























# SCIENCE DIMENSION

VOLUME 16, NO. 1, 1984

**DISTURBING SLEEP • ARTIFICIAL OCEAN STORMS • SEALING JET ENGINES**

## OPTICAL ASTRONOMY



*Bianchi*



# Gerhard Herzberg-Work In Progress

*Spectroscopists — scientists who study photons emitted and absorbed by matter — have a special kind of patience. Working in darkened laboratories, they shine light through samples of matter to derive absorption spectra, and subject other samples to high-voltage electrical discharges to produce spectra of emission.*

Gerhard Herzberg (b.1904) was already a distinguished spectroscopist when he left Nazi Germany in 1935 and came to Canada. In the half-century since then, he has fulfilled a brilliant promise with a career that includes the Nobel Prize in Chemistry.

What won Herzberg the Nobel? "For a chemical reaction to occur," reads his 1971 Prize citation, "molecules must break up into fragments which rearrange to form new molecules. These fragments, called 'free radicals,' are very difficult to study, as their lifetimes are measured in millionths of a second." Despite these difficulties, Herzberg devised a series of classic experiments which opened up free radicals to scrutiny for the first time.

Even for a spectroscopist, Gerhard Herzberg has patience — his successful search for the free radical methylene, for instance, took fourteen years. But Canada's only living Nobel laureate still does not consider his work complete: Herzberg keeps regular hours at his Ottawa laboratories in the NRC Institute now named for him. Last October, Science Dimension interviewed him there.

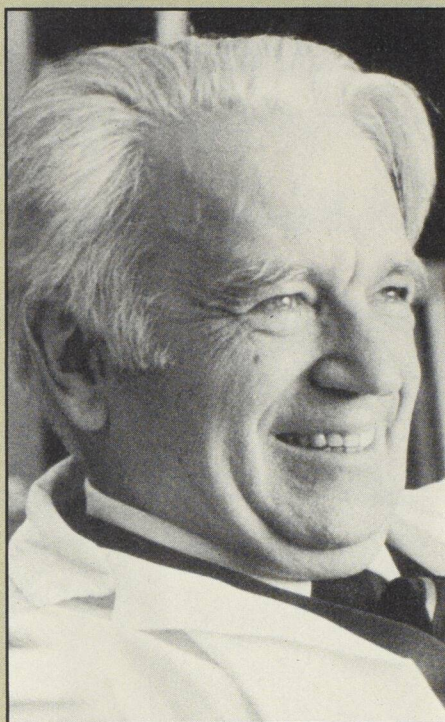
**Science Dimension:** Rather than review your previous work, let's discuss what you've done since 1971, and what you still hope to do.

**Herzberg:** Well, since I won the Prize my time has been somewhat limited because of interviews like these! But in 1979, I did discover a spectrum of triatomic hydrogen. It was pure serendipity; anyone could have seen it fifty years ago.

Our group had been looking for the emission spectrum of ionized triatomic hydrogen,  $H_3^+$ , a system comprising two electrons and three protons. We never found  $H_3^+$ , but we did discover instead  $H_3$  neutral — three electrons and three protons. That one extra electron doesn't sound like a great change, but it produces a markedly different series of emission lines.

**Science Dimension:** If the neutral  $H_3$  spectrum could have been seen fifty years ago, why wasn't it found until 1979?

**Herzberg:** Nobody looked for it. Workers in this field, myself included, were convinced that  $H_3$  neutral could not exist. I myself thought a lot about the ion,  $H_3^+$ , but I never considered the system with an additional electron, because everyone working with hydrogen knew that system was



Ted Grant

unstable! And so it is, in the 'ground state' — when it's unexcited. Then it's just a hydrogen atom, H, and a hydrogen molecule,  $H_2$ , which have no attraction for one another. What wasn't apparent until 1979, when we obtained this new spectrum, was that under certain conditions, you *can* have  $H_3$  neutral. The trick is to add energy to either the H or the  $H_2$  before you bring them together. Then they attract one another very well.

But we didn't know this at first: all we had was an emission spectrum that we knew wasn't  $H_3^+$ , or anything else we were familiar with for that matter. It was a typical scientific detective story. I kept the spectrum here on my desk, on a viewer, and now and then I looked at it and said, "Well, is it an artifact?" In other words, is it a real spectrum, or merely an illusion produced by our experimental technique? Then, one morning in January 1979, it suddenly occurred to me what it was.

**Science Dimension:** Just like that?

**Herzberg:** It's very difficult to describe this sort of thing: after months of puzzlement, it took me only a few minutes to realize what was going on. First I recalled certain predictions that had been made in the literature about  $H_3^+$ , the ion. It was supposed to be an equilateral triangle with a side length of about 0.87 angstroms; this, in turn, predicts a definite value for a molecular rotation constant known as the B-value. I remembered, that morning, that I could read the B-value of my mystery molecule right off its spectrum by using an ordinary ruler, and I did so. It proved to be in exactly the location predicted for  $H_3^+$ , even though we knew for certain that this was not  $H_3^+$  we were looking at. So I thought: "What if the structure of this unknown molecule is very similar to the triangular structure of  $H_3^+$ ? That would explain the identical B-value."

Now, we had produced this unexplained spectrum under conditions where you can see the spectrum of ordinary hydrogen. What, then, if you might also get *neutral* triatomic hydrogen under these conditions? What, in other words, if H and  $H_2$  could attain states in which they did *not* repel? To accomplish this, the extra electron that converts  $H_3^+$  to a neutral molecule would have to be sufficiently far from the three central protons of the molecule so as not to disturb their spatial relationship. It would have to be, in other words, what is called a Rydberg electron: occupying an excited state, an outer orbital.

At this point, everything just dropped into place. It all fitted that  $H_3$  is stable in 'Rydberg states', where one electron is removed from the core of the molecule. And so I con-





# SCIENCE DIMENSION

VOLUME 16, NO. 1, 1984

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

---

**Interview** 2

---

**Letters** 4

---

**Capsules** 6

---

**Modelling Ocean Storms** 8  
Keeping out of deep trouble

---

**Spraying For Time** 13  
Abradable seals the key

---

**Rhythms of Sleep** 17  
Dreaming through the noise

---

**The Big Eyes** 21  
Ground-based astronomy at NRC

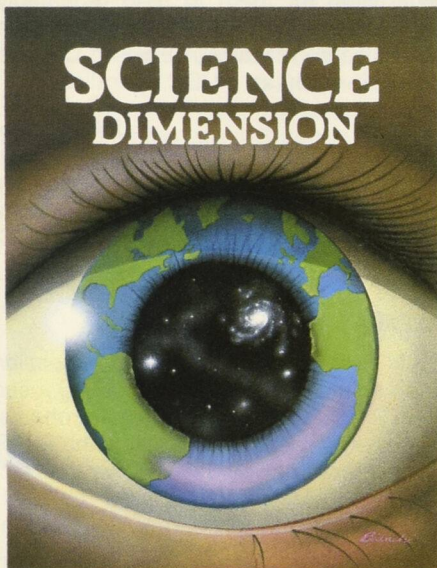
---

## Suzuki

Beginning with this issue, 1984 No. 1, Dr. David Suzuki presents his views on the broad range of issues that relate to the enterprise of science. While most people know Suzuki in his role as host of CBC television's *The Nature of Things*, he is still very much a 'bench' scientist at the University of British Columbia. Thus, he enjoys the advantage of looking at science both as an insider and as a well-travelled observer of the wider scientific scene.



30



### Cover:

No, it isn't Orwell's Big Brother watching you, but artist John Bianchi's interpretation of this month's feature story theme. 'The Big Eyes,' Part I of a two-part series by *Science Dimension's* Senior Writer Bill Atkinson, looks at the work of NRC astronomers whose ground-based instruments operate in the 'optical range' — the visible colours, plus the longer-wavelength ultraviolet and the shorter-wavelength infrared.

*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

## Selling Science Dimension

We are a new computer and science store here in Vancouver. We can carry your publication. How much do you charge? Do you have a buy-back option if we don't sell the stock?

**Adriane Polovic**  
Rhapsody Publications Inc.  
Vancouver, B.C.

*At present, Science Dimension is distributed free, directly to subscribers. However, we are studying the possibility of offsetting some of our costs with a subscription fee. Ed.*

## Kudos

I have found the first issues of *Science Dimension* to be very interesting and very informative. I am sure the following issues will continue this way. You and your staff are to be congratulated on such a fine start.

**R. Michael Shields**  
President  
Shields Industries Ltd.  
Vancouver, B.C.

May I take this opportunity to sincerely congratulate you for the publication *Science Dimension* and for supplying it to our high schools.

One of my goals in science education is to assist teachers to find applications of science to problems in technology or in everyday living. I feel that *Science Dimension* will be a step forward in this endeavour.

I assume that it would be appropriate for me to inform all high schools that this publication is available free of charge and that they can order it using a copy of the order form which is found in the magazine.

**Truman Layton**  
Consultant, Science  
Halifax, N.S.

*We not only deem it appropriate, we thank you for assisting us in this endeavour. Ed.*

I read recently your article "The Eggs Have It" in *Science Dimension*; it has now been circulated to my graduate students to indicate what might be done with a concept and/or technique to make it understandable to others outside of their discipline. I just want to congratulate you and thank you for your article; I regret that certain aspects of my own discipline (Plant Protection) are neglected to the point that they receive little attention or sympathy from the public.

**Blair H. MacNeil**  
Professor of Plant Pathology  
University of Guelph  
Guelph, Ont.

I have just read the latest issue of *Science Dimension* and I am impressed with both the format and content. A "popular" science magazine that is of interest to both layman and scientist is especially welcome in today's world of computers and biotechnology. I would greatly appreciate it if you would add my name to the mailing list of the magazine.

I do research in Churchill, Manitoba, in the summer and I was pleased to see the article on the work being done at the Churchill Rocket Range. I pass by it many times on my way out to the research station where I spend my time. My fieldwork has brought me in contact with polar bears many times, and I was thrilled to see the polar bear on the magazine cover.

**Dawn R. Bazely**  
Massey College  
Toronto, Ont.

## Reprints of Science Dimension

Our school wishes to purchase reprints of articles found in your periodical over the years. Please advise if this is possible and of the cost. Thank you.

**Lillian Johnstone**  
Swan Valley Regional Secondary  
Swan River, Man.

*Science Dimension does not offer reprints of past articles for sale. If, however, you let us know what articles are needed, we'll see what we can do. Ed.*



## It's TRIUMF, not UBCUMF

I was interested to read the article "Pions Against Cancer" in the latest edition of *Science Dimension*.

However, may I remind you and your headline/caption writer that the 'TRI' in TRIUMF refers to the three founding universities in this collaborative project, the University of Victoria, Simon Fraser, and UBC, and that a fourth, the University of Alberta, became a partner in TRIUMF shortly after its inception. The fact that the accelerator is located near the UBC campus does not make it "UBC's TRIUMF"; and the "new tumour therapy at UBC" is actually performed in the TRIUMF medical facility built and supported by the B.C. Cancer Institute. Much of the pion-channel design work for this facility was undertaken by a member of this Department, Dr. Donald E. Lobb.

Approximately one third (24 persons) of the Physics Department staff at the University of Victoria is associated in some way with TRIUMF and it becomes discouraging for them to read repeatedly (this is by no means the first time) that the scientific community in Eastern Canada views it solely as a UBC operation.

**J.T. Weaver**  
Chairman  
Department of Physics  
University of Victoria  
Victoria, B.C.

## SIMFAC

In a recent issue of *Science Dimension* you describe a simulator, SIMFAC, used by Dr. Sally Ride and other astronauts, which was designed and built in the SPAR Aerospace facility. SIMFAC was in fact designed and manufactured by CAE Electronics Ltd., St. Laurent, Quebec, under contract to SPAR. The Hand Controls and Displays and Controls Panel used by Dr. Ride to control the CANADARM were also supplied by CAE. The two bits a ride coin slots shown in your sketch are obviously a post delivery modification.

Otherwise, I commend you on a very readable and well presented publication.

**Murdoch McKinnon**  
Manager  
Research and Development  
CAE Electronics Ltd.  
Montreal, P.Q.



## Reprints of Science Dimension

We find your published material relating to the building and construction industry very valuable for instructional purposes in this institute. As "back up" to lectures, our instructors in the drafting department prepare reference material for the student's use in the preparation of their classroom drawing projects as well as the required theory. This material is made up of the instructor's description along with diagrams, charts, and in some cases clauses taken from many and varied sources such as building codes, product catalogues, by-laws, material manuals, and many government publications.

We, therefore, respectfully request permission to copy excerpts from your publications in the limited manner described with the understanding that it is being used for instructional purposes only within the college. Full acknowledgement would be given to the originator of any reproduced material and the student will also have access to the full publication within the college.

We believe that this request is within the "fair usage" concept of the Canadian Copyright interpretation of the law, and would be very pleased to have your support as this relates to our instructional activities.

**R. Atkinson**

Head, Drafting Department  
Vancouver Community College  
Vancouver, B.C.

We welcome the use of **Science Dimension** articles for non-profit, education purposes. **Ed.**

## Wind Article a Low Blow

The only thing diffuse about wind energy is the way Wayne Campbell describes it in "Project Éole: Catching Gaspé's Winds" in *Science Dimension* (1983 No. 6).

In his article, Campbell claims one reason Canada may not tap wind energy in a big way is because the strongest, and therefore most promising, wind resources are usually found in remote regions where the energy is not needed. This generalizes the truth to the extent that it hides it.

If you look at a map of wind energy resources in Canada, Campbell's generalization appears to be true. The greatest areas of terrain with high wind speeds are found in northern Canada, far away from the gluttonous south. But if you look a little closer, you will find regions with equally promising wind energy re-

sources around St. John's, Newfoundland, in southern Alberta, and along the eastern seaboard like the Gaspé peninsula, where Éole will be tested.

Is St. John's, Newfoundland, a remote area where the energy is not needed?

And what constitutes a remote region? In his paper "Wind Power: A Viable Energy Option," Saeed Quraeshi of Shawinigan's Advanced Energy Technology Department quotes data produced by the NRC in 1977 that says over 548 000 MW of potential wind generated capacity exist within 150 miles of Canada's electric utility networks. And, the two provinces of Quebec and Manitoba have the highest potentials of 100 000 MW each. Clearly, there is as much harnessable wind energy in Canada as our electric utilities are technically capable of absorbing.

It would appear the reasons why Canada may not use wind energy in a big way are not so much due to the fact that the wind energy resources are far away from the places where the energy is consumed, or because it is uneconomical to transport that energy over large distances; rather the biggest reason is political, not economic or technical.

I think George Orwell said in his book 1984 that in a time of universal deceit, telling the truth is a revolutionary act. If *Science Dimension* is not prepared to explore the future of renewable energy technologies except in inaccurate generalizations, then maybe it should maintain its integrity by avoiding the subject altogether. In my work writing for *Renewable Energy News*, I spend many hours trying to undo these generalizations. Why don't you give me a break?

**David Hoffman**

*Renewable Energy News*  
Ottawa, Ont.

*While the statement that the strongest winds tend to blow in sparsely populated areas has exceptions, such as St. John's as you point out, it is nonetheless generally true. In St. John's there may well be significant opportunities for wind energy if it is competitive with local, alternative sources of energy.*

*The point that you make about the almost 550 000 MW of potential wind-generated capacity within 150 miles of our electrical utilities is a little more complicated. It is true that you can get a figure for the magnitude of a wind energy resource by multiplying the aerokinetic power density (based on regional average wind speeds) by land area and time. However, the fraction of this resource that is technically and economically feasible to utilize for any job depends on the effi-*

*ciency with which it can be converted and transported to the locale where it will be used. If you look at the agricultural potential of the Sahara desert it is useful to know the volume of water in the Mediterranean Sea, but this does not by itself solve the problem of turning these sands into a garden.*

*Finally, it has to be said that **Science Dimension** has reported the way things are NOW, in the PRESENT. Today, windmills are expensive, and there isn't yet a cheap, convenient way of storing and transporting large amounts of electrical energy. But research in these areas has already made significant progress, both in increasing the performance of wind energy systems and decreasing their costs. More progress is needed, however, and, as you are no doubt aware a great deal of work — like *Projet Éole* — is now under way. **Ed.***

## Happy Valley Oversight

It's a little annoying when, a week or more after you've witnessed a craft of the Space Shuttle's magnitude visit your town/city as a "first" visit and landing outside the U.S.A., the National News and newspapers flash headlines of the Shuttle's first visit to Canada mentioning the same four cities you have in your article (1983 No. 4).

It is more annoying that after this much time has passed the correct information is still not being published.

I am sure the Shuttle's movement from the time it left the U.S.A., was displayed at the Paris Air Show, and then returned to the U.S.A. was not top secret information and could have possibly been obtained by your personnel.

The *Enterprise* made her first and second visit and landing in Canada at Happy Valley — Goose Bay, Labrador, in June. I might add that the first landing here was it's first landing outside the U.S.A.

The visit was highlighted with ramp visits made available to bus load upon bus load of school children, and camera buffs of all ages.

**Bernard Crawford**

Happy Valley, Labrador, Nfld.

**SCIENCE DIMENSION** welcomes letters to the editor. Shorter texts in the 200-word range stand a much better chance of being published. We reserve the right to edit texts for length. Write to: **SCIENCE DIMENSION**, National Research Council of Canada, Ottawa, Canada, K1A 0R6.



# Capsules

## History of Science and Technology in Canada

Over a hundred people met last October in Kingston, Ontario, to talk and learn about the development of Canadian science and technology. The presentations and debating subjects ranged from sources of information on nineteenth century scientists to the impact of twentieth century technology on Canadian women.

The conference, the third in a series held in Kingston during the last 5 years, opened with a major address by Michael Bliss, author of *The Discovery of Insulin*, on Sir Frederick Banting's research during the years following insulin's discovery. Banting attempted to isolate secretions of the adrenal glands which were thought to be so important that they were spoken of as "the elixir of life." Examination of this ambitious but unsuccessful research shed much light on Banting, particularly on his abilities as a researcher, and

helped to clarify the part he had played in the somewhat controversial discovery of insulin. This account forms part of a soon-to-be published biography of Banting. Together with Bliss's earlier book, it promises to be the definitive work on Sir Frederick, a very prominent but not well understood Canadian.

During the day and a half which followed, a great variety of papers explored many aspects of Canadian history. It has been evident for some time that Canada has had its fair share of pioneering scientists and institutions. However, the limited amount of historical writing to date has made it difficult to appreciate the extent of their accomplishments. But some of the projects now under way are beginning to make this task easier. One of the new tools discussed at the meeting was a retrospective listing of scientific, technical, and engineering publications by Canadians or about Canada from the 16th century to 1914. This bibliography, which should be available soon, is computer-

based and will contain approximately 10 000 items arranged by author and classification. It should be an important guide for anyone interested in the history of Canadian science and technology.

Many other areas were treated in papers and discussions at the meeting. "Mutiny on the Whitehorse" and "The Kodak Girl in Ontario" were two topics in the discussions of the social impact of technology, and, under medicine and public health it was learned we had "Malaria in the 18th and 19th Centuries in Ontario."

The role of Canadian scientists during World War II was examined, and so were the ground-breaking contributions of scientists such as NRC's E.W.R. Steacie and Hugh Le Caine. The wide variety of backgrounds of those who participated (including scientists and engineers, librarians and archivists, historians and political scientists, students and retired people) made it an enthusiastic and stimulating gathering.

## Embryos on Ice

High technology has entered the Canadian livestock industry. A Calgary firm, Alberta Livestock Transplants Ltd., has developed methods of removing bovine embryos from breeding stock, freezing them for indefinite periods, then re-implanting them in surrogate mothers to complete the pregnancy.

Embryo transfer is already a common practice in livestock breeding — where risks remain high even in the 1980's. A good breeder doesn't necessarily produce prime offspring every time, and the long gestation period means a costly wait to see how successors will turn out. Trying to produce the greatest number of good calves in the shortest possible time also means that the breeder cow could drop her calves at inconvenient times. In order to overcome some of these difficulties, embryos are removed from the uterus of the prime breeder cow and placed in the uterus of another cow. The surrogate need only be in the right condition and strong enough to bear the calf.

Adding the freezing step to the process offers the opportunity for increased yields,



but timing is critical in the operation. Both the surrogate mother and the donor cow must be closely synchronized in their respective estrus cycles, and the transfer must come within seven days after the receptor comes into heat. Since such close timing is not always easily accomplished, the freezing process has been introduced to reduce the timing problems and, consequently, improve the conditions of transporting the embryos over long distances. It also offers the breeder an opportunity to reduce the threat of undetected diseases which may be passed on to the new generations.

Alberta Livestock Transplants developed its non-surgical embryo removal techniques during the 1970's. Now it is taking embryo transplant technology a step further by embarking on a project to perfect the freezing process. At the moment only one embryo in three achieves a successful pregnancy after removal from the original mother, but an NRC-supported research effort expects to improve that to better than one-for-two. Perfection of the technology will lead to a world-wide market for Canadian cattle embryos as well as an improvement in livestock strains.



## Male Contraceptive

A professor at the University of Western Ontario may have found the long-sought male contraceptive — 100 per cent reliable and without side effects. Dr. John Wiebe was searching for substances that induce puberty when he found that low dosages (about 140 micrograms) of one molecule completely halted production of male rats' sperm cells. This contraceptive effect was total with a single injection into each testis: after four matings (presumably to clear existing spermatozoa out of the rats' reproductive tracts) the treated animals were completely sterile. All measurements of physiology and behaviour, such as hormone levels and frequency of sexual activity, showed no difference between the treated rats and a control group.

According to Wiebe, the contraceptive molecule (which will not be identified until patents have been filed) is specific for cells that produce spermatozoa, and does



not appear to affect any other tissues. Furthermore, the molecule is not a toxin. In human males, contraception using this technique would dispense with surgery, postoperative recovery, internal pres-

ures on the reproductive system, and possible autoimmune response. All of these effects may follow vasectomy, the only currently feasible way to sterilize males. Autoimmune response occurs when reabsorbed spermatozoa trigger the body's own immunological system; the result could be an allergy to one's own sperm.

