinateurs, je voudrais rappeler qu'édifices neufs et larges subventions ne sont pas nécessairement synonymes de recherche valable et qu'ils feraient mieux d'investir dans des scientifiques de classe internationale. Et aux jeunes, je veux montrer qu'il existe au moins des dizaines d'exemples prouvant que des travaux scientifiques de classe internationale peuvent être réalisés ici même, au Canada. Ces exemples, nous nous devons de les faire connaître.

Adaptation française: Line Bastrash



CNRC

Modèle de la structure moléculaire des hydrates de gaz. Les fortes pressions et les basses températures se liguent pour transformer les molécules d'eau (boules rouges) en un réseau de cages sphériques qui emprisonnent les molécules de gaz (boules blanches).

cette barrière lâche ou se fissure à la suite d'un tremblement de terre ou d'une perturbation quelconque, le gaz et les hydrates jusqu'alors retenus par la barrière remonteront vers la surface, donnant naissance à des panaches d'eau ou à des zones de turbulence sur l'océan. Si le volume de gaz libéré est important, il pourrait entraîner la formation d'une bulle géante hautement inflammable au-dessus de la surface de la mer, mettant en danger non seulement les navires passant à proximité mais également les avions volant à basse altitude.*

Des pilotes d'avion ont rapporté avoir observé de tels panaches sur l'océan, probablement causés par

des explosions de gaz, mais cette théorie n'a pas encore pu être vérifiée jusqu'ici. Davidson croit que les pertes de navires rapportées dans les Bermudes seraient plus fréquentes en raison du grand nombre de petits bateaux qui naviguent dans ces eaux et d'avions qui survolent la région à basse altitude. Il affirme que l'explosion d'hydrates de gaz constitue une explication aussi plausible que les autres hypothèses avancées jusqu'ici pour expliquer le mystère du Triangle des Bermudes.

*Réf. R.D. McIver, Amer. Assoc. Petrol. Geologists Bull. 66, 789 (1982)

Adaptation française: Line Bastrash

Suite de la page 2

Wilson: Il me semble excellent, mais j'ajouterais un élément que je ne me rappelle pas avoir vu dans son sommaire: les sciences, tout comme la natation ou le piano, ne s'apprennent que par la pratique. Cela signifie qu'on doit faire soi-même beaucoup d'expériences pour découvrir les lois qui régissent le monde physique. Sans ces expériences, on peut étudier pendant des années, et même devenir un historien scientifique compétent, sans vraiment saisir l'essence de ce qu'on étudie. La Science est une *activité*. C'est une méthode d'interrogation de la nature par laquelle on structure ses questions de manière à ce que la nature (du moins on l'espère) y réponde sans équivoque.

Cela me semble être l'attitude à adopter si l'on veut que le public acquière un esprit scientifique. Nous ne sommes pas en train de dévaloriser la Science ou de la transformer en la popularisant, mais nous essayons de changer l'attitude du public tout en gardant la Science fondamentalement intacte. En ce qui concerne les écoles, vous pouvez améliorer les textes, la compétence des professeurs et le matériel tant que vous voulez, mais l'élément expérimental demeure le facteur le plus important. Au fond, l'expérimentation est l'essence de la Science.

Dimension Science: À quel âge peut-on commencer à enseigner la méthode expérimentale? N'est-ce pas une méthode qui s'adresse surtout aux adultes?

Wilson: Pas du tout. Les jeunes enfants apprennent tout naturellement en expérimentant. Nous avons à l'OSC un programme où l'on montre à de tout jeunes enfants de trois ans des expériences scientifiques très simples. Ils n'ont pas besoin de laboratoires ni de bureaux: ils s'assoient par terre et manipulent des ballons, des gobelets de papier, de l'eau, de la levure, du savon, du jus de citron — des choses très ordinaires quoi! Le coût par enfant revient à moins d'un dollar par séance, et l'enfant emporte son "matériel de laboratoire" chez lui après la classe. Les parents disent que leurs enfants préfèrent notre programme aux dessins animés du samedi matin.

Dimension Science: Avez-vous publié ce programme?

Wilson: Non, nous n'avons pas eu le temps. Il y a des dizaines de milliers de jeunes Canadiens qui aimeraient suivre ce programme; et, quant à cela, trois cents millions de Chinois. Mais nos ressources sont

limitées. Nous n'avons tout simplement pas trouvé le temps de publier toutes nos idées jusqu'à présent.

Dimension Science: Avez-vous d'autres programmes expérimentaux?

Wilson: Bien sûr! Ils sont notre raison d'être. Nous avons un spectacle de démonstration itinérant donné par une seule personne (en l'occurrence, une femme), que nous appelons notre programme "professeur sur demande". Là encore, ce sont les expériences qui facilitent la mémorisation de la chose enseignée, surtout si vous y assistez en personne. Un autre de nos programmes est un cours spécial conçu pour les élèves du secondaire, qui y assistent par groupes de 24 pendant un semestre, c'est-à-dire six mois. On les fait travailler dur. Mais on doit leur donner un enseignement de qualité puisque 82 pour cent des filles et 64 pour cent des garçons obtiennent une bourse d'études collégiales. Ils viennent de toutes les parties de l'Ontario, de Windsor à Cochrane. Quant à nos professeurs, leur va-et-vient entre le programme de l'OSC et le système scolaire secondaire de l'Ontario leur permet non seulement de jouir d'une plus grande liberté d'action chez nous, mais aussi de demeurer en contact avec le monde "réel" de l'enseignement.

Dimension Science: L'OSC fait-il quelque chose en dehors de l'Ontario?

Wilson: De nos jours, on dépense des centaines de millions de dollars dans le monde pour des centres scientifiques; nous en profitons donc pour vendre à l'étranger notre compétence durement gagnée. Nous chargeons des firmes canadiennes de préparer des expositions, d'en fabriquer les éléments, de les installer, puis de les pourvoir du personnel nécessaire pour nos clients de l'étranger. Cette approche connaît un véritable succès: ainsi, l'an dernier, notre chiffre d'affaires pour le Japon a dépassé le million de dollars.

Nous avons également constitué une société privée appelée "Friends of Science — Les Amis de la science", qui a 14 annexes dans la province. Il ne s'agit pas tant d'un forum où les scientifiques peuvent se rencontrer, comme c'est le cas de l'American Association for the Advancement of Science, mais plutôt d'un endroit où le profane peut discuter de science et regarder des expériences se dérouler sous ses yeux. C'est exactement ce qu'il nous faut si nous voulons provoquer chez toute personne instruite une prise de conscience de l'importance de la science et de la technologie. ☺

EXIGEZ LE VÔTRE



Ça peut être amusant de lire DIMENSION SCIENCE
en compagnie de vos ami(e)s et de leur faire découvrir
une revue scientifique abondamment illustrée
qui les renseigne sur les plus récents progrès
de la Science et de la Technologie canadiennes...
dans un langage qu'ils peuvent comprendre. Et c'est gratuit!

Mais toutes ces raisons font que DIMENSION SCIENCE
est de plus en plus populaire et, si vous êtes abonné(e),
vous savez combien il est ennuyeux
de voir vos exemplaires disparaître.

Et si vous ne l'êtes pas encore, n'est-il pas temps
de cesser de lire DIMENSION SCIENCE
par-dessus l'épaule des autres?

La solution est simple:
retournez-nous votre carte d'abonnement aujourd'hui même!

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

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

Canada