As well as human contraception, the new technique might also control populations of agricultural breeding stock and pets. Tests on monkeys may soon be underway, to be followed by tests on human volunteers. Dr. Wiebe is especially interested in proving that the effect is reversible — that after a few months, the effects of an injection simply wear off.

## Quasar engines

Although 1983 was the twentieth anniversary of the "discovery" of quasars, unravelling the mechanics of these bright, highly energetic objects has always eluded astrophysicists. Weaving together many threads of evidence, John Hutchings, of the Dominion Astrophysical Observatory in Victoria, spoke recently at NRC on the relationship of black holes to what he called the quasar "engine."

Originally detected as "radio stars" shortly after World War II, quasars were shown in 1963 to be something more than "fuzzy" stars. They were far too bright for their distance (more than 3 billion light years away) and the hazy edges of their images implied they were distant galaxies. But, if they were galaxies, their luminosity far exceeded that of any galaxy known, and physicists were at a loss to explain how they could radiate so intensely.

According to Hutchings, who is a member of the team that recently detected two black holes in the Large Magellanic Cloud, black hole mechanics provides the clue to the mystery. Black holes are tiny (10 dm) incredibly dense globs of matter, which draw surrounding material and even light into themselves. As the matter approaches the black hole it spirals around the object forming what is known

as an "accretion disc." Jostling and colliding at high speed, the disc glows with characteristic radiation at ultraviolet and X-ray frequencies. Whenever a strong magnetic field is also present, some of the material is caught up in the field lines and hurled into space as plasma jets. Because some quasars exhibit these jets (as



do some nearby stellar objects), Hutchings postulates the existence of massive black holes as the driving force behind

quasar "brightness" in many energy bands.

He notes, however, that such an engine would run out of fuel in a short time because of rapid consumption of local gas and dust. He contends that some quasars, known to be associated with neighbouring galaxies, are tapping these companions for "quasar fuel." Another source of fuel is dark, invisible interstellar or intergalactic matter. Once all the available fuel has been consumed the number of visible quasars will taper off, which suggests that these objects probably formed very early in the history of the universe. The suggestion is that "quasar" galaxies, unlike "normal" galaxies, are composed of groups of younger stars, since these are more likely to form massive black holes — the quasar engine.

Although this model is not universally accepted by astronomers (some argue for quasars being nearer to us than we suppose), Hutchings feels his black hole observations give it solid support. Resolution of the dispute may have to await the launching of the Space Telescope in 1986. Its greater capacity for resolving distant images could provide the necessary pictures of a quasar's core.



# Modelling Ocean Storms

## Keeping out of deep trouble

by Stephen A. Haines

**C**anadian engineers have relocated a segment of the stormy Grand Banks nearly 2000 km inland; before long, it will be followed by portions of the Beaufort Sea. Eventually, even the California coast or the Gulf of Yucatan may be represented in a new national facility operated by NRC's Division of Mechanical Engineering in Ottawa.

The facility, a wave basin for testing model structures, is already being used to study the events that led to the sinking of the drilling rig *Ocean Ranger* 2 years ago. Combining data from NRC's wind tunnels with wave information obtained from ocean

buoys and other sources, the basin will test fixed and floating oil drilling rigs for their ability to withstand severe weather conditions.

According to Joe Ploeg, head of NRC's Hydraulics Laboratory, the site of the 30 m by 50 m installation, there is a pressing need to evaluate rigs in deep water environments. "Although much of today's technology seems dominated by the philosophy 'small is beautiful,'" he says "the oil and gas industry is moving in the opposite direction. The quest for oil has acted like an undertow, drawing engineers away from shore into deeper water. The

pressure to develop these offshore resources has led to the design of very large rigs, both fixed and semisubmersible, and the placing of them in deep water sites with what some have called undue haste. These designs require more complete testing before they are installed at sea." Ploeg goes on to say that the new facility, using wind and wave data in scaled-down conditions, provides a nearly complete testing environment, subjecting a rig's design to extreme conditions before it goes to sea. It is one of the most up-to-date test sites available and may be upgraded even further by adding the parameter of ocean currents to the simulations.

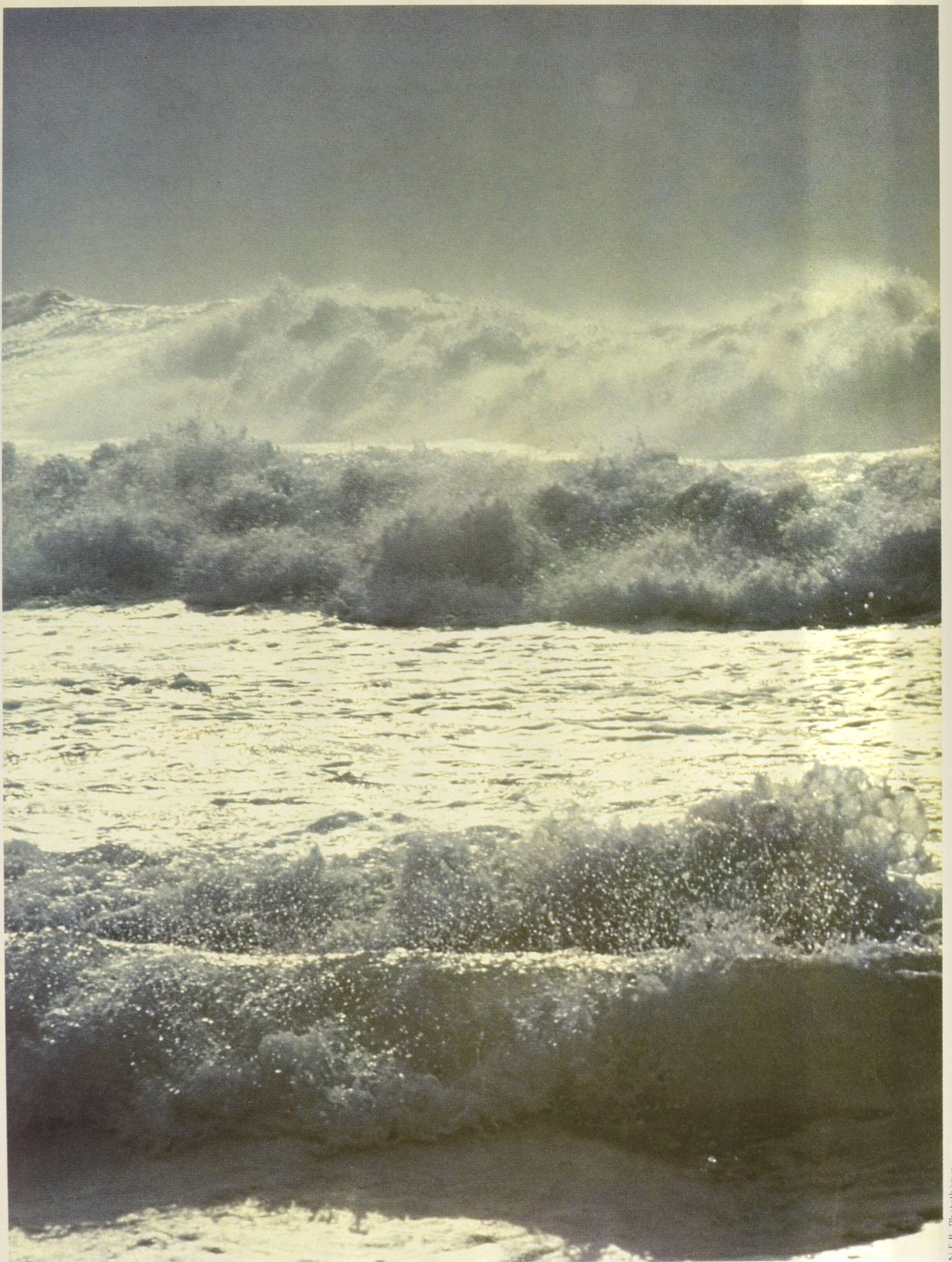
Ocean floor drilling for oil began slowly, early in this century, with rigs mounted on piers jutting out from California beaches. Storm damaged units could be replaced easily and there was little threat to workers. Not until after World War II was the first free-standing rig erected in 6 m of Gulf water off the Louisiana coast. This was followed by an explosive era of development, spurred on by the oil crisis of the early 1970's. Today, nearly ten thousand rigs have been or are in operation, all the way from the central latitudes to polar seas. Far from the sight of land, these rigs are vulnerable to storms that have forced the abandonment of some of them, with loss of lives. The loss of the *Ocean Ranger*, a drill rig which sank off Newfoundland in February 1982, was one of Canada's worst maritime disasters. As Joe Ploeg sees it, optimizing the safety of these offshore structures is one of the principle aims of the new facility.



Bjarni Tryggvason of NRC's National Aeronautical Establishment prepares an oil rig model for wind tunnel tests. The wind dynamics data will be transferred to the Hydraulics Laboratory computer for use in conjunction with wave tests in the deep water tank.

Mansell Acres







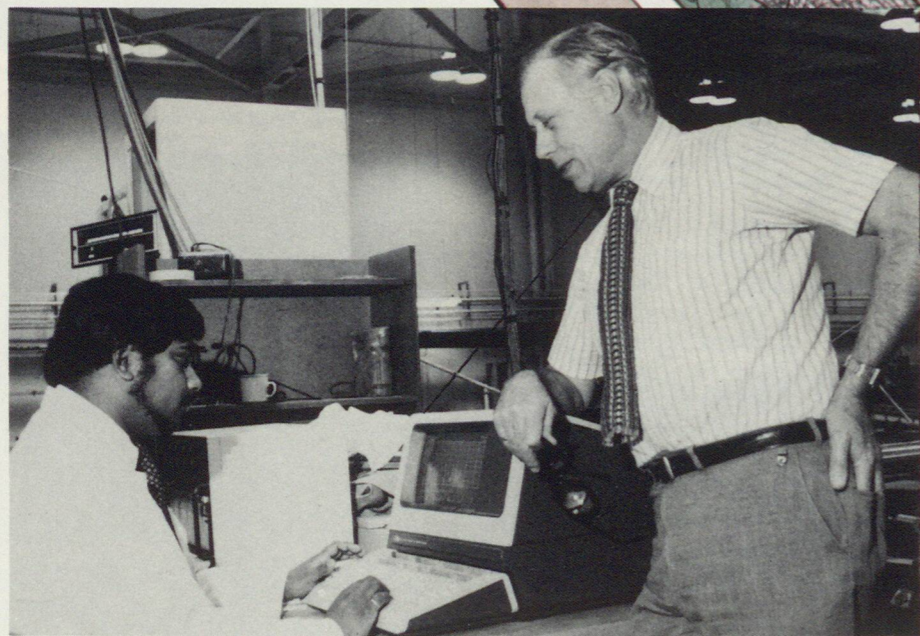
The problem with such studies has been the dearth of accurate information on deep-water wave characteristics, and the fact that methods of simulating them are only now being refined. But during the past 20 years wave data have been accumulating, most obtained by the myriad rigs standing or floating far from shore, and these records, combined with laboratory research, have led to dramatic changes in the test techniques, replacing the simple crank-and-paddle systems of the past with instruments of high technology.

"Making waves in a test flume," says Ed Funke, one of the Laboratory's senior researchers, "is now an exercise in multidisciplinary cooperation. Mechanical design of the wave machine, the mathematical model of the wave, and the computer program that links them, must all be carefully integrated. These new techniques require the system to generate and check the accuracy of the waves simultaneously. They must be able to duplicate, in scale model terms, the seemingly chaotic action of waves at sea — which are characterized by different energy levels, shapes, and directions."

But technology has not solved all the problems encountered in trying to imitate the seas. Funke's colleague, Étienne Mansard, describes the current controversy in laboratory wave simulation: "At sea, mariners have long been aware of a phenomenon called 'wave groups' — a sequence of large waves of equal height. These groups can have significant effects on artificial islands or floating rigs — sweeping over the top of the islands or setting the rigs swaying about like a ringing bell. Reproducing conditions that bring about wave groups means following one of two current theories." The first, according to Mansard, assumes sea states are truly random processes, adjusted by the researcher only enough to duplicate the records obtained from observations at sea. This approach requires a lengthy period of generating waves to ensure that all possible wave groupings and conditions will occur. The second method determines beforehand which grouping conditions and other parameters are sig-

**"Although much of today's technology seems dominated by the philosophy 'small is beautiful,' the oil and gas industry is moving in the opposite direction."**

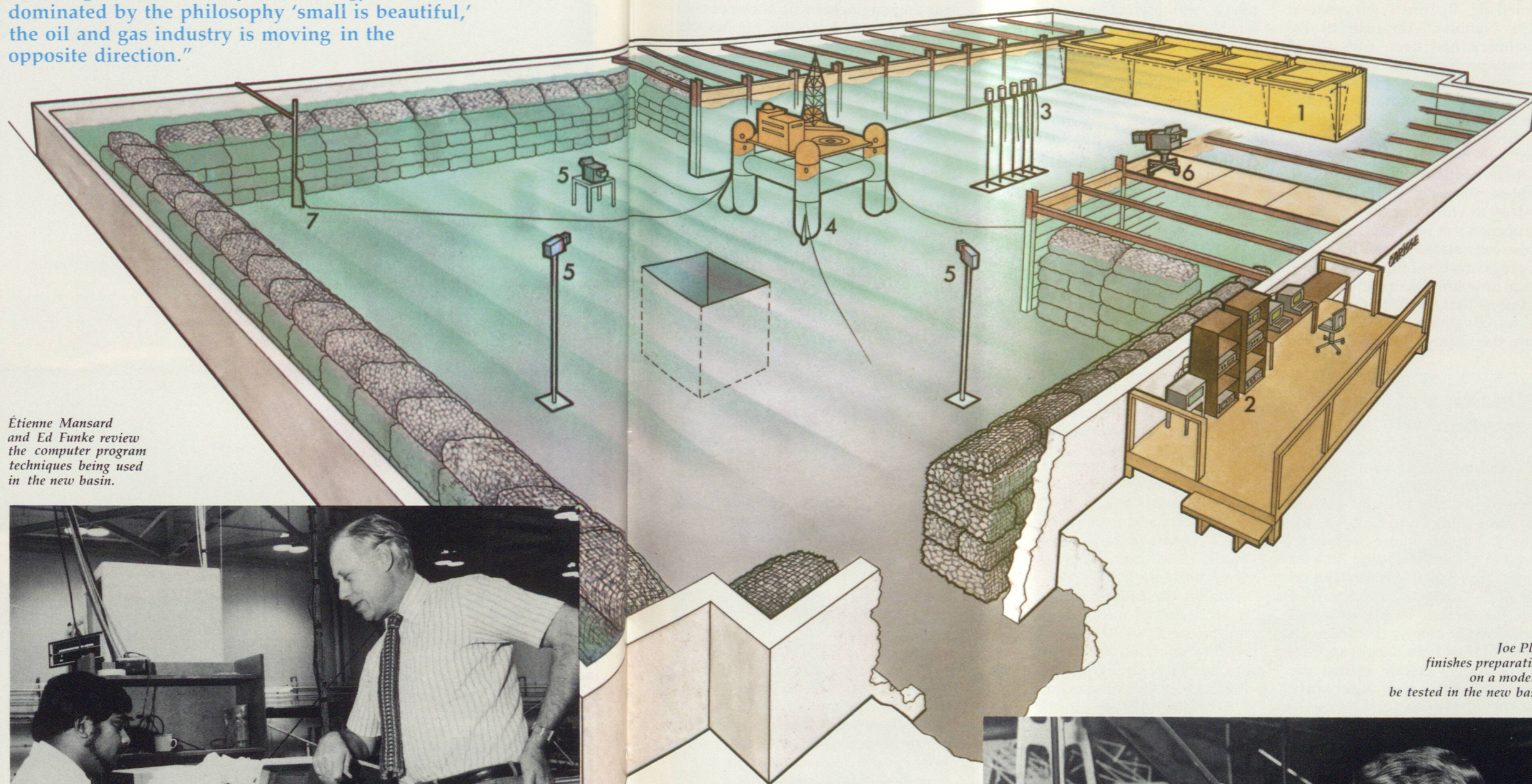
*Étienne Mansard and Ed Funke review the computer program techniques being used in the new basin.*



Dan Getz

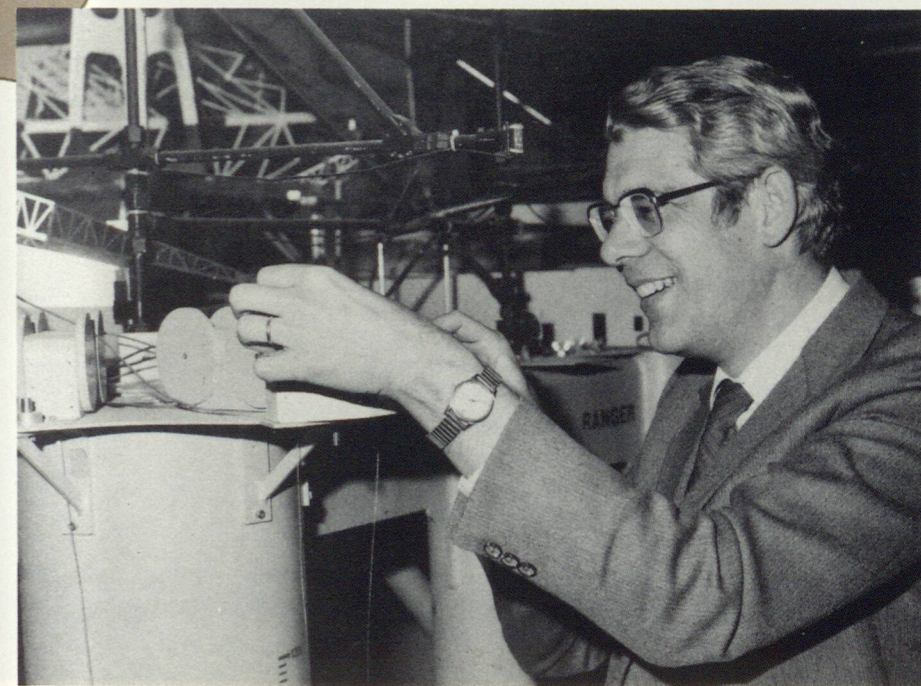
nificant and reproduces them accurately. Called the deterministic technique, it greatly reduces the amount of time needed to perform tests and has the advantage of focussing on the effect of waves on structures of particular interest to the researcher. Says Mansard: "The fact of the controversy indicates that sea wave modelling is a science that remains to be perfected."

As wave-modelling techniques have improved and become more sophisticated, yet another environmental element has been introduced — the wind. By coincidence, the inaugural program of the new facility involved the reproduction of the events surrounding the sinking of *Ocean Ranger*, which was known to have developed a list (tilt) early in the storm; the engineers in charge of the program thus felt they needed to



Carisse Graphic Design Ltd.

*Joe Ploeg finishes preparations on a model to be tested in the new basin.*



Dan Getz

NRC's new deep water facility is unique in North America. Computer signals (2) drive the hydraulically operated wave generator at the far end of the basin (1) and the resulting waves are measured for accuracy by a series of gauges (3). A test subject, such as the oil rig shown (4), is equipped with light-emitting diodes. The light from them is observed by fixed video cameras (5) and recorded by the computer as model motion data in its memory. A flexible camera (6) provides a visual record of the action of the waves on the model. Wind effects are provided by computer-controlled servo motors (7) moving wires attached to the model. Wind data is obtained from tests performed on other models in NRC's wind tunnel installations.



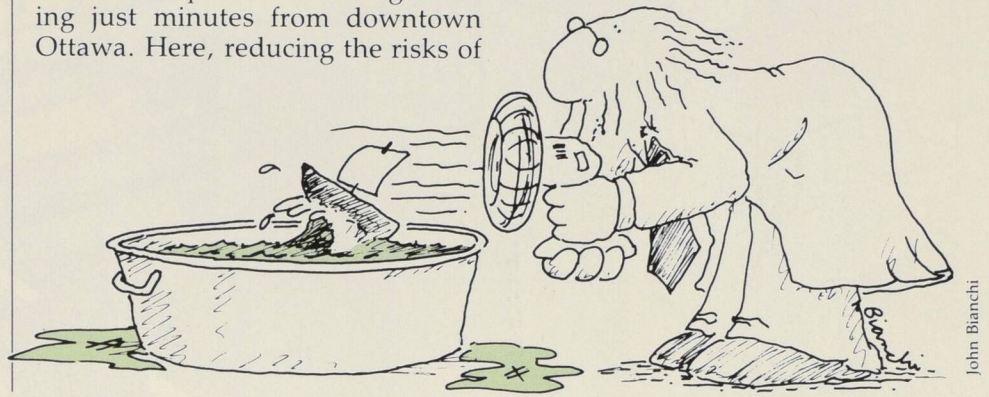
assess the effect of wind on the doomed rig. Bjarnni Tryggvyson at NRC's National Aeronautical Establishment had been considering that very problem when the request for testing the *Ranger* came in.

"There was almost nothing in the scientific literature on wind effects on these semisubmersibles," he says, "which means that the picture of their dynamics remains incomplete. *Ranger's* test program enabled us to work out the details of appropriate test methods, and from this we formulated a basis for future test programs on similar structures. We can now simulate a wide range of conditions that apply to them."

Although well removed from any ocean, the Ottawa deep wave basin

can accurately duplicate environments encountered far away, off distant shores. Floating exploration rigs on the Grand Banks, fixed drilling platforms in the Gulf of Mexico, or artificial islands in the Beaufort Sea can all be duplicated in the big building just minutes from downtown Ottawa. Here, reducing the risks of

offshore drillers is the goal of scientists and engineers who subject new design proposals to the rigours of simulated storms. ☪



## A Question of Proportion

Everything feels diminished in NRC's Hydraulics Laboratory. Standing on the balcony outside his third floor office, even Joe Ploeg's 2-m-tall frame seems reduced in the vast building. In a far corner, three men are working on one of the projects, the details of their labour lost in the distance. Even directly below, the 3-m-high model of the *Ocean Ranger* appears as a smear of colour against the grey floor of the deep-water wave basin.

Why must this facility be so big? Why can't the testing of harbours, shorelines, and vessels like the *Ranger* be done in some engineer's bathtub or a nearby fishpond?

"One of the reasons," explains Ploeg, "is that so many of the prototypes — the 'real' structures — are so big to begin with. In order to accommodate crew facilities and drilling machinery, and to maintain stability at sea, these rigs are immense constructions. We lose sight of that when we see photographs unless there is something like a ship nearby to scale them against.

"When we scale down something that *large* in order to test it in the laboratory, we have to conform to certain sets of rules — scaling laws — that can't be broken with-

out invalidating the tests. Our tests often investigate forces — such as wave action on a rig or a harbour breakwater — and gravity is the dominant force we have to contend with. Gravity affects the waves, both at sea and in here, and thus has a bearing on how we build the model structure. The model of a steel structure like the *Ranger*, for example, can't just be scaled down in all its details and be made of ultrathin steel; we have chosen aluminum to obtain the correct mass and sufficient strength to cope with the forces we're measuring.

"The second major consideration is viscosity, or the 'thickness' of the water," he continues. "Our Laboratory water and sea water have about the same viscosity, and our studies have to take that into account. If we scale down too far, the water becomes relatively 'thick' when the waves encounter the model. It acts like syrup, which has the effect of tremendously overestimating the forces of the waves on the test model.

"In order to prevent this 'thickening' of the water we use a formula developed during the last century called the Reynolds Number. This 'number' is really a range of numbers expressed in a curve and relates to the amount of drag the model exhibits to the oncoming waves. The model we put into the basin for testing must have a

Reynolds Number that falls above a certain point of the curve. Otherwise the action of the water is too viscous and leads to incorrect results.

"The third factor we usually deal with in modelling," continues Ploeg, "is surface tension, although it is generally less important in most tests than gravity or viscosity. Surface tension is simply the force that holds molecules of water together; when that force is overcome, say by a wave hitting a rock, then we get spray. Usually, we can't produce accurate spray here, we can only approximate it. We had one test where we guessed at the spray effect above a proposed artificial island, and underestimated it somewhat. The client ignored even that and when a storm struck during construction, the rescue helicopter had to hover more than 50 m up during the evacuation because the spray was so bad."

According to Ploeg, the value of these kinds of tests is acknowledged by everyone building offshore structures. "Although we do much of the work by mathematics, physical modelling is still a necessary exercise. We have had many cases where something unexpected came to light during the tests. These physical models and tests are *never* a waste of time or money."



# Spraying For Time

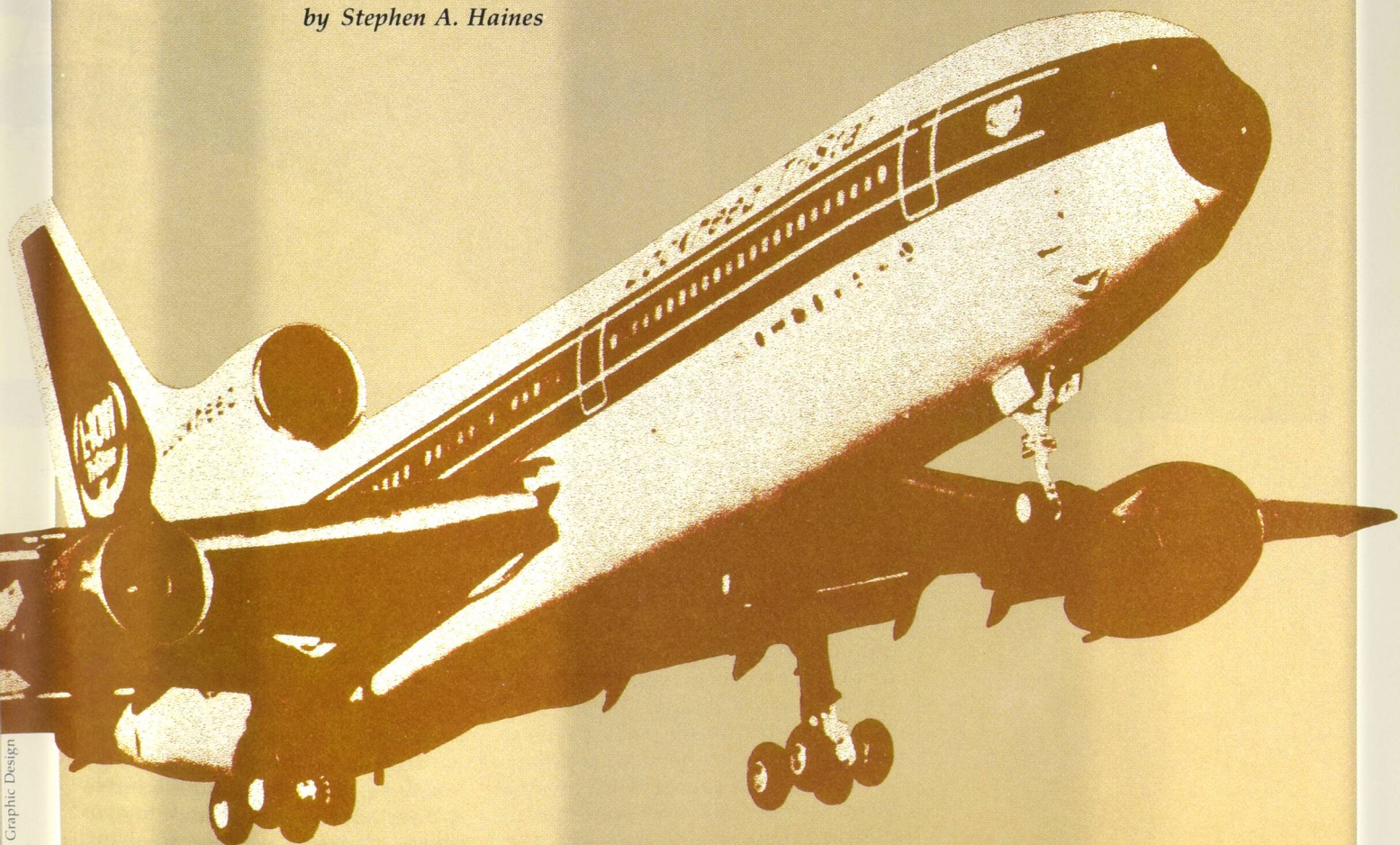
Abradable seals the key

**F**or all their size and power, jet engines, like some people, can be delicate travelers. Hanging from wing and body in their metal barrels, they can be sensitive to bumpy flights and hard landings. Unlike the massive block of your car's engine, they are sheet metal tubes enclosing alternating ranks of fixed and rotating blades. At thousands of revolutions per minute, the spinning blades are separated from their rigid surroundings by a gap that wouldn't accept a human hair. If a twist or jolt closes that gap, the result can be torn metal, chipped parts, and the pilot's call for more fuel to compensate for lost internal engine pressures; the flight's end usually finds the engine in the repair shop.

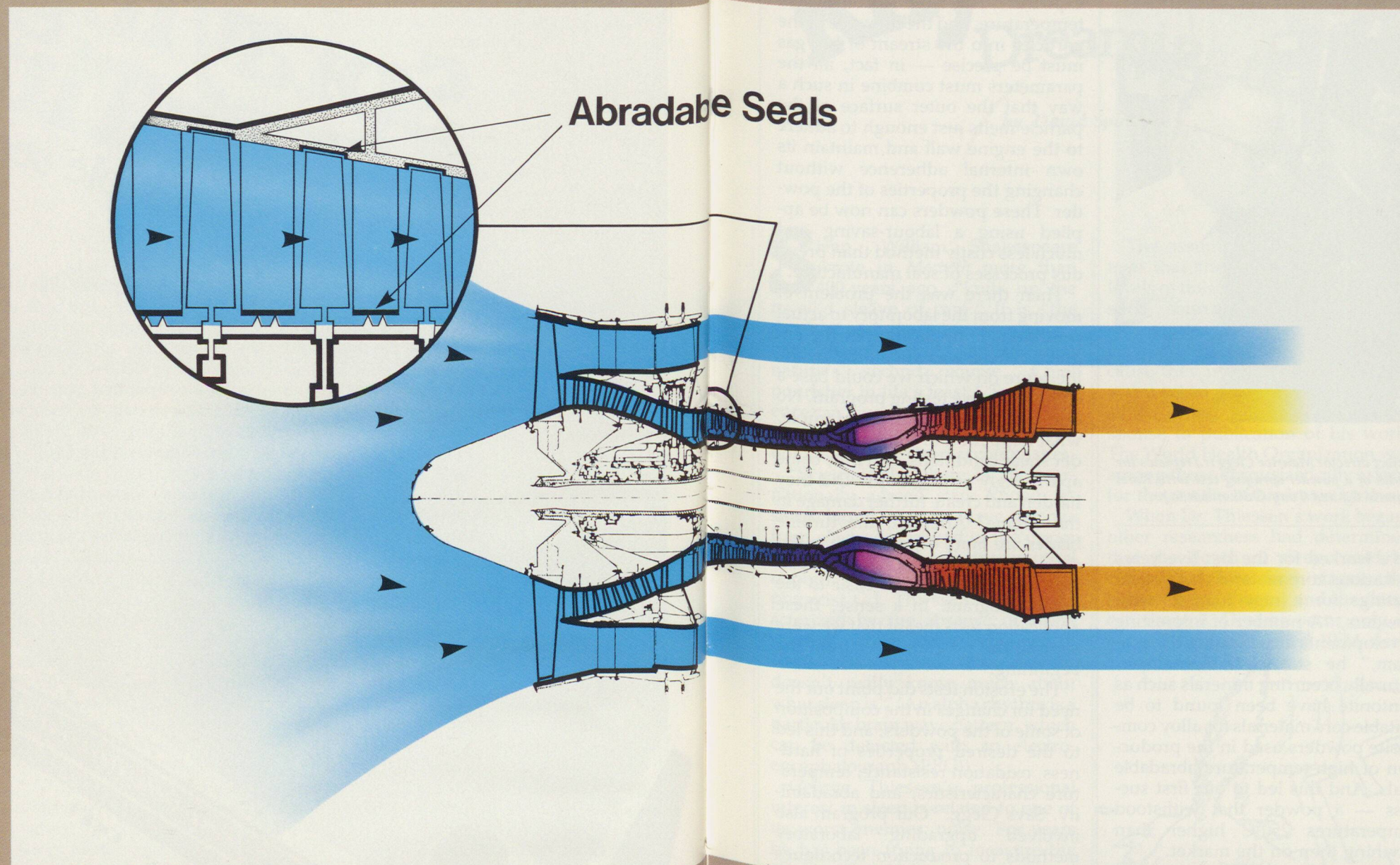
"Keep 'em flying" is the wartime slogan that remains a slogan of the cost-conscious airline industry. Controlling the air and gases that flow through a jet turbine is a major element in that campaign. In order to reduce

---

*by Stephen A. Haines*







Carisse Graphic Design Ltd.

the potential for damage and keep control of the gas flow, engineers have developed a number of sealing techniques. These seals, girdling the inner engine walls next to blade tips or protecting main shaft bearings, have been designed in many forms and materials. The greatest promise for success has been shown by what is known as the abradable seal. Composed of tiny metallic particles fused together at the needed location, abradable seals can be worn away a bit at a time, and yet continue to perform their sealing function. But they are expensive to install and have problems of their own. Some

tended to chip the turbine blades instead of wearing away, for example. With this in mind, an Alberta research facility has taken steps to improve the technology.

"Requirements for aircraft engine seals seem rather self-defeating," says Maurice Clegg of Sherritt Gordon Mines Limited. "They must contain a very hot, fast-flowing gas without themselves eroding away or corroding. Yet they must also abrade away easily if struck by the turbine blades and be soft enough to avoid doing damage as they are blown back into the engine. The earlier types of abradable seals fulfilled this

need to a limited degree in the cooler sections of the engine. Right now we are improving them for higher temperatures and simplified installation techniques."

The problem is one of materials. Earlier developed materials are simply unstable in the harsh interior of an engine. Thus, new materials must be devised and tested. "We have been producing metal powders for a number of years," he continues, "concentrating on what are known as 'composite powders.' But, these combinations aren't simply mixtures; rather, a core material is chosen, to which is added metal

*Much like the oil in your car's engine, air flowing through a jet engine must be contained and controlled. Sherritt Gordon Mines Limited has developed metal-coated powders to perform this feat over the wide spectrum of temperatures that exist in these engines. The powders are sprayed on the engine walls or on the central turbine-carrying shaft. Known as abradable seals, these powders maintain their sealing properties even if struck by the spinning turbine blades.*

coatings in one or more layers to attain the desired properties of the seal. The initial success came with the development of a nickel-coated graphite composite powder in the 1960's. When flame sprayed, this





Sherritt Gordon Mines Ltd.

powder forms a low density deposit in which the predominance of graphite (on a volume basis) provides the abrasability, and the fine network of metallic nickel provides the integrity necessary for good erosion resistance. Nickel/graphite is a success story in its own right, and is now being used by virtually every major aircraft turbine engine manufacturer in the world for the fan and compressor stages, but it has limitations — its upper temperature limit is 650°C."

Clegg, manager of Sherritt Gordon's product research at Fort Saskatchewan, Alberta, led a study team of physical metallurgists, chemists, and technicians in the development of high-temperature-resistant composite powders. With support from NRC's Industrial Research Assistance Program, they

*Project director Maurice Clegg (r.) reviews the results of a powder spraying test with Karel Hajmrle (l.) and Tony Chilkowich (c.).*

have worked for the last five years on various core materials and metal coatings for a new line of these powders. "A number of interesting developments arose during the program," he states. "For example, naturally occurring minerals such as Bentonite have been found to be suitable core materials for alloy composite powders used in the production of high-temperature abrasable seals. And this led to our first success — a powder that withstood temperatures 250°C higher than anything then on the market."

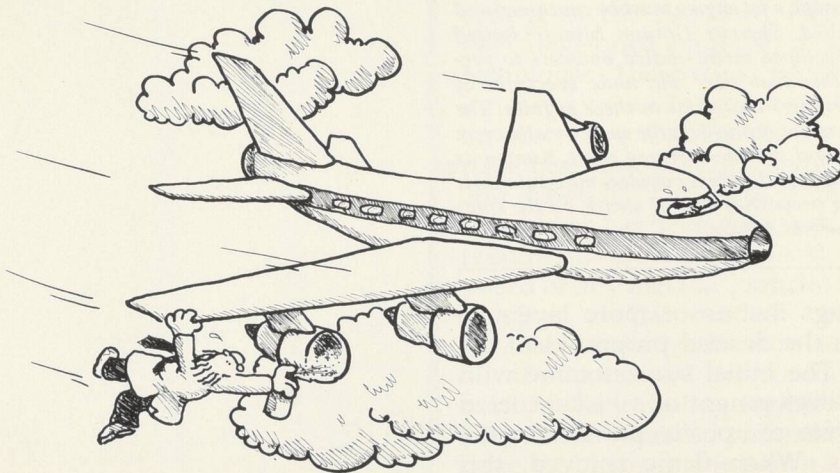
Part of the Company's program dealt with applying the powders to the engine walls. "The preferred

method is flame spraying," Clegg explains. "You have to control the temperature, and the flow rate of the particles into the stream of hot gas must be precise — in fact, all the parameters must combine in such a way that the outer surface of the particle melts just enough to adhere to the engine wall and maintain its own internal adherence without changing the properties of the powder. These powders can now be applied using a labour-saving and much less costly method than previous processes of seal manufacture."

Then there was the problem of moving from the laboratory to actual conditions of application in the engine. "There was very little in the literature on which we could base a comprehensive testing program. No one had determined, for example, what happened to the powders under shear conditions. Did they come apart singly or in groups? Did they harden and create further damage in the engine? After all, the turbine blades are more expensive than the seals. The question of how the coatings eroded in use was basic to the whole program. In a sense, these application tests meant that we were starting the program over from the beginning."

The erosion tests did point out the need for changes in the composition of some of the powders, and this led to the desired properties of hardness, oxidation resistance, temperature characteristics, and abrasability. Says Clegg: "Our program also involved upgrading laboratory methods to production techniques and application methods in the shops — always an important step in the development of a new product."

Sherritt Gordon's research produced composite powders stable at temperatures up to 850°C and possessing good thermal insulating properties. This led two major aircraft engine manufacturers to use them on two of their current production engines. An off-shoot of the technology should lead to the use of related powders for other aircraft insulation applications. "These powders are now entering the export market," concludes Clegg. "It's gratifying that IRAP support for Canadian industry helped us achieve these breakthroughs in material and process development." ☺



John Bianchi



# Rhythms Of Sleep

## Dreaming through the noise

by David Spurgeon

**S**leep, William Shakespeare wrote in *Macbeth* more than 400 years ago, "knits up the ravell'd sleeve of care." It is "the death of each day's life, sore labor's bath, Balm of hurt minds, great nature's second course, Chief nourisher in life's feast." Today science can give us no better definition: physiologically speaking, we still do not know what sleep accomplishes.

"Scientifically, there is an internationally agreed state known as sleep, based on brain wave tracings from electrodes placed in the upper back part of the head (the occipital region)," explains retired NRC physicist G.J. Thiessen. "It is characterized by the absence of alpha rhythm, which has a frequency of 10-14 Hz. Beyond that, science doesn't really know much about what sleep is." (An alpha rhythm is a particular brain wave pattern, which can be detected with an electroencephalograph (EEG)).

George Thiessen's professional interest in sleep is related to one of its worst enemies: noise. For years he has been trying to measure the effects of noise on sleep — and through those measurements to learn whether it's possible to determine the consequences, if any, of sleep disturbance on health. As it happens, his professional interest coincides with a personal one. "I myself am not a good sleeper," he confides.

The project arose during the 1960's when municipalities were just beginning to take note of environmental problems like pollution, and for which NRC had been acting as an advisor. At the time, juries of experts were using subjective factors such as annoyance levels on which to base their judgments; Thiessen and others at NRC thought they needed a more rational basis.

The assumption they wanted to test: that the high and increasing levels of noise in urban areas — from such sources as trailer trucks, motorcycles, and power lawnmowers — were deleterious to health because they interfered with sleep. It was a widely accepted assumption, as Dr. Thiessen found from the response to publication of his work. The World Health Organization was among those enthusiastically asking for the results of his investigations.

When Dr. Thiessen's work began, other researchers had determined that the depth of sleep could be categorized into four stages, the lightest being Stage 1 and the deepest, Stage 4. Dreams occur only in Stage 1, which is called REM sleep

because of the occurrence of Rapid Eye Movements during dreaming. Dr. Thiessen wanted to determine what sorts of noise and what noise levels caused sleepers to shift to lighter sleep stages, a change that could be considered to interfere with sleep.

The standard method of sleep measurement used at the time involved monitoring the subject's brain waves by means of an elec-







Bruce Kane

To sleep, perchance to dream. On the audio tapes of the EEG, dreaming sounds like a steady hiss; deep sleep is a steady rumbling noise.

troencephalograph, which recorded results on some 1000 m of paper during an average night. Later, these records were cut into 1-m sections, analysed and averaged by experts, a chore that was time-consuming, expensive, and not particularly accurate.

Dr. Thiessen worked out a method that could not only be carried out by two people — himself and his technician, A.C. Lapointe — but would also involve individual measurements rather than less meaningful averages. Using the usual paper records for checking, he also connected the EEG signals to an audio tape recorder modified to run at a speed of only 0.6 cm/s rather than the usual 9.5 or 19.1 cm/s. The electronics of this tape recorder were also altered to allow it to record signal frequencies down to 1 Hz or lower.

When these brain wave recordings were played back, the machine was speeded up 60-70 times, producing audible tones of around 60-70, 720-840, and 1500-1750 Hz. In this way, Dr. Thiessen made it possible, in effect, for the sleeper's brain to speak directly to him! To analyze the audio signals, he used standard audio analyzing equipment. Because of the speed of playback, a whole night's sleep record could be condensed to about 8 min.

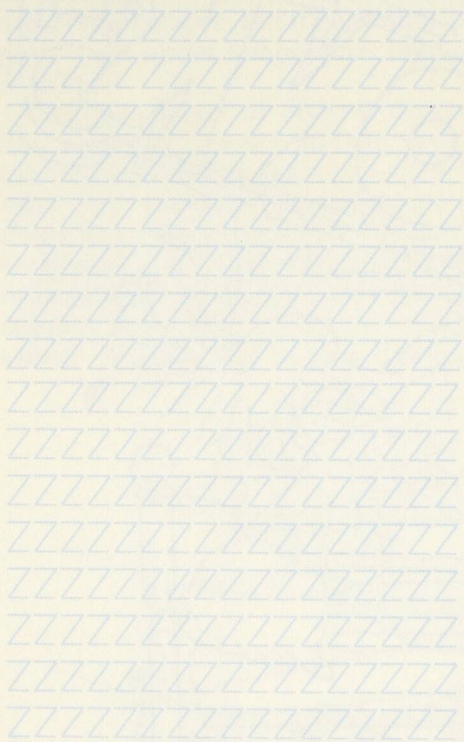
In a paper he wrote for the *Journal of the Acoustical Society of America* describing the method, Dr. Thiessen

acknowledged that his method resulted in loss of considerable detail. But, he said, it "has the advantage of providing a birds-eye view of the progress of sleep (much as a road map makes navigation easier even though no detailed topographical features are shown)." In addition, he points out, "some of the detail is recovered by the fact that... the ear can supply considerable information."

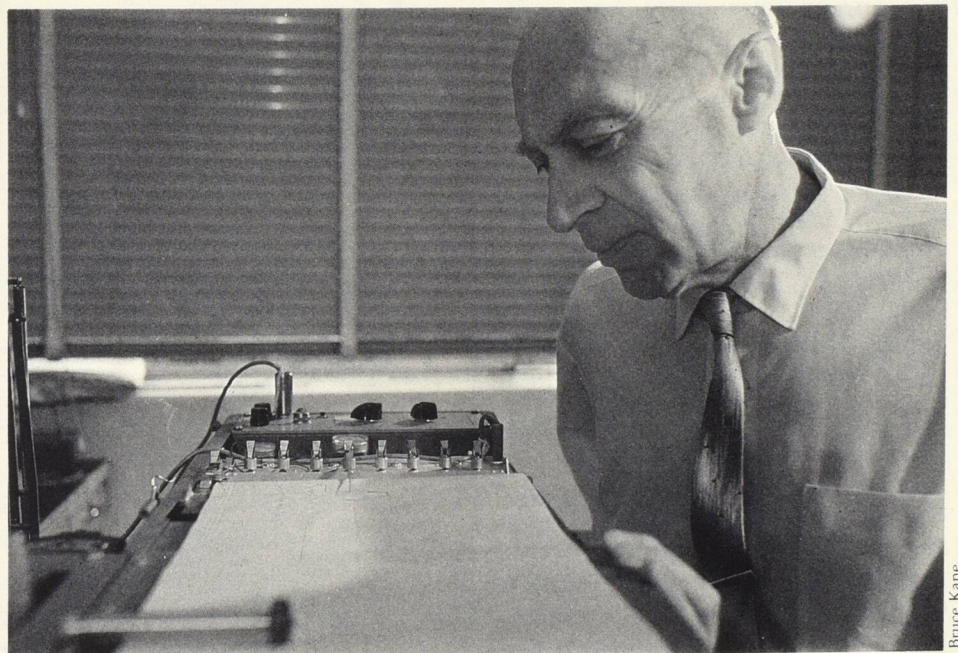
For example, even a nontechnical listener to the tapes can soon identify the different stages of sleep for some subjects from the sounds playback produces. When the subject is still awake, the sound is like water rushing over a pebbled beach. Dreaming produces a steady hiss. Deep sleep is characterized by a rumbling noise.

These audible records made it possible for Thiessen and Lapointe to analyze the results of experiments with 100 subjects, most of them over 24 nights. The first "sleeping room" where the brain waves were recorded was in an NRC laboratory which had been decorated to look like a bedroom, complete with rugs and drapes.

Electrodes were taped to the subject's forehead and connected to the EEG, while "traffic noise" was supplied by a previously recorded tape played at predetermined volume levels through a loudspeaker in the room. Later, Thiessen also con-



Dr. George Thiessen, looking for a more rational basis from which to judge the effects of noise on sleep.



Bruce Kane



ducted the experiments in the subjects' own bedrooms.

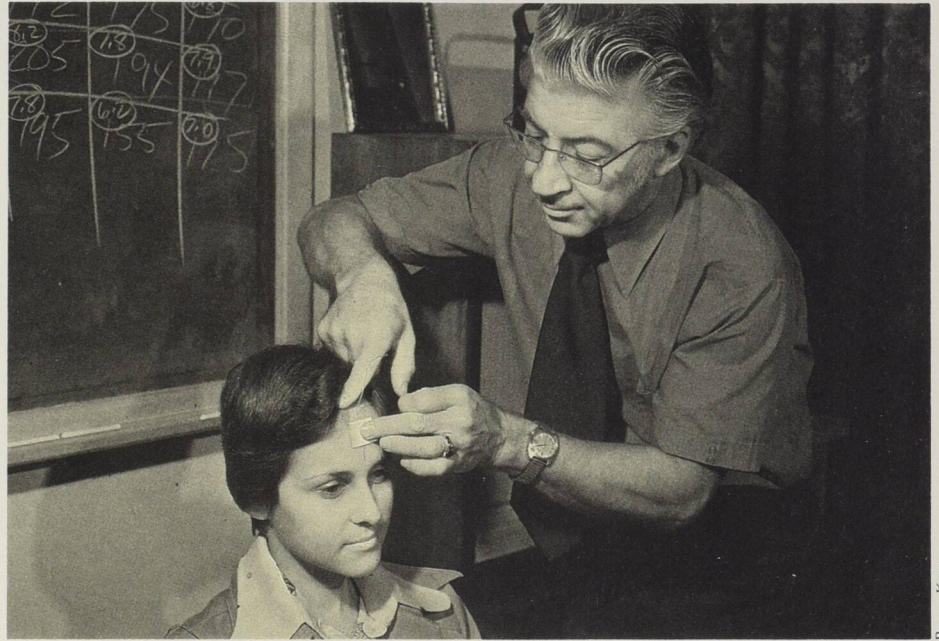
The results were in some ways not surprising; they simply confirmed what experience tells us. For example, traffic noise makes it more difficult for some people to get to sleep; sleep is sometimes interrupted by traffic noise; and people can adapt to this noise. What the results did, however, was to quantify such observations objectively, to give them scientific validity, and to make them reproducible under standardized conditions.

It was found, for example, that traffic noise is likely to shift sleep from a deeper to a lighter stage, and that the probability of this happening increases with the intensity of the noise. Traffic noise of an intensity of 35 dB (A weighted) carries a 10 per cent probability of shifting sleep to a lighter stage, while noise of 75 dB has an 80 per cent probability. The probability of *waking* is about zero when traffic noise is at a 35 dB level, but it rises to 50 per cent at 75 dB.

Some subjects who first wakened as a result of traffic noise gradually adapted to a given noise level and no longer awakened to it after two weeks; the probability of their awakening after this period was about half what it had been in the beginning. Surprisingly, however, no comparable adaptation was shown with the 'shifting response': subjects still shifted to a lighter sleep level when exposed to noise over the whole of the 24-night period.

The experiments showed that the longer the duration of a sound, the greater possibility there was of its disturbing sleep — *except* when the noise went the full distance and was continuous. Here, then, was a completely unexpected result: when subjects slept with a continuous background of traffic noise, they not only showed *less* sleep disturbance, they actually slept *better*, if by "better" is meant more deeply.

What the experiments did *not* show was whether such sleep disturbances have any effect on health. In fact, says Dr. Thiessen, after surveying five years of sleep studies conducted worldwide, an international congress on noise as a public health problem had to conclude that no adverse effects had been



Bruce Kane

shown. This does not mean there aren't any; simply that hard evidence for ill effects has not been found.

What indications there are have been confusing. For example, Dr. Thiessen's work, as noted above, shows that deep sleep is actually increased (by an average of 3 per cent) when there is a continuous background of 47 dB level traffic noise. That seems to suggest that (as some studies have shown with alcohol consumption) small amounts can be good for you. However, the increase in deep sleep may actually be a secondary effect rather than a primary one: Thiessen's work suggests that the increase in deep sleep may be the body's way of compensating for the decrease in Stage 1 (REM or dreaming) sleep that the traffic noise also produces. And, neurologists have shown that dream deprivation *is bad* for you.

Again, there is a famous case of a man in Britain who was known not to have slept at all in the usual sense for years, apparently without ill effect. And sleep deprivation has been found to be beneficial for some types of depressed patients.

"Although I've had more to do in the last 15 years with psychologists and physiologists than with physicists," says George Thiessen, "I can't assess these results as they relate to health. The important thing is to be able to measure sleep disturbances and to repeat the measurements and get the same results. The World

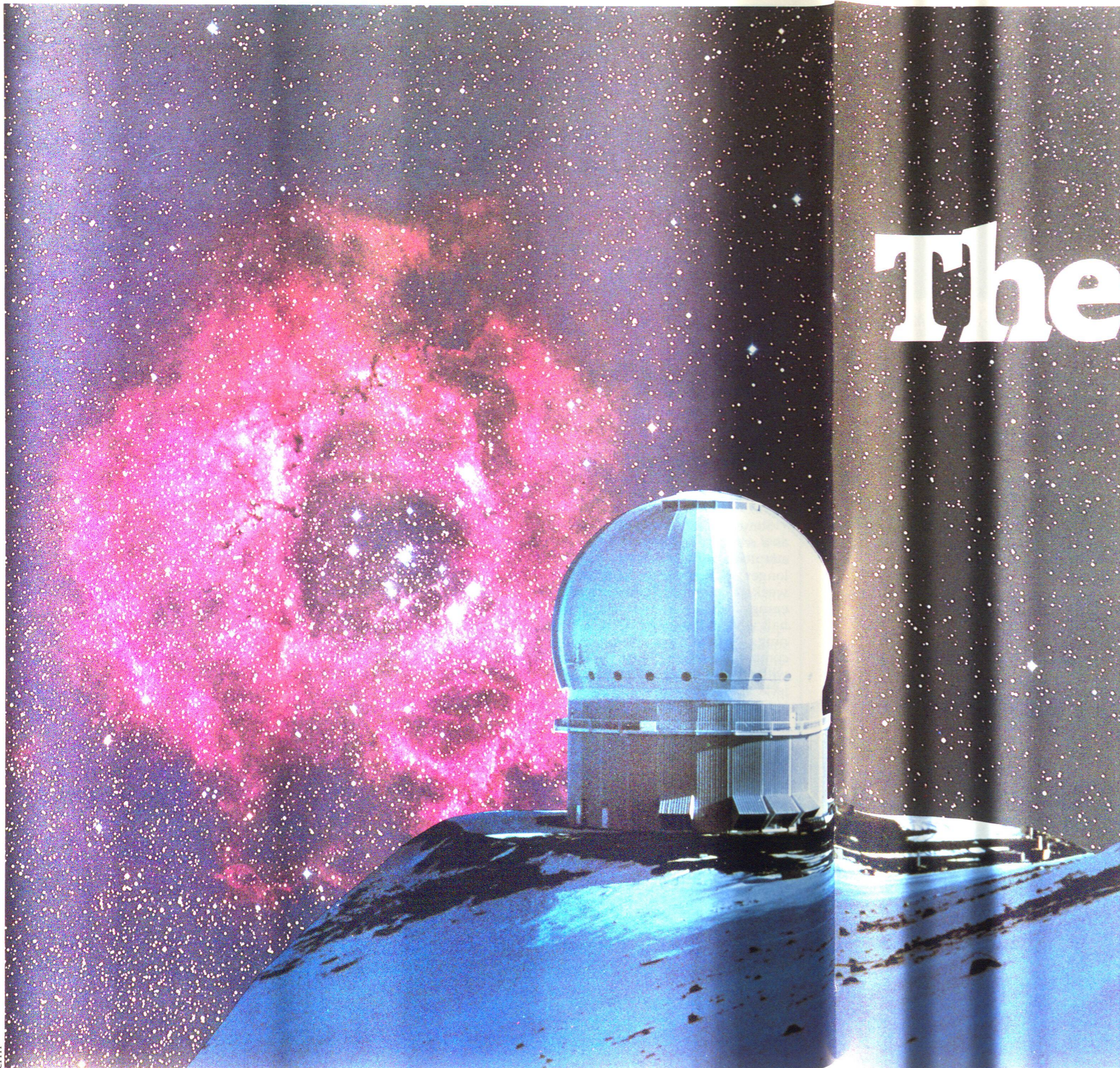
*Armand Lapointe prepares a volunteer for a night in the sleep lab.*

Health Organization some years ago was using my results to back up its recommendations. I was not too happy with this because the results then tend to get used in applicable ways. We need to know a lot more, and that means doing a lot more studies, particularly on individuals, before these sleep experiments can be used as criteria for setting nighttime noise limits."

What that means, of course, is that the experimental methods so far devised are not good enough to back up our subjective experience with sleep and noise. What it also means is that science must first of all improve on Shakespeare's definition, however eloquent, of what the body uses sleep to accomplish before we can determine how noise disturbances to sleep affect our health. ☾

*David Spurgeon is the Editor of UNESCO's Paris-based publication, Impact of Science on Society.*





# The Big Eyes

## Ground-based astronomy at NRC

by Bill Atkinson

**T**here have been studies suggesting that astronomy, far from being mere stargazing, is the most cost-effective of the sciences — that techniques developed to capture the sky's shy photons later prove useful in remote sensing or defence. But an astronomer's true motive is not so calculated: it is the same awestruck wonder we all feel sometime under a midnight sky. "Astronomy won't make anyone richer or more powerful," says one astrophysicist at the National Research Council, "just more content."

People seem to sense this — public taxes underpin a worldwide effort in astronomy whose budget, though small compared to spending on welfare and warfare, is substantial. Since no survey article can be exhaustive, this two-part series examines only some ground-based projects at NRC: here we sample optical astronomy, in a later issue (1984 No. 3) we'll look at radio astronomy.

*Mauna Kea, Hawaii.* This is the world's tallest mountain: already 6 km high at sea level, it rises another 4 km to an extinct volcanic peak. There, inside a starlit hemisphere 32 m across, two men stand amid a whisper of machinery. Though they are well south of the Tropic of Cancer, both Dr. René Racine, Director of the Canada-France-Hawaii Telescope, and his visitor wear insulated jackets. Above them, the steel dome splits to reveal a cold sky full of stars. The telescope, a spidery assembly of mirrors, gears, and girders, turns with the precision of a wristwatch, then stops. Into the silence Racine says, "This is the perfect place for a ground-based optical telescope. We're up so high that clouds form beneath us, screening us from lights on the island below. What air remains above us is so clear and dry that even infrared gets through it. And we're so close to the Equator that we command most of the sky in both hemispheres; only the dust

*The dome of the Canada-France-Hawaii Telescope, silhouetted in an artist's collage against the Rosette Nebula in the constellation Monoceros.*



from a volcanic eruption somewhere in the world degrades our images. You might say we're ground-based, but only just. Any instrument with better seeing than this one is in space."

The site may be a lucky accident; the placement on it of one of the world's great telescopes is not. Fifteen years ago France and Canada planned to build separate optical observatories, then merged their projects when they saw the similarity of their goals. A search committee found an ideal site in Mauna Kea,

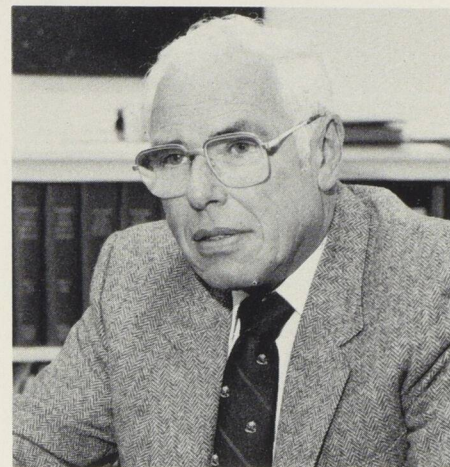


The Crab Nebula, a supernova remnant. At its core is a pulsating neutron star or 'pulsar,' first detected at radio wavelengths.

whose 'seeing' — the excellence of image that its atmosphere permits — is among the best on Earth. Hawaii donated the site in return for 15 per cent of the new telescope's observing time; France and Canada each take 42.5 per cent. For its part, Canada ground the 366-cm primary mirror and other optics, designed the primary mirror support (one of the most exacting tasks), designed and built the telescope's computerized drive and control system, and fabricated the covering dome. Since 1979, the superb optics and instrumentation of the completed CFHT have been probing the universe's farthest crannies.

What's out there?

One type of object found only in deep space is the quasi-stellar object, or quasar. René Racine: "As their original name implies — quasi-stellar radio source — quasars first revealed themselves by radio emission. This is quite typical: neutron stars and black-hole binaries were also found first at invisible wavelengths. After such a discovery, optical astronomers then search for a visible counterpart at the same sky co-ordinates. In the quasars' case, what we've found is truly fascinating.



Dan Getz

Dr. Jack Locke, Director of NRC's Herzberg Institute of Astrophysics.

ing the Canada-France-Hawaii Telescope have recently obtained high-resolution quasar images and confirmed an early prediction. Quasars, it seems, are the cores of ancient galaxies.

Why ancient? Photons travel at about 300 000 km/s: effectively instantaneous in our everyday world, but a spider's crawl as one moves out into the staggering distances of space. A photon takes about a second to get to the moon, four hours to reach Pluto; in two million years it intersects the M31 galaxy, our Milky Way's twin. But even that journey would be less than one-fiftieth of one per cent of the distance to some quasars! When we look out that far, we look back to a time before the Earth had formed.

Why plumb the infinite in this manner? Simply because we humans need to know.

"Quasars are so small, and so optically faint, that they were once confused with stars. But unlike stars, their spectra are 'red-shifted' enormously, allowing us to infer that they lie up to 14 billion light-years away. Quasars are only a few light-days or light-months in diameter; yet if they are truly as distant as their spectra imply, then each of them is putting out more energy than trillions of normal stars. That's their basic puzzle — they're more powerful than whole galaxies, yet comparatively tiny. There's an engine in these things that produces absolutely monstrous amounts of power. Nuclear fusion, which fuels stars, can't begin to account for it; some theoreticians have proposed models that contain black holes." Whatever the explanation, astronomers visit-

Like all science, astronomy satisfies this need through a twofold process. First, observers amass data. Then theoreticians (who need never go near an instrument) combine these observations with other facts, sometimes from apparently unrelated disciplines. The resulting explanation makes testable predictions which put the ball back in the observers' court. This cycle of fact-theory-fact is endless; its successes in present-day astronomy have proved, well, astronomical. In the eight decades since Einstein's first paper on relativity, astronomy has moved with astonishing confidence where both philosophers and theologians have come to grief, liter-

CFHT



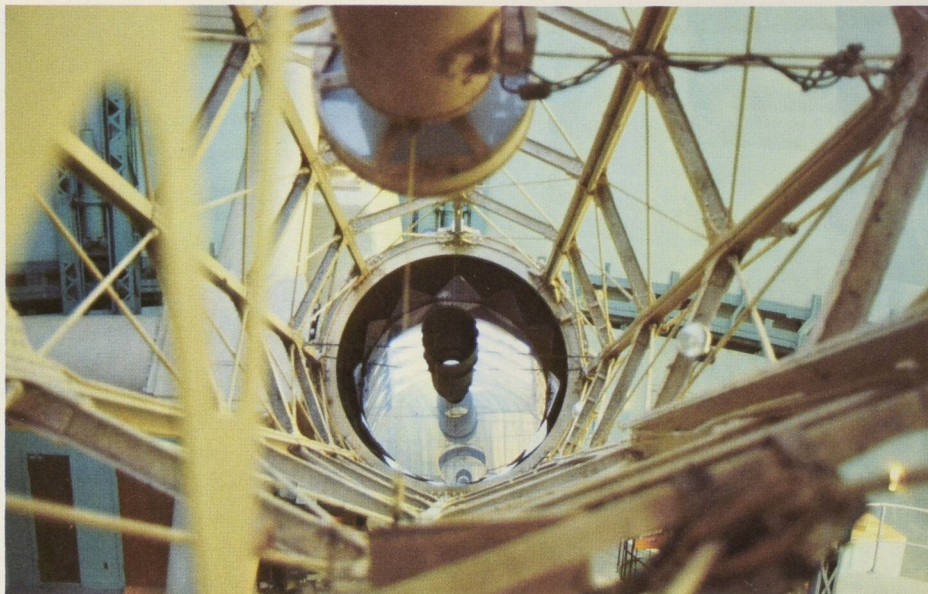
ally throwing light on timeless questions: Where are we? Where have we come from? Where are we going? The answers and questions are ultimately of the mind, for astronomy is as much ideas as hardware. Even the Canada-France-Hawaii Telescope is a means to an end — an elegant device for harvesting facts.

*Little Saanich Mountain, B.C.* Thousands of kilometres east of Hawaii, the white buildings of NRC's Dominion Astrophysical Observatory cluster on a height of land with its own view of Pacific sea and sky. The DAO helped design and fabricate the CFHT, and now supplies the telescope with both instruments and some of the astronomers who use them. According to DAO's Dr. Sidney van den Bergh, the observatory staff have three main interests: the age of the universe, star clusters, and binary stars.

"Binary star studies are especially fruitful," van den Bergh says: "they lead you into some of the most interesting areas of current astronomy. People tend to think of stars as

---

*Astronomers of the Dominion Astrophysical Observatory. Left to right: Dr. Sidney van den Bergh, Dr. David Crampton, Dr. John Hutchings. Crampton and Hutchings recently tripled the known supply of probable black holes.*



Bruce Kane

isolated, or grouped only into galaxies; but in being alone, our own sun may be something of a freak. Most of the stars in the Milky Way appear to have a companion, if only at great distances. Among other phenomena, this may explain the variable stars called novas."

A nova, van den Bergh explains, is a star that burns in a cycle that may last thousands of years: bright, then dim, then bright again. "Most, and probably all, of these novas occur in binary star systems," he says. "There, a small, dense, faint star periodically strips away matter from its larger, more luminous companion.

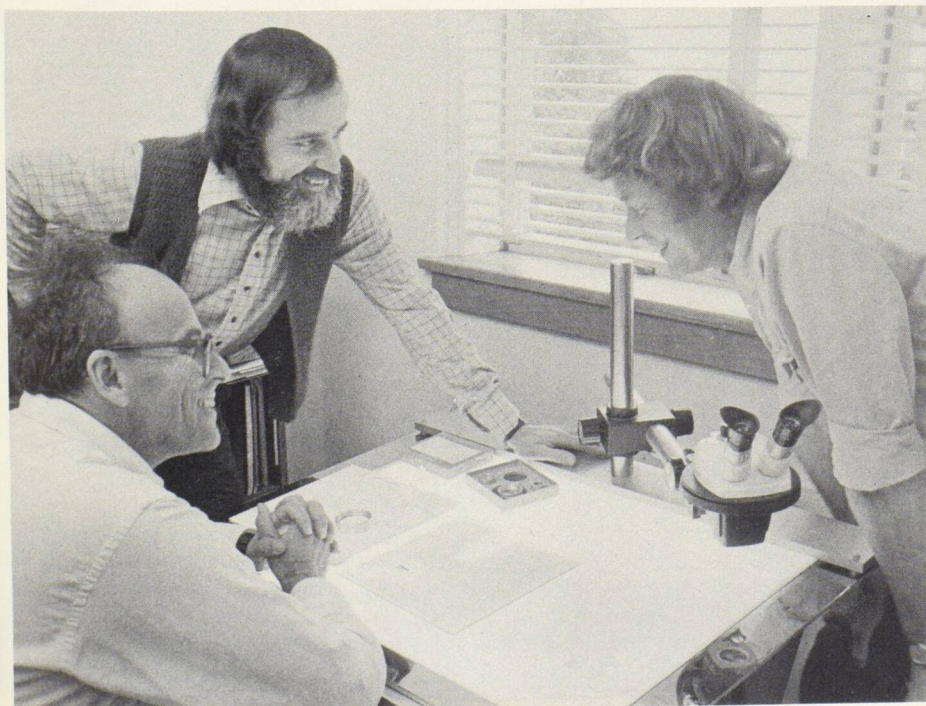
*"The Big Eyes" of modern optical astronomy are giant reflecting telescopes. To save weight, their barrels are actually an open network of girders, as here in the 3.6-m CFHT.*

The result is that the system flares up regularly into what early astronomers thought was a *stella nova* — a 'new star.'"

A binary nova may have several types of small companion; stellar evolutionary theory reveals why. "Stars form when gravity draws together the gas and dust of the interstellar medium," van den Bergh says. "Eventually the centre of the contracting region grows hot and dense enough to fuse hydrogen into helium, releasing energy. In time, the outward pressure of radiation balances the inward pressure of gravity, and the star becomes stable. But after a few billion years, the nuclear fires of the star grow feeble and are no longer able to counteract the attraction of its own matter for itself. The star begins to collapse inward again.

"What happens next depends on the initial mass of the star. If it's not too big to begin with, it just grows smaller and dimmer, eventually restabilizing as a white dwarf."

White dwarfs are the small companions in most binary systems: they're compact, predictable stars. But if the aging precursor of a binary's small companion is several times as massive as our sun, it can blow away its outer envelope in a



NRC

(continued on page 26)



## BIG EYES' RETINAS

"From the dawn of astronomy till about a hundred years ago, observers relied entirely on the human eye." The speaker is Dr. Paul Feldman, an astronomer at NRC's Herzberg Institute of Astrophysics.

"Then came photographic emulsions, which build up a permanent image of faint objects. But emulsions literally have their limits. Beyond a certain point, they saturate and don't register photons any more."

Adds Dr. Jack Locke, the Institute's Director: "Emulsions are also subject to 'reciprocity failure,' which means that at longer exposure times they become less sensitive. Of course, emulsions aren't going to disappear. They can be made sensitive to many wavelengths, and have excellent resolu-

electronics has caused a revolution. "Electronic detectors have done more for ground-based optical astronomy than any other single advance in the last thirty years," Feldman says.

According to optical astronomers, an ideal detector should do three things. First, it should be 'linear' — the image it provides after six hours' exposure should be six times as bright as after one hour. A perfectly linear sensor will not saturate, as film does. Second, a detector should generate little of the spurious signal known as noise. And third, an ideal detector should be sensitive both to single photons and to billions; this property is called dynamic range. Here is how some of the new optical detectors measure up.

**Photometers** simply count photons. The most basic of the

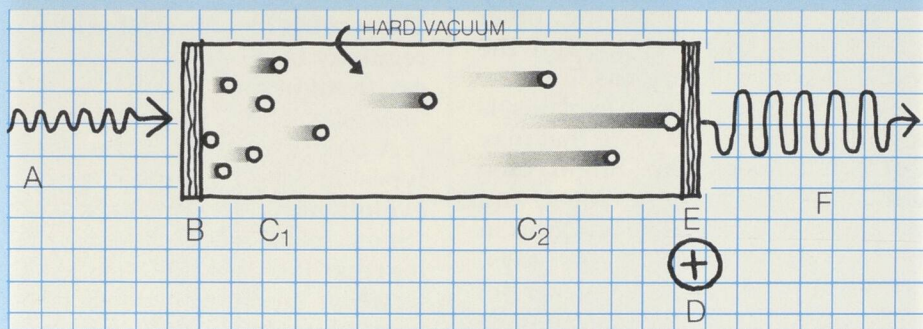
There are also ways to *multiply* photons — a useful talent when the time elapsed between successive photons from a really faint light source may be several seconds!

**Electrographic Cameras** receive incoming photons with a photocathode surface; the photons 'bump off' electrons into a vacuum behind this plate, where an electric field accelerates them towards a detector. There they strike more forcefully, and are recorded more easily, than the initial photons could have been. An improved design converts the accelerated electrons back into photons with a phosphor surface like that on a TV screen.

**Vidicons** are slow-scan TV cameras. They direct photons to a plate that converts them into electronic impulses by 'viewing' them with an electron beam. (Similar slow-scan methods transmit still photos to newspapers.) Astronomical vidicons operate at low light levels, taking a lot of time to accumulate a single 'still'; vidicons aboard the United States planetary probes have given us spectacular close-up views of Saturn and Jupiter. Vidicons are not now, however, used widely for ground-based work.

What *are* used widely are **Charge-Coupled Devices**, or CCD's. They are the most complex and useful of the new breed of sensors. Basically, a CCD is a photometer array, the theory being that if you sample the brightness of enough small, contiguous sky areas, you'll obtain an image. Each photometer within a CCD is known as a picture element, or 'pixel'; a CCD may contain a quarter of a million pixels in an array 500 square. Amazingly, CCD's crowd this incredible quantity of photometers into a space smaller than a postage stamp, which makes them useful for the study of small areas of sky. (At present, large-sky-area images are still best done with emulsion.)

How does a CCD work? Like so many recent advances, CCD's use silicon-chip technology, in this case the same type of thin-film semiconductor which generates electricity



The electrographic camera is also used as a 'snooperscope' in the military. Incoming photons (A) (which need not be in the visible range) hit photo-cathode surface (B) and knock away electrons (C1) into hard vacuum behind. A positively charged plate (D) accelerates electrons, which thus move faster the farther they are from the photo-cathode surface (C2). Electrons impact phosphor surface (E) and are 'converted' back to photons (F), but more energetic than before (A).

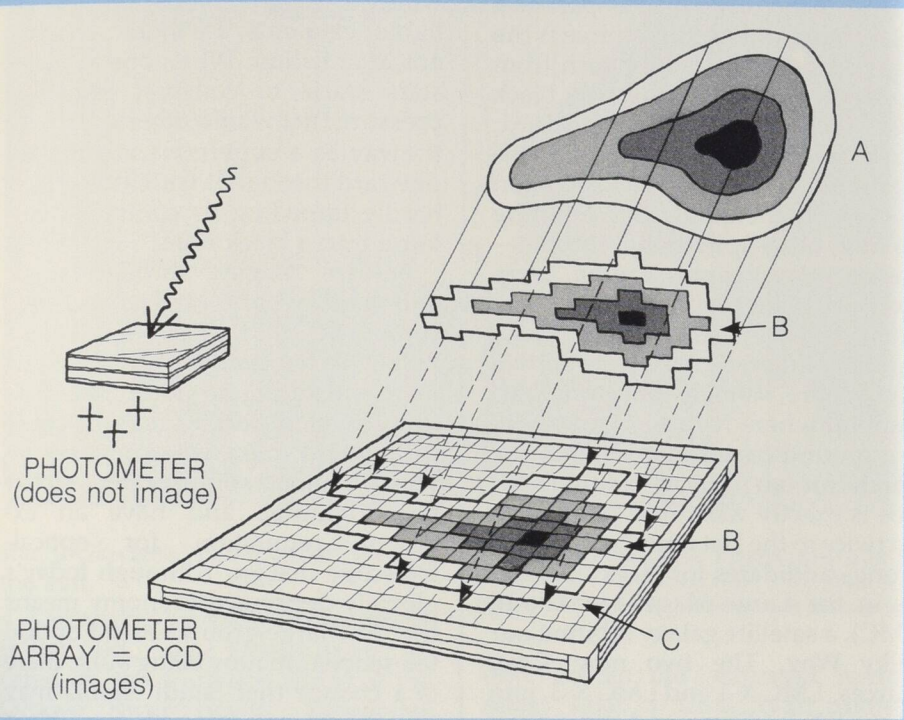
tion; they can also be made physically big enough to give images of large areas of sky. But compared with the new detectors, photographic emulsions come off second best. In the last half of 1982, they were used by only one observer at the Canada-France-Hawaii Telescope."

If an optical telescope is like a big eye, then the photon detectors at its foci are its retinas. According to Feldman, the union of these retinas with the new techniques of micro-

electronic detectors, photometers answer the question, "How bright is this point?" A photometer does not create an image; but a grid of them together can (see CCD's, below).

**Infrared Detectors** sense infrared radiation (IR) — what we feel as radiant heat. **Bolometers** display sensed IR through analogue means — the absorbed photons cause a detectable physical change in the sensing medium. (A household thermometer is a bolometer: its alcohol or mercury absorbs IR, expands, and visibly rises in its tube against a linear scale.) A second type of IR detector is the **Photodiode**, a solid-state electronic sensor made with rare-earth elements such as indium antimonide. Like bolometers, photodiodes give an analogue output which can then be digitized for computer processing.





CCD explained: *Thin-film semiconductors can be made to accumulate charge when struck by photons (left) — the 'photometer principle.'* An array of such photometers, right, is called a charge-coupled device or CCD. In this simplified example, a celestial object (A) creates an image of itself (B) on the CCD surface (C). Photometers within CCD are called 'pixels,' for 'picture elements.'

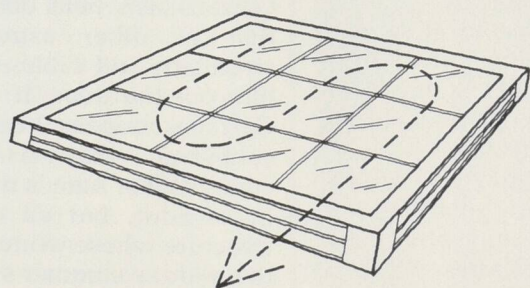
directly from light. In both applications — photovoltaic cells and charge-coupled devices — photons displace electrons and build up a charge.

When a telescope focuses its image on a CCD, the image's light areas cause more charge to accumulate in a sampling pixel, while dark areas charge a pixel less. After the maximum exposure time the elements allow (a CCD is almost perfectly linear), the CCD is 'read' by shuffling its isolated charges along adjacent pixels to a computer digitizer at

the end of the line — much as schoolchildren exit during a fire drill.

The impact of CCD's on astronomy, however, is more from what they do than from how they do it. CCD's are a pretty fair approximation of the perfect detector. Besides being linear, they can be manufactured sensitive to various optical wavelengths.

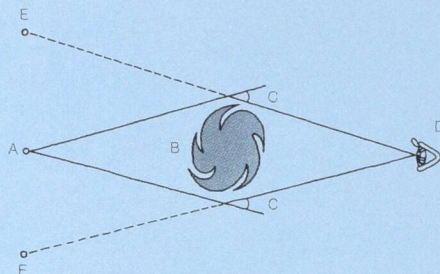
Unlike the human eye, the pixel of a CCD is sensitive enough to record individual photons, yet not be overloaded by many photons. And like other detectors, CCD's produce an



DIGITIZER

After exposure, a CCD outputs its information by shuffling its pixels' charges out to a computer digitizer.

analogue output that's easily digitized for high-speed computer massage. This is a vital trait. Since a single night's observing can produce information equivalent to that in a multi-million-word reference library, CCD's would be useless with-



The gravity lens, recently revealed by ultrasensitive charge-coupled devices (CCD's). Light from distant quasar (A) is refracted by an intervening galaxy (B) through an angle (C). Observer (D) sees two images of quasar flanking galaxy (E).

out downstream data processing. Teamed with computers, however, CCD's have recently revealed that quasars are the central engines of faraway galaxies, and have found the first example of the long-predicted 'gravity lens.' Other revelations are surely on the way.

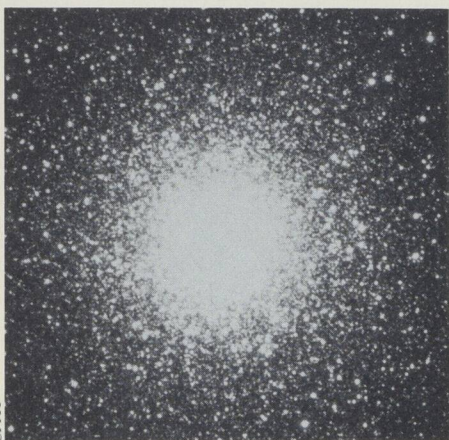
**Shutters** are not detectors *per se*, but ways of controlling which photons reach the detector. Why do this when an astronomer needs all the photons he can get? Basically, there are times when it's better to ignore what you see. At the CFHT, for example, a Very High Resolution Program is reducing the atmosphere's blurring effect with a new high-speed shutter that opens only when the telescope's image is sharper than a pre-set minimum. Another shutter, this one entirely electronic, senses when the CFHT's highly magnified image 'drifts' as a result of its passage through the air, and instantly redefines the image centre, in effect 'shifting its gaze.' Both kinds of shutter generate many sharp, dim images, which a computer then superposes to create a composite image both sharp and bright. The CFHT has recently resolved 0.25 seconds of arc using these techniques, a respectable fraction of what the Space Telescope may achieve, and to date the world's best ground-based resolution. ☾



(continued from page 23)

catastrophic explosion called a *supernova*, briefly shining as brightly as all other stars in its galaxy combined.

The recoil of this explosion compresses what remains of the star to a



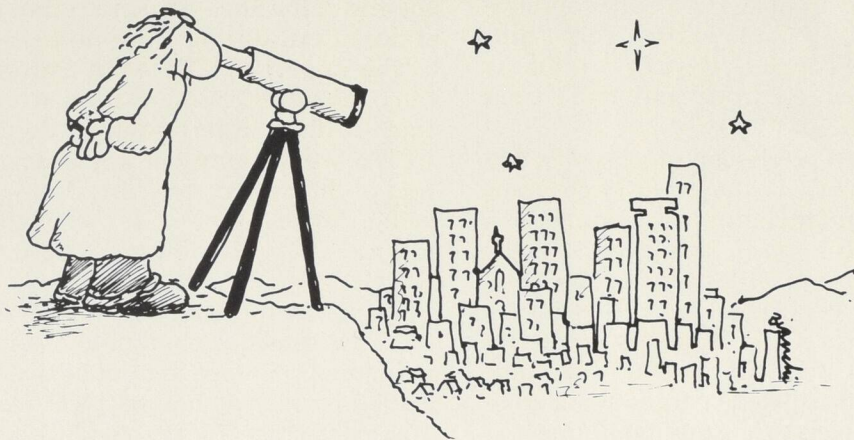
superdense state known as 'degenerate matter.' Here, gravity squeezes electrons and protons together to create 'neutronium' — matter made entirely of neutrons. Such a remnant may be considered a single atomic nucleus a few kilometres in diameter; one million cubic metres of it may outweigh the Earth. It is called a neutron star.

But there are stranger possibilities. "In the most extreme case," says van den Bergh, "even degenerate matter cannot resist the continuation of gravitational collapse. The star implodes upon itself, attaining gravitational field intensities which permit nothing to escape it — not even photons." This bizarre object is known as a black hole. Its very existence strains credulity: for example, a black hole's core may contain a 'singularity,' a point of infinite density and zero volume where the laws of physics as we know them may no longer apply. Even stranger, some theoreticians calculate that black holes, instead of accreting matter indefinitely, may over time radiate charge and 'evaporate.' "Whatever their properties," smiles van den Bergh, "black holes' existence seems inescapable, unless our interpretations of observed data are very wrong."

'Observed data'? How can astronomers observe something that holds back even light? The evidence for black holes, though strong, is indirect: again, theory tells where to look. A black hole's gravitational

field attracts matter from a nearby source. If the black hole is part of a binary star system, this source is the larger star. When matter torn from the large star approaches the black hole, it begins to spiral inward, much as water whirls down a bathtub drain. As it whirls, this 'accretion disk' grows incredibly hot, emitting (among other photons) X-rays — energetic radiation having very short wavelengths.

As X-rays are among those photons filtered out by Earth's atmosphere, satellite detectors must pinpoint where X-rays originate before ground-based instruments can search for an optical counterpart. This is exactly what one DAO team did twice in the last year, finding two strong candidates for black hole status in the Large Magellanic Cloud (LMC), a satellite galaxy orbiting our Milky Way. The two new X-ray sources, LMC X-1 and LMC X-3, join Cygnus X-1 (discovered more than ten years ago) on the short list of probable black holes — objects with exactly the mass and radiation characteristics that theory calls for. DAO astronomers have thus tripled the



known supply of these objects in little more than ten months.

"Black holes come in all sizes," says DAO astronomer Dr. John Hutchings, a member of the team that discovered the two new objects in the Large Magellanic Cloud. "Those we find in binary star systems have only a few solar masses. Larger black holes may power the so-called Seyfert galaxies, while a quasar would require a monster of fifty million solar masses or more.

"Why have we found our black-hole candidates in young galaxies like the LMC, rather than in old, stable spirals like the Milky Way? Per-

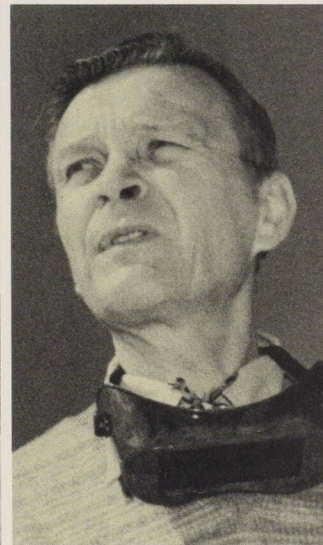
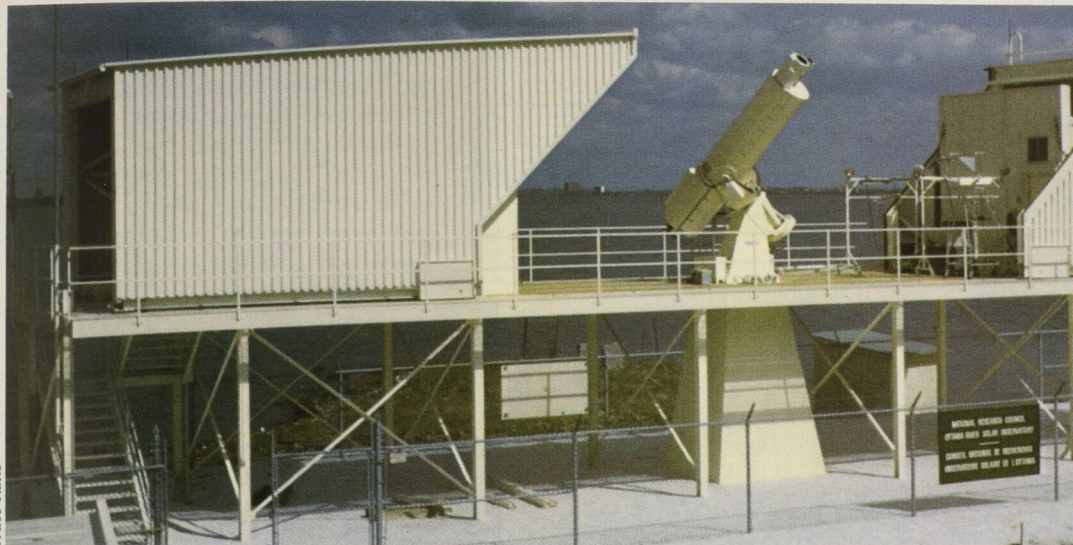
haps the younger stars of the LMC, which are made almost entirely of lighter elements, are more transparent to radiation. When one of these stars starts to collapse, radiation pressure that would otherwise blow it away as a supernova might pass outward through it with little effect, hardly impeding its continued collapse into a black hole."

Besides ranging through space and time, what else do DAO personnel do with their work week? "Well, we've hardly spoken of our instrumentation section," says Sidney van den Bergh. "DAO people design and make what may be the world's most sophisticated stellar spectrographs, and have an excellent reputation for optical-telescope design. Although today's globally depressed economy means that few large ground-based optical telescopes are now being built, there is a chance that Saudi Arabia may soon construct one with our help." That would be particularly fitting, van den Bergh feels, since "some of the most accurate astronomical observations of the pre-telescope era came from mediaeval Islam."

**Shirley's Bay, Ontario.** Dr. Vic Gaizauskas's field office looks like that of other astronomers: instruments and cables all but crowd him out the door. It is only when Gaizauskas opens the entrance to his cubbyhole that its uniqueness emerges. For here is no fluorescent-lit corridor, but an outdoor steel structure whose white paint reflects the midday summer sun with painful brightness.

Vic Gaizauskas is a different sort of ground-based astronomer: he makes his observations during the day. A solar astrophysicist, his field of investigation is Earth's parent





star, a G2-class yellow dwarf we call the sun.

Gaizauskas's principal instrument is the NRC Solar Observatory, located on the southern shore of the Ottawa River twenty kilometres west of Parliament Hill. The solar telescope, housed by a cover that rolls back and forth on rails, is trained on preselected parts of the solar disc by computers; according to Gaizauskas, the 'seeing' here for solar work is as good as anywhere on Earth.

Gaizauskas needs none of modern astronomy's sophisticated equipment for enhancing faint photon showers — observing the most luminous object in the sky, he has an *embarras de riches* that would make most astronomers weep. Of all the cornucopia of photons that the sun puts out, however, Gaizauskas usually deals with the 'H-alpha line.' This particular wavelength is the signature of hydrogen atoms in the sun's chromosphere, an irregular atmospheric 'layer' above the disc the naked eye sees. A polarizing interference filter inside the solar telescope allows only a narrow band of wavelengths centered on this H-alpha line to pass through to the sensors; if Gaizauskas wants other information on the sun — its magnetic properties, for instance — he must make his observations on instruments elsewhere in the world. (See the next *Science Dimension*, 1984 No. 2.)

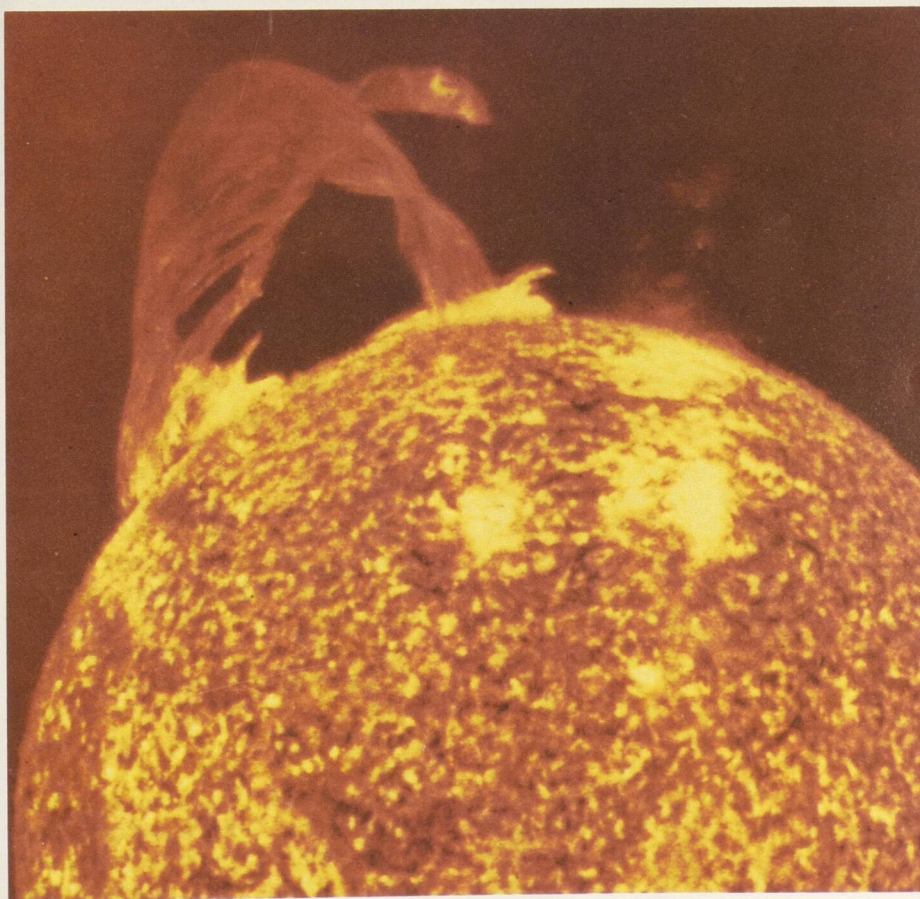
A visitor to the Shirley's Bay telescope can put his eye to a small lens and view the sun directly — astron-

*The Shirley's Bay Solar Observatory west of Ottawa. Dr. Vic Gaizauskas: "The 'solar seeing' here is as good as anywhere in the world."*

omy on an old-fashioned human scale. Like a Civil War photographer, he covers his head with a black cloth, peers into the eyepiece, and sees — nothing! Gaizauskas has trained a powerful telescope on the

noontime sun at summer solstice and derived an image which is vanishingly faint. Why is this?

"First, the H-alpha 'window' represents only a fraction of all the photons the sun puts out," Gaizauskas says. "Second, we dim the image coming through the eyepiece so it can't harm your retinas. Keep looking: your eye gets used to it."



*The view from Shirley's Bay: The sun in H-alpha light, showing the chromosphere with a looped solar prominence at top. At this scale, Earth is the size of a pinhead.*



## THOSE MARVELLOUS SPECTRA

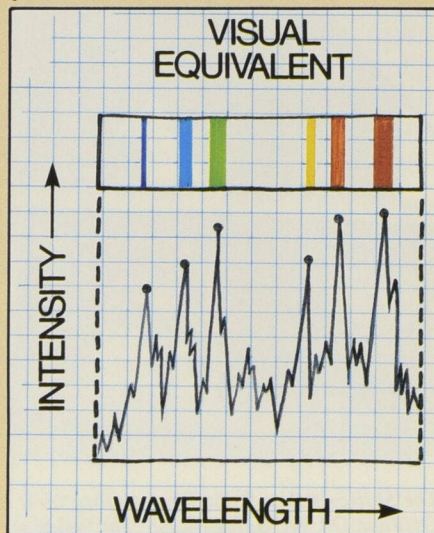
### Quasar receding at half lightspeed! Heavy molecules found in space!

We read these headlines all the time. But how can astronomers reach such amazing conclusions about things that can be billions of light-years away? Often they've used a spectrograph — an instrument that splits light into the various wavelengths that make it up. Spectrographs inform the astronomer what atoms and molecules are emitting the light, how fast these particles are travelling with respect to Earth, and what other matter intervenes.

The facts come in by photon, a wavelike particle which transports energy. Photons have wavelengths that range from one ten-trillionth of a millimetre to ten thousand kilometres. Certain wavelengths midway between these two extremes penetrate air and reach Earth's surface, where we see them as the colours of the rainbow; but colours are only the visible part of a much larger range of photons. Metaphorically, a rainbow continues invisibly off the red end down into infrared and radio, and off the violet end through ultraviolet and X-rays up to gamma rays. Photons toward the violet end have shorter wavelengths, higher frequencies, and more energy than their colleagues have toward the red side.

Most natural light sources are blends of different photons, each with its own fixed wavelength. Astronomers can examine these individual wavelengths with special detectors, each sensitive to one frequency; or, more commonly in ground-based research, they can detect the blended wavelengths all at once. The resulting readout, an astronomer's definition of a 'spectrum', is printed as a graph trace which indicates the wavelength

and intensity of all detected photons.



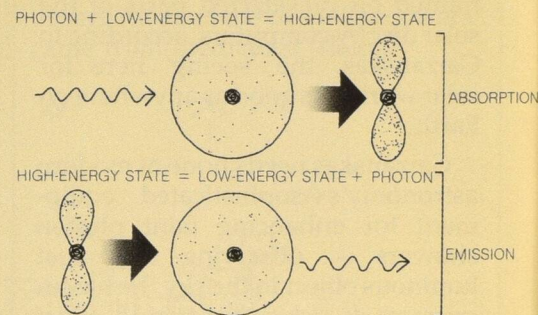
We think of an emission spectrum as a series of bright lines — and indeed it is often called a 'bright-line spectrum.' Today's astronomers, however, usually display spectra as a line graph which plots wavelength vs. intensity.

In theory, we could generate such a spectrum for any part of the visible and invisible rainbow; but for ground-based observations, two facts confirm the common image of a spectrum as a smear of colours. First, stars — the most common object that astronomers detect — put out the bulk of their energy in the visible and ultraviolet. Infrared and radio come from cooler things (often re-radiating energy absorbed from other objects), while hard radiation such as X-rays emanates from high-energy sources (such as neutron stars) that are relatively rare. Second, to most photons our atmosphere is as opaque as lead. All ground-based astronomy has to work with are radio, the shorter-wavelength infrared, the longer-wavelength ultraviolet, and the colours.

Spread out to view, a spectrum from any source has a surprise in store — it's not always continuous: there are often gaps at certain wavelengths. Sometimes these gaps are narrow. The spectrum of the sun, for instance, has thousands of places where specific types of photon have been snipped away. At the other extreme, the

visible spectrum of a fluorescent lighting tube is totally blank except for a handful of bright lines.

What lies behind this? Basically, no single form of matter interacts with (absorbs or emits) more than a few wavelengths of light. Any atom or molecule — a hydrogen atom for instance — will *absorb* only some out of all the energies of photon wavelengths available to it; similarly, it will *emit* only a few wavelengths (not necessarily the same as those it absorbs). In light emission, an electron falls to a lower energy state and gives off a photon. In absorption, an electron *intercepts* a photon and steals its energy to achieve a higher energy state. An emission line in a spectrum, representing as it does a precise light energy, thus tells an astronomer that many electrons in his light source have tumbled down identical steps of a quantum staircase; an absorption line shows



In light (photon) absorption, an electron intercepts a photon and steals its energy to achieve a higher energy state (upper). In emission, an electron falls to a lower energy state and gives off the energy difference as a photon (lower). Shapes represent 'orbitals' (regions where one is likely to find an electron) for the hydrogen atom.

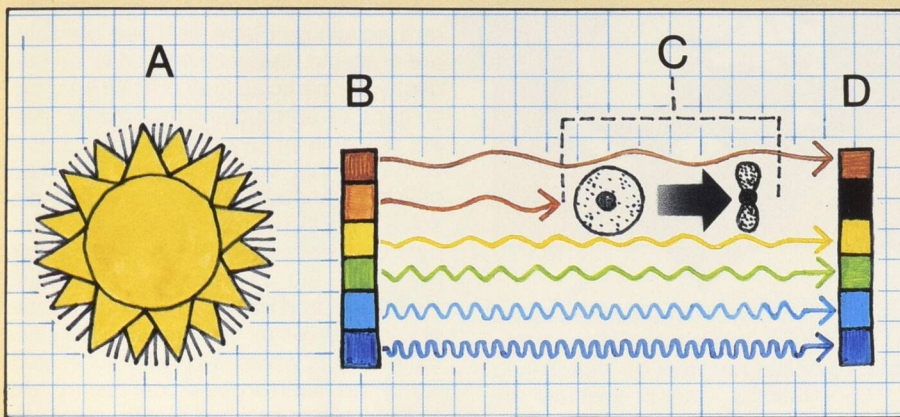
that, somewhere between source and spectrograph, a gang of electrons has fallen upon a hapless spectrum and robbed it of all the photons of a certain wavelength that it once possessed. This remains true whether the light source is one centimetre or ten million light-years away.

What vitally interests the astronomer is the *patterns* in the emission or absorption lines. One line by it-



self is informative; combinations of them are encyclopaedias. This is because of an invariable connection between matter and light — spectrally speaking, each type of matter is unique. The spectra of two identical fluorescent tubes have the same pattern of bright lines when the tubes are shining; just as importantly, they show another characteristic pattern of *dark* lines when they're turned off and white light is shone through them.

tions seemed to call for an expanding cosmos; this so disturbed him that he juggled his math to remove the prediction — a move he later described as "the greatest blunder of my career." For following their analysis of spectral redshifts, astronomers found a correlation between an object's distance and its apparent velocity of recession. This was observational proof that the universe is indeed expanding (Hubble's Law).



How absorption spectra reveal substances between light source and observer. Ideal source (A) emits a continuum of wavelengths, each representing a specific energy of photon (B). Some of these photons may be 'stolen' by intervening electrons, and the photons' energy used to create higher states of electron energy (C). Observer's spectrum (D) shows dark line at location of each missing wavelength; exact position of the lines betrays which substance has absorbed photons.

Astronomers speak of spectra as the 'signatures of matter,' and so they are: patterns on a wavelength-intensity plot that infallibly reveal both the substances that dispatched them and the substances through which they passed. Anything emitting or absorbing photons betrays itself as if it had signed its name. This is how astronomers could announce the discovery of the new element helium 27 years before its detection here on Earth!

Those marvellous spectra can not only be used to tell temperatures but also to deduce how fast the emitting object is travelling. Velocity shifts an object's spectral lines towards the violet if it's approaching us, towards the red if it's receding. The amount of this shift tells the velocity.

'Redshift' is big news in today's astronomy. When Einstein formulated General Relativity, his equa-

Astronomers find out what is emitting (or absorbing) a detected spectrum in much the same way we find the meaning of an unknown word — they look it up. A spectral dictionary is called a reference database. Such databases list the spectra associated with hundreds of thousands of types of matter; most databases are so extensive, in fact, that they have had to be computerized.

A spectral 'definition' finds its way into a database after laboratories such as that of NRC's Dr. Gerhard Herzberg determine precisely what wavelengths a given atom, ion, or molecule emits and absorbs. This can be done either by deriving an unknown spectrum and then identifying it, or taking a pure sample of known material and then determining its absorption and emission lines. (See the interview with Dr. Herzberg on p. 2.)

So it does. Soon there emerges a ruby-red plume above a curved surface, its background utter black. The curve, explains Gaizauskas, is the sun's edge; the coloured plume is an enormous jet of neutral gas called a solar prominence; the black is the black of space. "That's what an astronaut would see from Mercury. That prominence could swallow a hundred Earths." So much for human scale!

Gaizauskas instructs the governing computers to scan the solar disc in jumps like the fast glances of a human eye, and the eyepiece image leaps a hundred thousand kilometres at a time. Then it freezes at a long, coiled streamer, its hue an even more violent red than the rest of the solar image.

"That's a flare," says Gaizauskas. "You're looking at it edge on; it's being blown straight out at the Earth. Flares are intimately linked with magnetism, like everything about the sun. We're trying to develop predictive models for them by examining what the sun does immediately beforehand." Such prediction, he explains, has practical consequences. "By fanning the solar wind, large flares can overload Earthbound power grids, disrupt long-distance communications, alter satellite orbits, and energize the Northern Lights." So it proved here: two nights later, this particular flare caused spectacular auroras in the Northern Hemisphere as Earth's magnetosphere reacted to the increased solar wind.

Though he has explored only a fraction of NRC's current work in ground-based optical astronomy, Gaizauskas's visitor now sees the area around the solar telescope in a different way. The river is no longer a surface, but the bottom of a 50-km ocean of air. The sun is more than a source of light: it drives the engines of Earth's atmosphere and biosphere. And strangest of all, everything in view — river, people, telescope, clouds — may comprise the remnants of exploded suns much more ancient than that in the sky! The facts that underpin this startling theory come from the other half of ground-based astronomy: the giant dishes that eavesdrop on the stars. ☾

Next: The 'Big Ears' of Radio Astronomy



# SUZUKI

## Sensationalism and the Granting Game

While browsing through an airport newsstand a few months ago, my eye was caught by a headline blaring from one of the many tabloid clones of *The National Enquirer*. It went something like this: "Scientist's discovery will let us live 200 years." Killing time, I leafed through the article and was surprised to see an eminent Canadian scientist, Keith Davey of York University, cited as the source of this new elixir of life. The body of the article revealed that Davey works on a molecule called juvenile hormone, produced by *insects*. Kept at high levels in developing insects, the hormone retards development in the larval stage and so prolongs their lifespan. I am sure that Davey was as shocked as I was at the leap from this work to the suggestion that it has implications for the extension of human life.

I was greatly disturbed by that article because niggling deep in my mind was a little voice saying, "It's your fault. You scientists are responsible for these exaggerated reports." I have now been involved in the scientific enterprise for a quarter of a century and have watched a profound shift in emphasis and priority for giving grants, a shift from basic research to the applied areas. When I started in genetics, we looked down our noses at applied scientists, regarding them as third rate intellects who couldn't come up with clever experiments or ideas and thus did something practical. But, as the Russian post-Sputnik scientific threat that gave such a push to basic research receded and the Western economy faltered, governments began to demand something more tangible than good research papers for their dollars. Too, the success of the American space program seemed to show that technological problems could be solved by targeting research to specific ends. The Nixon administration launched its war on cancer in the 1970's as if conquering the disease was just a matter of more money and a specific objective.

Sadly, in my view, few scientists have made a strong public stand on the critical role of basic research in the process that gives rise to the practical applications of scientific knowledge. Most of us rushed after the dollars made available for research by couching our research proposals

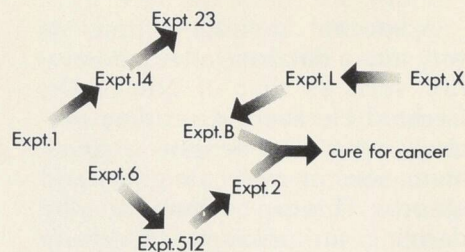


in a framework that pointed to the work's potential applications. So, for example, I justified my work on fruit flies to the U.S. National Cancer Institute by pointing out that, "an understanding of the genetic regulation of cell division and differentiation may provide an insight into defects in this process that lead to uncontrolled cancerous growth." None of it was exaggeration or falsehood, but the statement promulgates what in my view is a mistaken understanding of how science works.

The problem here is that our proposals suggest that science reaches an end result in a linear way, as follows:



In reality, however, it is not like that at all. It's more like:



By this I mean that the person doing Experiment 1 may think he or she is going to solve cancer, but chances are that the research will lead somewhere else, while

those people doing Experiments 6 and X — perhaps in areas completely unrelated to cancer — may find that their work comes together to provide a solution.

Take the example related to me by a volcanologist (volcano expert). When a volcano erupts, the elements in the molten material are fixed in place when the lava solidifies. Some of these elements are unstable (radioactive) and when they decay the particles they emit strike molecules in the surrounding rock matrix, leaving a tunnel of "weakened" structure. If some of this volcanic glass is sliced, polished, and chemically treated to dissolve away the weakened molecules, tunnels or grooves appear, extending starlike from the radioisotopes. Counting such stars, and knowing the isotope's rate of decay, gives us the time elapsed since the eruption, which is very useful in studies of the Earth's geological history. But someone then realized that by purposely imbedding radioisotopes in glass, allowing them to decay, and then etching out the tracks left by the particles, you could get glass riddled with very tiny holes or pores. This would be an excellent way to make *millipore filters* and, indeed, it is how some are now manufactured. No grant proposal or review board could have anticipated a filter industry coming this way from vulcanology.

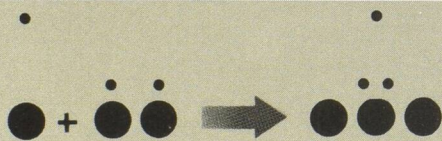
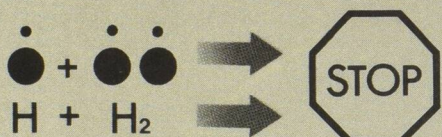
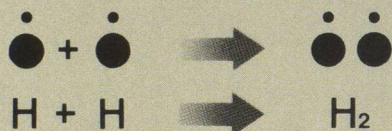
Another good example comes from the area of genetic engineering. If, 20 years ago, the government had decided that Canada should be a leader in this field, the kind of people hired would probably have been geneticists and biochemists working with micro-organisms, fruit flies, and humans. No one could have anticipated that scientists studying the toxins in snake venom, the digestive contents of snail guts, or the way bacteria fight off viral infections would provide some of the most important tools of today's genetic engineering.

My point, then, is that the way we scientists apply for grants, the way we justify research support, and the claims we often make in the media promulgate the notion that scientific discovery is linear and predictable. And, this leads to the belief that one can extrapolate freely from one living organism or result to another — from insect to man for example. Thus, we end up with tabloids headlining outrageous conclusions for public consumption. ☾



Continued from page 2

# Gerhard Herzberg



(Rydberg) H + H<sub>2</sub>

H<sub>3</sub><sup>°</sup>

cluded that the spectrum I was observing was that of neutral H<sub>3</sub>.

Now there's a group in the Max Planck Institut in Munich investigating H<sub>3</sub> by laser techniques. So the molecule isn't just a figment of my imagination!

**Science Dimension:** What else are you working on?

**Herzberg:** This serendipitous discovery of H<sub>3</sub> changed my whole plan for future work. The question arose: are there other molecules similar to H<sub>3</sub>, what you might call Rydberg molecules, which are stable when they possess a Rydberg electron? To predict some of these, we went back to the system we had just found, H<sub>3</sub><sup>+</sup>/H<sub>3</sub> neutral. H<sub>3</sub> is stable in Rydberg states, while its ion (H<sub>3</sub><sup>+</sup>) is stable in the ground state. There are many ions of this sort: for example the ammonia ion, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. If you now bring another electron along at the proper excitation, you should get Rydberg states for the neutral molecule that are also stable. As it turns out, this is indeed the case. We have now found a spectrum of

NH<sub>4</sub> neutral, and it appears to coincide with a spectrum that has lain in the literature, unexplained, for 110 years.!

Then there's H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>, another ion known to be stable in the mass spectrometer. Is H<sub>3</sub>O neutral another Rydberg molecule? The question is intriguing, but in spite of several attempts to answer it we have not yet been successful.

**Science Dimension:** All this seems a far cry from your early interest in astronomy.

**Herzberg:** Oh no, it has direct astronomical applications. These Rydberg molecules might well occur in interstellar space. One spectral feature we've observed in this laboratory may in fact have already been detected in the spectrum of a deep-space nebula. And molecular ions are also important in interstellar regions. H<sub>3</sub><sup>+</sup>, for instance, may be responsible for a lot of the chemistry between the stars, though there is still no direct proof for this.

You know, a lot of the work on interstellar molecules either originated in Canada, or else was done completely in Canada. Only one paper preceded the work of Canadian astronomers in this field. Originally, most people thought that there could be no such thing as an interstellar molecule because the ultraviolet radiation would tear it to shreds; now we know better. Workers at the Algonquin Radio Observatory have found neutral molecules with atomic weights of almost 150, and there are probably still more complex molecules out there that have not yet been found.

**Science Dimension:** What about activities not directly involved in scientific experiment?

**Herzberg:** Well, sometimes I speak out on questions of science policy. If your research is too goal-oriented, then you're likely to ignore something that should be followed up, just because it's not exactly what you're looking for. X-rays, for example, were not the result of a campaign to devise better methods of bone-fracture diagnosis: their discovery was an excellent example of pure research. The same with lasers. Now they stitch up people's retinas and help synthesize vitamin D; but they weren't the product of mission-oriented investigation. You cannot always look only at the usefulness of science. It is a pursuit of the human spirit, in the same way as we pursue music or literature.

So, if the government really wants to achieve its goals, which are to create more high-paying jobs and improve our quality of life at the same time, then it should support more basic science. If all our research has specific targets, economic development or whatever, then one day we'll run out of the pure knowledge on which all new technology must be based. ☾

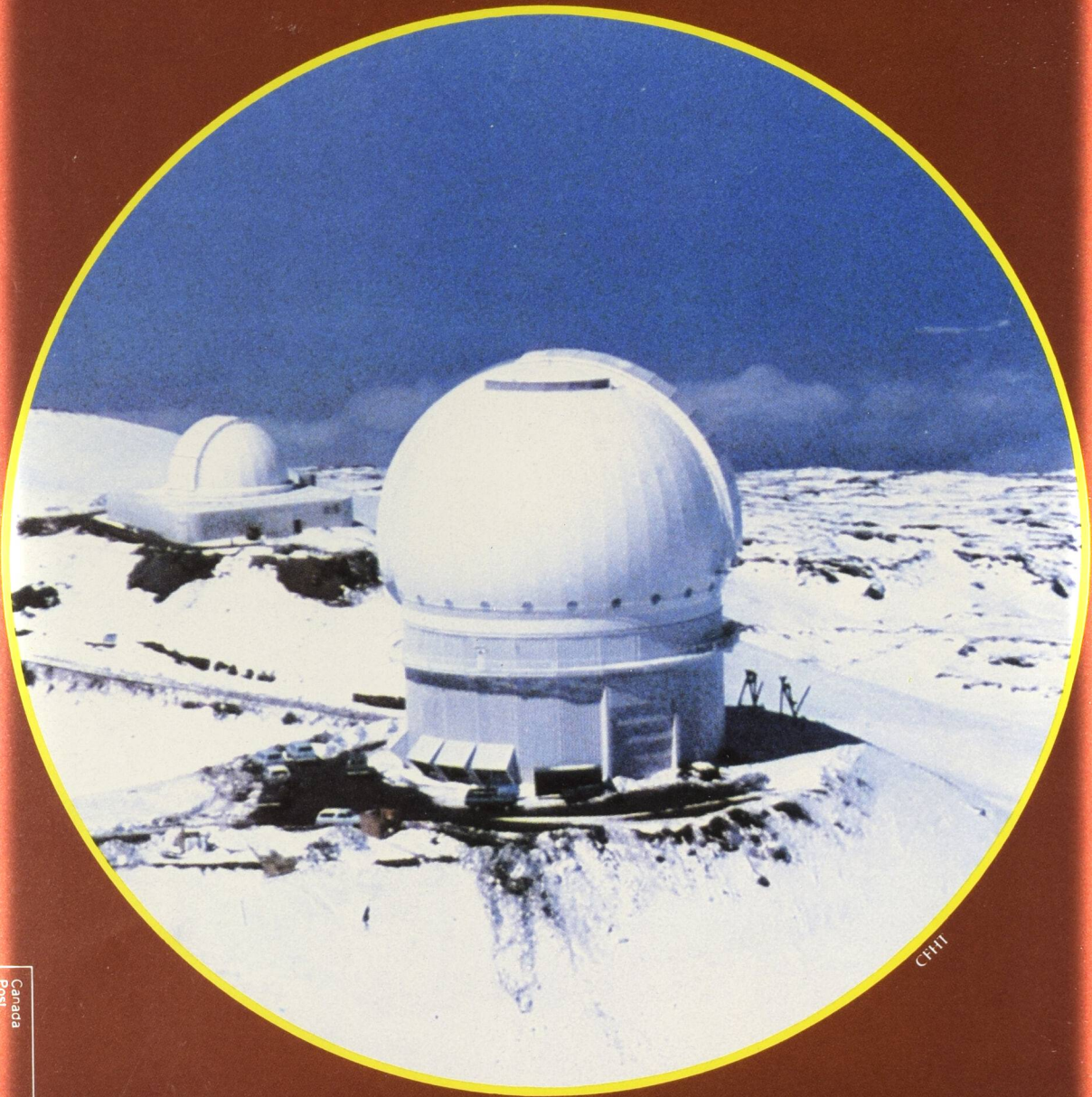


# KEEP AN EYE ON SCIENCE

with **Science Dimension**.

Get the latest in science and technology from around the world and beyond it!

Send in the prepaid reply card on the inside to receive your first year's subscription **free**.



CH11

Canada Post	Postes Canada
Mail Third Class	Ensemble Presse
K1A 0M6	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

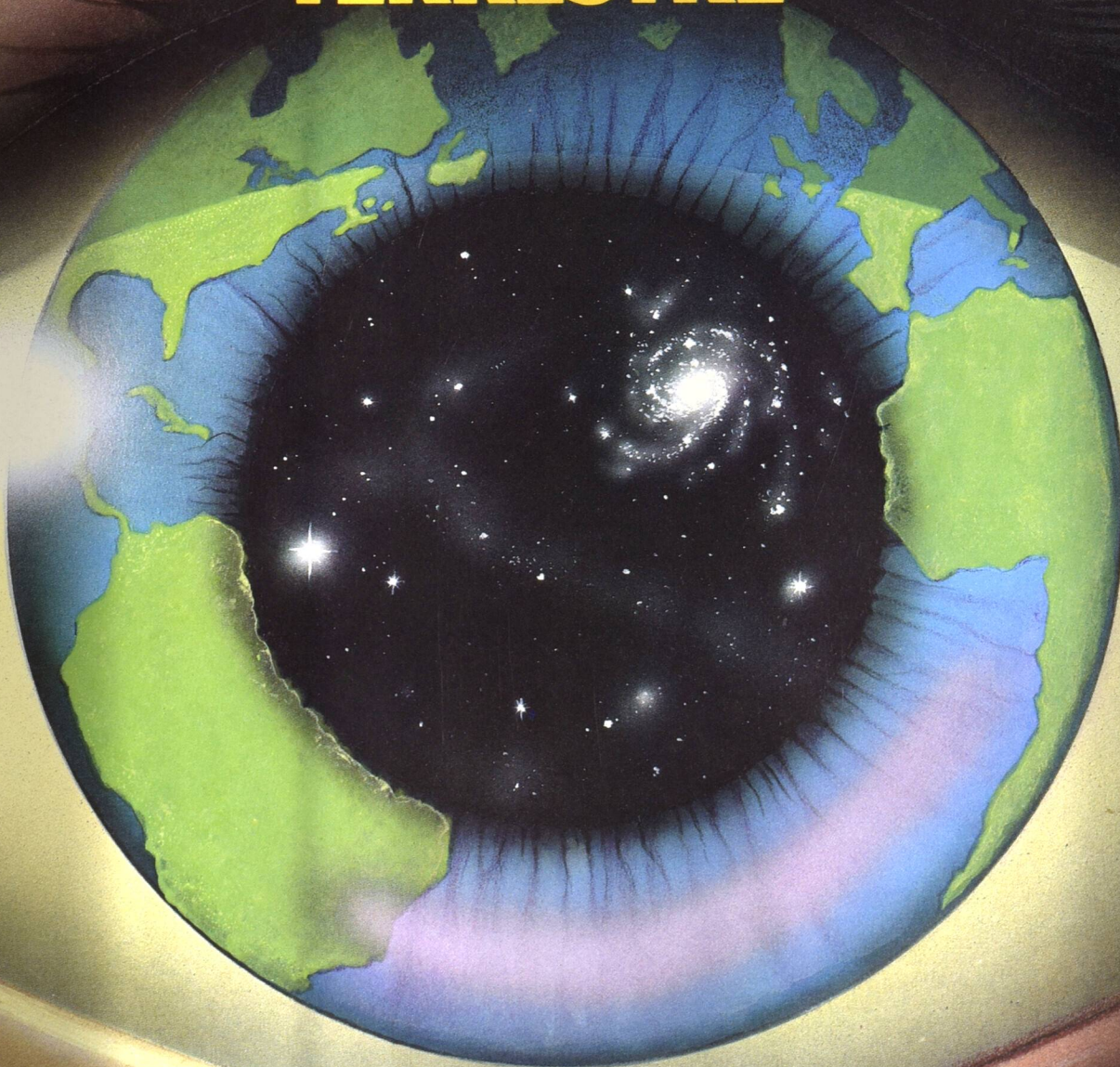


# DIMENSION SCIENCE

VOLUME 16, N° 1, 1984

RÊVER MALGRÉ LE BRUIT • LA MER EN LABORATOIRE  
• DES JOINTS EN POUDRE •

## L'ASTRONOMIE TERRESTRE



*Bianchi*



# Gerhard Herzberg

## Réflexions d'un prix Nobel

Les spectroscopistes, ces scientifiques qui étudient l'émission et l'absorption des photons par la matière, sont des chercheurs d'une patience rare. À l'oeuvre dans des laboratoires transformés en chambres noires, ils font passer des rayons lumineux au travers d'échantillons de matière pour en tirer des spectres d'absorption et soumettent d'autres échantillons à des décharges électriques à haute tension pour obtenir des spectres d'émission.

Né en 1904, Gerhard Herzberg était déjà un spectroscopiste éminent au moment où, forcé de quitter l'Allemagne nazie en 1934, il vint s'installer au Canada. Au cours du demi-siècle qui s'est écoulé, il a poursuivi une carrière digne de ses brillants débuts et reçu le prix Nobel de chimie en 1971.

À quels travaux Herzberg doit-il son prix Nobel? La citation qui accompagne l'attribution de cette haute récompense nous donne en partie la réponse: "Pour qu'une réaction chimique puisse se produire, les molécules doivent se dissocier en fragments qui se réarrangent ensuite pour former de nouvelles molécules. Ces fragments, qu'on appelle "radicaux libres", sont très difficiles à étudier parce que leur durée de vie se mesure en millièmes de seconde." Malgré ces difficultés, Herzberg a conçu une série d'expériences classiques permettant pour la première fois d'étudier des radicaux libres de façon détaillée.

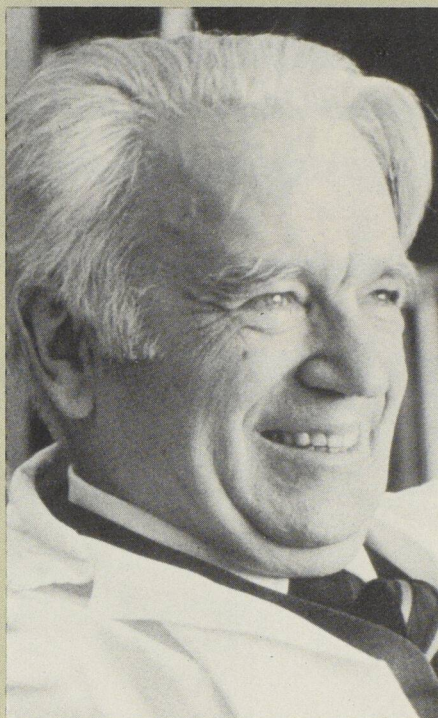
Gerhard Herzberg a beaucoup de patience, même pour un spectroscopiste: c'est ainsi que la recherche qui l'a conduit à la découverte du radical libre méthylène lui a pris 14 ans. Mais notre Prix Nobel, le seul actuellement en vie au Canada, ne considère pas son travail comme terminé: il continue à travailler régulièrement dans les laboratoires d'Ottawa de l'institut du CNRC qui porte aujourd'hui son nom. C'est là qu'en octobre dernier Dimension Science l'a rencontré.

**DIMENSION SCIENCE:** Parlez-nous de vos travaux depuis 1971.

**HERZBERG:** Depuis que j'ai gagné le prix Nobel, j'ai découvert, en 1979, un spectre d'hydrogène triatomique. Un simple coup de chance; n'importe qui aurait pu le découvrir il y a cinquante ans.

Notre groupe cherchait le spectre d'émission de l'hydrogène triatomique ionisé,  $H_3^+$ , système comprenant deux électrons et trois protons. Nous n'avons jamais trouvé  $H_3^+$ . Par contre, nous avons découvert  $H_3$  neutre, qui a trois électrons et trois protons. Cet électron supplémentaire ne semble pas avoir une grande importance, mais il produit une série sensiblement différente de raies d'émission.

**DIMENSION SCIENCE:** Pourquoi a-t-il fallu attendre jusqu'en 1979?



Ted Grant

**HERZBERG:** Parce que personne ne le cherchait. Les chercheurs de l'époque, et j'étais du nombre, étaient convaincus que le  $H_3$  neutre ne pouvait pas exister. Pour ma part, je me suis penché longuement sur l'ion  $H_3^+$ , mais je n'ai jamais envisagé le système avec un électron additionnel, parce que tous ceux qui travaillaient avec l'hydrogène savaient que ce système était instable.

Il l'est effectivement, à l'état fondamental, c'est-à-dire quand il n'est pas excité. Il ne s'agit alors que d'un atome d'hydrogène, H, et d'une molécule d'hydrogène,  $H_2$ , qui ne s'attirent pas. Mais ce qui n'était pas évident jusqu'à ce que nous obtenions ce nouveau spectre en 1979, c'est que dans certaines conditions on peut obtenir du  $H_3$  neutre. Il suffit d'ajouter de l'énergie à H ou à  $H_2$  avant de les mettre en présence pour qu'ils s'attirent très bien.

Mais, à ce moment-là, nous l'ignorions. Tout ce que nous avions, c'était un spectre d'émission qui n'était pas celui de  $H_3^+$  ni de toute autre substance connue à l'époque. Ce fut un véritable travail de détection scientifique. Je gardais le spectre sur mon bureau et, de temps en temps, je le regardais et me disais: "Est-ce un artefact?" Autrement dit, est-ce un véritable spectre ou simplement une illusion résultant de la technique expérimentale utilisée? Soudain, un matin de janvier 1979, j'ai compris de quoi il s'agissait.

Il est très difficile de décrire ce genre de chose: après des mois de perplexité, il ne m'a fallu que quelques minutes pour comprendre. Je me suis d'abord souvenu de certaines prédictions relevées dans des écrits spécialisés sur l'ion  $H_3^+$  et selon lesquelles celui-ci aurait la forme d'un triangle équilatéral de 0,87 angstroms de côté; ce qui donnerait une valeur déterminée pour la constante de rotation moléculaire (ou valeur-B). Ce matin-là, je me suis également souvenu que je pouvais lire directement sur le spectre la valeur-B de ma molécule mystérieuse en utilisant une règle ordinaire et, bien qu'étant certain de ne pas être en présence de  $H_3^+$ , je découvrais que cette valeur occupait exactement la position prédite pour  $H_3^+$ . Alors je me suis dit: "Et si la structure de cette molécule inconnue était très semblable à la structure triangulaire de  $H_3^+$ ? Cela expliquerait la valeur-B identique."

Or, comme nous avons produit ce spectre inexpliqué dans des conditions où l'on peut voir le spectre de l'hydrogène ordinaire, nous nous sommes demandé s'il ne serait pas possible d'obtenir de l'hydrogène triatomique neutre dans ces mêmes conditions. Autrement dit, est-ce que H et  $H_2$  ne pourraient pas atteindre des états dans lesquels ils ne se repousseraient pas? Pour cela, l'électron sup-





# DIMENSION SCIENCE

VOLUME 16, N° 1, 1984

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

31159-2-1019

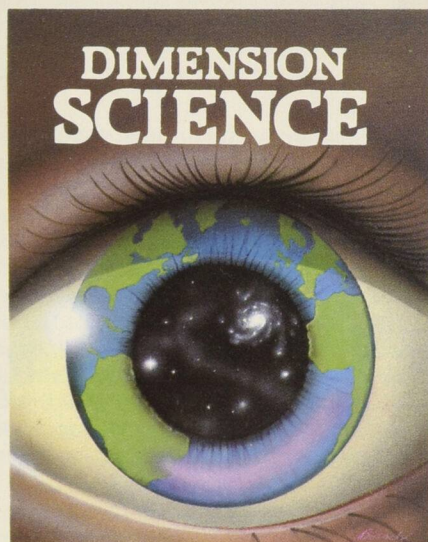
<b>Profil</b>	<b>2</b>
<b>Capsules</b>	<b>4</b>
<b>Des yeux pour voir</b> L'astronomie terrestre au CNRC	<b>6</b>
<b>Le modélisation des vagues</b> Pour prévenir les désastres maritimes	<b>18</b>
<b>Un remède à l'usure</b> Des joints en poudre	<b>23</b>
<b>Les rythmes du sommeil</b> Rêver malgré le bruit	<b>27</b>

## Suzuki

Le Dr David Suzuki signe, à partir du présent numéro, une chronique régulière où il expose son point de vue sur une variété de sujets liés à la Science. La plupart des gens connaissent M. Suzuki pour son rôle d'animateur de l'émission de télévision *The Nature of Things*, produite par la Société Radio-Canada, mais celui-ci est également un chercheur actif à l'Université de la Colombie-Britannique. Il a donc l'avantage d'être à la fois participant à l'aventure de la Science et observateur averti du monde scientifique dans son ensemble.



**30**



### Notre couverture:

Non, ce n'est pas l'oeil du Grand Frère d'Orwell qui vous surveille mais plutôt l'interprétation, par l'artiste John Bianchi, du thème de notre reportage du mois: "Des yeux pour voir". Ce premier volet d'une série de deux articles écrits par le rédacteur principal Bill Atkinson, de *Dimension Science*, examine les travaux des astronomes du CNRC effectués à l'aide d'instruments au sol fonctionnant dans la "gamme optique", c'est-à-dire dans le domaine de la lumière visible, de l'ultraviolet et de l'infrarouge proches.

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

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



# Capsules

## Histoire des sciences et de la technologie au Canada

Plus de cent personnes se sont réunies au mois d'octobre dernier, à Kingston, dans l'Ontario, pour discuter de l'évolution de la Science et de la Technologie au Canada et échanger des idées sur la question. Les présentations et les débats portaient sur des sujets allant des sources de renseignements sur des scientifiques du XIX<sup>e</sup> siècle à l'impact de la technologie moderne sur la femme canadienne. Troisième d'une série de conférences données à Kingston au cours des cinq dernières années, cette conférence a été ouverte par une allocution de Michael Bliss, auteur de l'ouvrage *The Discovery of Insulin* sur les travaux de recherche de Sir Frederick Banting effectués dans les années qui ont suivi la découverte de cette hormone. Banting avait essayé d'isoler les sécrétions des glandes surrénales qui, à l'époque, étaient considérées si importantes qu'on pensait avoir découvert "l'élixir de longue vie".

L'examen de ces derniers travaux de recherche ambitieux mais qui ne devaient pas aboutir a mis en lumière certains

aspects de la personnalité de Banting, et notamment ses capacités de chercheur, et a permis d'expliquer le rôle qu'il a joué dans la découverte controversée de l'insuline. Cette étude fait partie d'une biographie de Banting qui sera bientôt publiée. Ce document, avec l'ouvrage antérieur de Bliss, promet de faire autorité sur les travaux de Sir Frederick, scientifique canadien éminent mais mal compris.

Au cours des trois demi-journées qui ont suivi, une grande variété de communications ont passé en revue de nombreux aspects de l'histoire du Canada. On sait depuis déjà un certain temps que le Canada a eu sa part d'organismes et de scientifiques qui ont fait oeuvre de pionniers, mais le nombre restreint des historiques recueillis jusqu'à présent ne nous permet pas de juger de l'ampleur de leurs réalisations. Quelques-uns des projets en cours devraient toutefois nous aider à y voir plus clair. Il a été notamment question, lors d'une conférence, d'un nouvel outil qui se présente sous la forme d'une liste de publications scientifiques et techniques d'auteurs canadiens, ou concernant le Canada, et ayant paru entre le XVI<sup>e</sup> siècle et le début du XX<sup>e</sup> siècle. Ce recueil, qui est prêt à paraître, sera in-

formatisé et contiendra environ 10 000 sujets classés par auteur et par catégorie. Il promet de revêtir une importance considérable pour tous ceux qui s'intéressent à l'histoire de la Science et de la Technologie canadiennes.

Un grand nombre d'autres sujets ont fait l'objet de communications et de discussions au cours de la conférence. L'impact social de la technologie a été traité dans le cadre de communications comme "Mutiny on the Whitehorse" et "The Kodak Girl in Ontario" et, sous la rubrique de la médecine et de la santé publique, on a appris que la malaria sévissait dans l'Ontario au XVIII<sup>e</sup> et au XIX<sup>e</sup> siècles.

On a également examiné le rôle des scientifiques canadiens au cours de la Seconde Guerre mondiale, ainsi que l'importance des contributions de scientifiques du CNRC comme, par exemple, E.W.R. Steacie et Hugh Le Caine. Grâce à la diversité de leurs contributions, les participants, constitués de scientifiques, d'ingénieurs, de bibliothécaires, d'archivistes, d'historiens, de politologues, d'étudiants et de retraités, ont apporté à cette conférence enthousiasme et entrain.

## Embryons surgelés

L'élevage canadien bénéficie désormais des possibilités offertes par la technologie de pointe. Une entreprise de Calgary, l'Alberta Livestock Transplants Ltd., a en effet mis au point des techniques permettant de récolter les embryons de vaches reproductrices, de les conserver indéfiniment à l'aide de méthodes cryogéniques, puis de les implanter dans l'utérus d'une vache receveuse où ils achèvent leur développement embryonnaire.

Bien que le transfert des embryons soit une technique couramment utilisée, elle est encore très incertaine. Une vache reproductrice de qualité ne produit pas nécessairement un veau de choix à chaque mise bas. Par conséquent, la gestation qui est trop coûteuse du fait de sa durée, présente un risque qui n'est pas toujours justifié. Et si, pour compenser une partie de ce coût, on veut augmenter la production de rejetons par une vache reproductrice, on doit faire face à un autre problème: celui des mises bas à des moments peu propices. Ainsi, pour contourner ces difficultés, les embryons sont-ils retirés de l'utérus de la vache reproductrice et introduits dans celui d'une



vache receveuse à laquelle il est uniquement demandé d'être en bonne santé et capable de porter le foetus jusqu'à terme.

Mais, le transfert d'un embryon ne peut être réalisé que si la donneuse et la receveuse sont étroitement synchronisées, c'est-à-dire que si leurs cycles oestriens coïncident. Par ailleurs, il est important que l'implantation soit effectuée au cours

des sept jours qui suivent le début des chaleurs. Or ces exigences ne sont pas toujours faciles à respecter et, pour faciliter la tâche aux éleveurs, les scientifiques ont introduit une méthode de préservation cryogénique qui permet de réduire les difficultés liées à la synchronisation et, par la même occasion, facilite le transport des embryons. Les éleveurs voient également dans cette méthode un moyen d'augmenter la productivité et d'éviter la propagation de maladies insoupçonnées qui peuvent être transmises aux nouvelles générations.

C'est au cours des années 70 que la compagnie Alberta Livestock Transplants Ltd. a mis au point ses techniques non chirurgicales de transfert d'embryons et elle essaie maintenant de perfectionner la cryogénisation. À l'heure actuelle, seul un embryon sur trois est porté à terme après avoir été récolté. Mais, grâce à l'appui du CNRC, les chercheurs de cette compagnie espèrent porter le taux de survie à plus de 50 pour cent. Le perfectionnement de la technologie actuelle permettra non seulement d'améliorer les races de bestiaux domestiques, mais également d'ouvrir un marché mondial aux embryons de bovins canadiens.



## Des contraceptifs masculins

Un professeur à l'Université de Western Ontario pourrait bien avoir découvert le contraceptif masculin tant cherché — efficace à cent p.100 et dénué d'effets secondaires. Le Dr John Wiebe était à la recherche de substances susceptibles d'induire la puberté quand il constata que l'administration de faibles doses d'une certaine molécule (environ 140 microgrammes) à des rats mâles inhibait totalement la production de spermatozoïdes. L'effet contraceptif était absolu après une seule injection dans chaque testicule de l'animal. En effet, après quatre accouplements sans doute pour éliminer complètement les spermatozoïdes contenus dans les organes reproducteurs (canaux déférents), les animaux traités présentaient une stérilité totale. Par ailleurs, certains paramètres physiologiques et du comportement comme, par exemple, le taux hormonal et la fréquence de l'activité sexuelle, ont été mesurés chez ces animaux et comparés à ceux d'un groupe



témoin et les résultats obtenus ont prouvé qu'il n'existait aucune différence entre les deux groupes.

D'après le Dr Wiebe, cette substance contraceptive (qui ne sera pas identifiée avant qu'une demande de brevet ne soit déposée) agit spécifiquement sur les cellules productrices de spermatozoïdes et ne semble pas affecter les autres tissus.

En outre, ce n'est pas une toxine. Son administration pourrait remplacer la vasectomie qui est la seule méthode de stérilisation masculine actuellement réalisable et, partant, éliminer les troubles associés à la récupération post-opératoire, la pression interne exercée sur le système reproductif et les risques de réaction auto-immunitaire qui accompagnent cette intervention. En fait, chez le sujet vasectomisé, la réabsorption des spermatozoïdes peut déclencher une réaction du système auto-immunitaire qui risque de se traduire par une allergie à ses propres spermatozoïdes.

Outre son application aux êtres humains, ce nouveau produit pourrait également servir à la régulation de la reproduction chez certains animaux domestiques. On prévoit de l'administrer bientôt à titre expérimental à des singes et, plus tard, à des volontaires. Pour l'instant, le Dr Wiebe tient surtout à démontrer que son effet est réversible ou, plus précisément, que l'effet d'une injection ne dure que quelques mois.

## L'énigme des quasars

L'année 1983 commémorait le vingtième anniversaire de la "découverte" des quasars, objets brillants de grande énergie dont la mécanique échappe toujours aux astrophysiciens. Toutefois, John Hutchings, de l'Observatoire fédéral d'astrophysique du CNRC, à Victoria, a colligé de nombreuses observations qui lui ont récemment permis d'établir une relation entre les trous noirs et l'énergie intense rayonnée par les quasars.

Alors que ces derniers avaient été assimilés à des "radio-étoiles" lors de leur découverte peu après la Seconde Guerre mondiale, l'on démontra en 1963 qu'il s'agissait plus que de simples étoiles "floues". Leur luminosité, disproportionnée par rapport à leur distance (évaluée à plus de trois milliards d'années de lumière), et leurs contours vagues laissaient supposer que c'étaient des galaxies lointaines. Mais, s'il s'agit réellement de galaxies, leur luminosité dépasse de beaucoup celle de n'importe quelle galaxie connue et les physiciens n'ont pu expliquer jusqu'ici comment ces objets peuvent émettre un rayonnement aussi intense.

Selon Hutchings, qui est membre de l'équipe qui a récemment détecté deux trous noirs dans le Grand Nuage de Magellan, la mécanique des trous noirs pourrait nous fournir la clé du mystère. Les trous noirs sont de minuscules boules de matière (10 dm), de densité incroyablement élevée, qui attirent la matière environnante et même la lumière en leur centre. Au moment où la matière

approche du trou noir, elle décrit une spirale autour de l'objet, formant ce que l'on appelle un "disque d'accrétion". Par suite des collisions à très grande vitesse qui surviennent au sein de ce disque, la matière s'échauffe et émet un rayonnement caractéristique dans le domaine de l'ultraviolet et des rayons X. En présence d'un champ magnétique intense, une par-



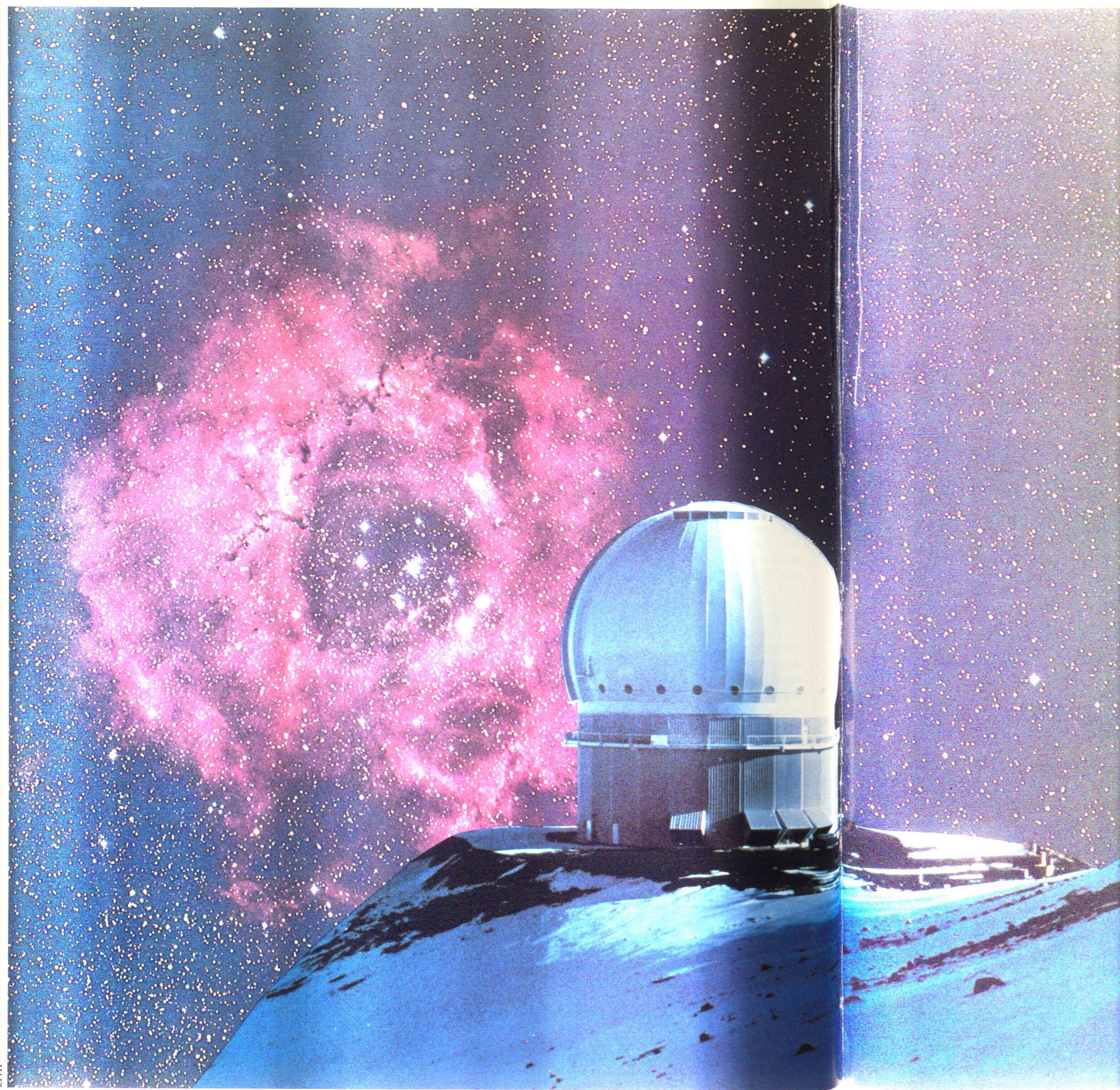
tie de cette matière est piégée le long des lignes de force et précipitée dans l'espace sous forme de jets de plasma. Certains quasars présentent de tels jets (tout comme certains objets stellaires proches), d'où l'hypothèse, avancée par Hutchings, que des trous noirs massifs sont à l'origine de la très grande "lumino-

sité" des quasars à de nombreuses longueurs d'onde.

Ce dernier fait remarquer qu'un tel objet épuiserait rapidement le combustible disponible sous forme de gaz et de poussières dans le milieu avoisinant. D'autres quasars, associés à des galaxies voisines, utiliseraient ces compagnons comme source de combustible. La matière interstellaire ou intergalactique invisible constituerait une autre source d'énergie pour les quasars. Toutefois, ce combustible n'est pas inépuisable et le nombre de quasars visibles va en diminuant, ce qui donne à penser que ces objets se sont probablement formés très tôt dans l'histoire de l'univers. Selon cette hypothèse, les galaxies associées à des quasars seraient, contrairement aux galaxies "normales", composées de groupes d'étoiles jeunes, puisque celles-ci sont plus susceptibles de former des trous noirs massifs et donc d'alimenter les quasars en énergie.

Bien que ce modèle ne soit pas accepté par tous les astronomes (certains prétendent que les quasars sont plus près de nous que nous ne le supposons), Hutchings croit que ses observations sur les trous noirs lui confèrent une validité certaine. Il faudra sans doute attendre le lancement du Télescope spatial en 1986 pour en avoir la confirmation. Grâce à sa capacité accrue pour la résolution d'images éloignées, celui-ci pourrait fournir des images révélatrices du noyau d'un quasar.





*Regardez les étoiles! Là-haut regardez, regardez les cieux!  
O voyez ce peuple-de-feu, tout ce peuple juché en l'air!  
Ces faubourgs flamboyants, ces citadelles circulaires!  
Ces puits de diamant enfouis aux bois ombreux! Ces yeux de fée!*

Gerard Manley Hopkins, *Nuit d'étoiles*  
(trad. de Pierre Leyris)

# Des yeux pour voir

## L'astronomie terrestre au CNRC

par Bill Atkinson  
Adaptation française: Line Bastrash

Certaines études suggèrent que l'astronomie, loin de se limiter à la simple observation des étoiles, est peut-être l'activité scientifique la plus rentable; en effet, les techniques mises au point pour détecter les faibles photons célestes ont trouvé des applications ultérieures dans le domaine de la télédétection et de la défense. L'astronome n'obéit toutefois pas à des mobiles aussi terre-à-terre: il est souvent mû par le même sentiment d'émerveillement que nous ressentons parfois lorsque nous contemplons la voûte étoilée. "L'astronomie ne vous fera ni riche ni puissant", nous confie un astrophysicien du Conseil national de recherches, "seulement un peu plus heureux."

Les gens semblent être sensibles à cet argument puisque ce sont généralement les fonds publics qui appuient la recherche en astronomie dont le budget, quoique faible si on le compare à celui de la santé ou de la défense, est tout de même important. Comme un article qui vise à faire le point sur la recherche dans ce domaine ne peut être exhaustif, nous nous contenterons d'examiner, dans le cadre de cette série de deux articles, quelques-uns des projets d'astronomie

terrestre en cours au CNRC: le présent article porte sur l'astronomie optique, le prochain (n° 3 de 1984) traitera de la radioastronomie.

*Mauna Kea, Hawaïi.* C'est la plus grosse montagne du monde: haute de plus de 9 000 m, dont 4 200 m au-dessus du niveau de la mer, elle s'élève en pente douce jusqu'au sommet d'un volcan éteint. Là, à l'intérieur d'une enceinte hémisphérique de 32 m de diamètre, le Dr René Racine, directeur du Télescope Canada-France-Hawaïi, et son visiteur discutent au milieu du murmure des machines. Bien qu'ils se trouvent bien au sud du tropique du Cancer, ils portent tous deux des vestes molletonnées. Au-dessus d'eux, la coupole d'acier s'ouvre sur un ciel froid rempli d'étoiles. Le télescope, constitué d'un assemblage de miroirs, d'engrenages et de poutrelles, tourne sur lui-même avec une précision d'horlogerie, et s'arrête. Le Dr Racine explique à son visiteur: "Il s'agit d'un emplacement idéal pour un télescope optique terrestre. Nous nous trouvons à une altitude si élevée que les nuages se forment en dessous de nous et servent à masquer les lumières de l'île, plus bas. La couche atmosphérique située au-

Sur ce collage de l'artiste, la coupole du Télescope Canada-France-Hawaïi se détache de l'arrière-plan représenté par une image de la nébuleuse de la Rosette dans la constellation de la Licorne.



dessus de nous est si claire et sèche que même le rayonnement infrarouge la franchit sans difficulté. Et nous sommes situés si près de l'équateur que nous pouvons observer la presque totalité du ciel dans les deux hémisphères: seules les poussières provenant d'une éruption volcanique quelque part dans le monde peuvent obscurcir notre ciel. Le Télescope Canada-France-Hawaii bénéficie des meilleures conditions d'observation que l'on puisse trouver sur Terre. Seuls les télescopes spatiaux sont mieux avancés."

Si c'est à l'un de ces heureux hasards de la nature que l'on doit d'avoir un site

de 42,5%. Le Canada a été chargé du polissage du miroir primaire de 366 cm et d'autres éléments optiques, de la conception du support du miroir primaire (l'une des tâches les plus astreignantes), de la conception et de la fabrication de l'entraînement assisté par ordinateur du télescope et de son système de commande ainsi que de la construction de la coupole protectrice. Depuis 1979, les qualités optiques exceptionnelles et l'instrumentation perfectionnée du TCFH permettent aux astronomes de sonder les coins les plus reculés de l'univers.

Que voient-ils?

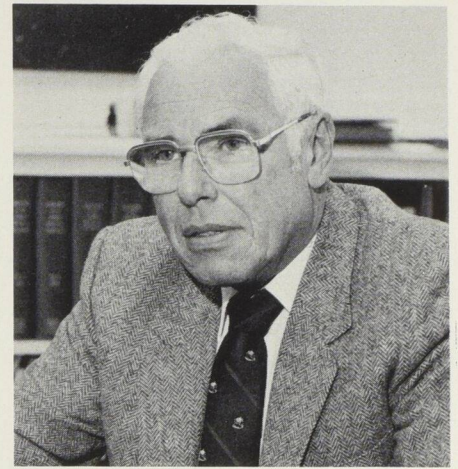


La nébuleuse du Crabe, un reste de supernova. Son noyau est constitué d'une étoile à neutrons, ou "pulsar", qui fut d'abord détectée grâce à ses émissions radio.

de la qualité de celui du Mauna Kea, son choix pour la mise en place d'un des plus grands télescopes du monde est, par contre, l'aboutissement d'une étude minutieuse. Il y a quinze ans, le Canada et la France projetaient chacun de leur côté de construire un observatoire optique; lorsqu'ils ont réalisé que leurs buts étaient semblables, ils ont décidé d'unir leurs efforts. Un comité a identifié le Mauna Kea comme étant un site idéal: sa "résolution optique" (l'excellence de l'image permise par les conditions atmosphériques prévalant au-dessus de l'ancien volcan) est l'une des meilleures du monde. L'État d'Hawaii a fait don du site en échange de 15% du temps d'observation du nouveau télescope; la France et le Canada bénéficient chacun

L'un des phénomènes qu'on ne peut observer que dans l'espace lointain est l'objet quasi stellaire, ou quasar. Le Dr Racine nous explique: "Comme leur nom l'indique — radiosource quasi stellaire — les quasars ont été détectés tout d'abord grâce à leur rayonnement radio. Il s'agit là d'une démarche type: les étoiles à neutrons et les systèmes binaires des trous noirs ont également été découverts grâce à leurs émissions aux longueurs d'onde de l'invisible. Une fois que celles-ci ont été détectées, les astronomes tentent de repérer leur manifestation visible aux mêmes coordonnées célestes. Dans le cas des quasars, ce que nous avons découvert est tout simplement fascinant.

"Les quasars sont si petits, et si faibles optiquement parlant, qu'on les confondait autrefois avec les étoiles. Mais, contrairement aux étoiles, leur spectre est fortement 'décalé vers le rouge', et nous en déduisons que la distance qui



Le Dr Jack Locke, directeur de l'Institut Herzberg d'astrophysique du CNRC.

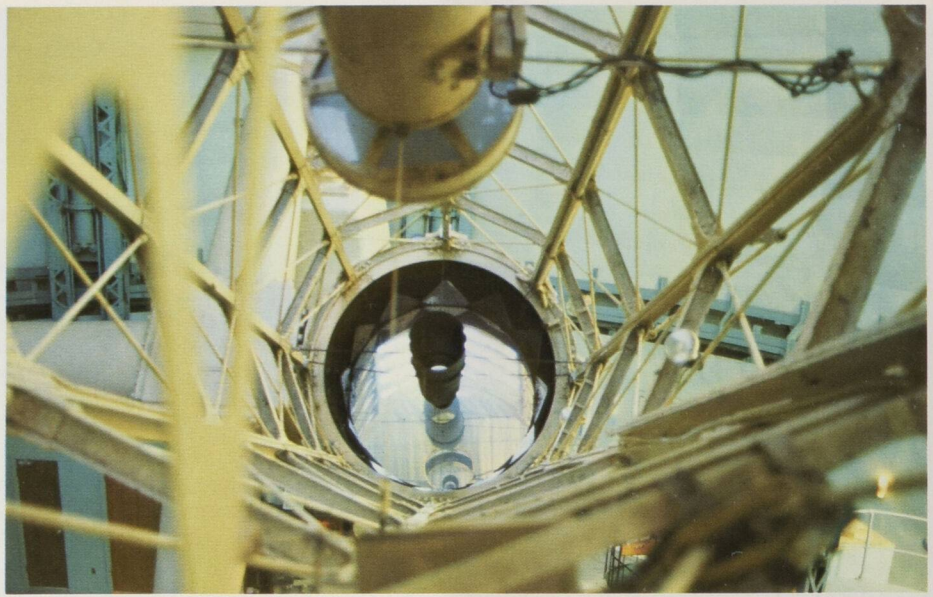
nous en sépare peut atteindre 14 milliards d'années-lumière. Les quasars ne mesurent que quelques années ou quelques mois-lumière de diamètre mais, s'ils sont vraiment aussi éloignés que le laissent supposer leur spectre, cela signifie que chacun d'eux émet plus d'énergie que des milliards d'étoiles normales. Il s'agit là d'une énigme fondamentale: malgré leur taille relativement minuscule ils émettent plus d'énergie que des galaxies entières. Il existe, au sein de ces objets, une source d'énergie absolument phénoménale dont la fusion thermonucléaire, qui constitue la source d'énergie des étoiles, ne peut rendre compte à elle seule. Pour expliquer ce phénomène, certains théoriciens ont proposé des modèles faisant appel à des trous noirs." Quelle qu'en soit l'explication, des astronomes en visite au TCFH ont récemment obtenu des images de quasars de très haute résolution et confirmé une hypothèse antérieure: les quasars seraient le noyau d'anciennes galaxies.

Pourquoi anciennes? Les photons voyagent dans l'espace à environ 300 000 km/s, soit à une vitesse instantanée si on la compare à notre échelle de temps quotidien mais à une allure de tortue lorsqu'on considère les distances énormes de l'espace. Ainsi, un photon prend environ une seconde pour atteindre la Lune et quatre heures pour se rendre à Pluton; il croisera la galaxie M31, jumelle de la nôtre, au bout de deux millions d'années. Mais même ce trajet ne représentera que moins de un cinquantième de un pour cent de la distance qui nous sépare de certains quasars! Lorsque nous partons aussi loin dans l'espace, nous remontons dans le temps à une époque antérieure à la formation de la Terre.

Pourquoi sonder un infini aussi lointain? Tout simplement parce que les humains ont besoin de savoir.



L'astronomie, comme toute autre science d'ailleurs, satisfait ce besoin grâce à une démarche en deux temps. Tout d'abord, des observateurs recueillent des données. Puis des théoriciens (qui n'auront peut-être jamais manipulé d'instruments) combinent ces observations avec d'autres données provenant parfois de disciplines apparemment non reliées et avancent des hypothèses vérifiables pour expliquer les phénomènes observés, relançant la balle dans le camp des observateurs. C'est un cycle perpétuel de faits-théorie-faits qui s'est avéré extrêmement productif dans le domaine de l'astronomie moderne. Au cours des 80 années qui se sont écoulées depuis la publication de la théorie de la relativité d'Einstein, l'astronomie a avancé avec une assurance étonnante dans des domaines où les philosophes et les théologiens piétinent, jetant littéralement la lumière sur des questions éternelles: Qui sommes-nous? D'où venons-nous? Où allons-nous? Ces questions, et leurs réponses, relèvent ultimement de l'esprit, car l'astronomie est faite autant d'idées que d'équipement. Même le Télescope Canada-France-Hawaii n'est qu'un moyen de parvenir à cette fin, un instrument perfectionné servant à recueillir des données.



Bruce Kane

*Little Saanich Mountain, C.-B.* À des milliers de kilomètres à l'est d'Hawaii, les bâtiments blancs de l'Observatoire fédéral d'astrophysique (OFA) du CNRC s'élèvent sur une hauteur qui lui confère une vue exclusive sur l'océan Pacifique et le ciel. L'OFA a participé à la conception et à la fabrication de ce télescope (TCFH) et lui fournit actuellement à la fois des instruments et des astronomes pour les utiliser. Selon le Dr Sidney van den Bergh, la recherche à l'Observatoire d'astrophysique porte sur trois domaines en particulier: l'âge de l'univers, les amas stellaires et les étoiles doubles.

"L'étude des étoiles doubles est particulièrement féconde, nous confie van den Bergh, car elle nous amène à

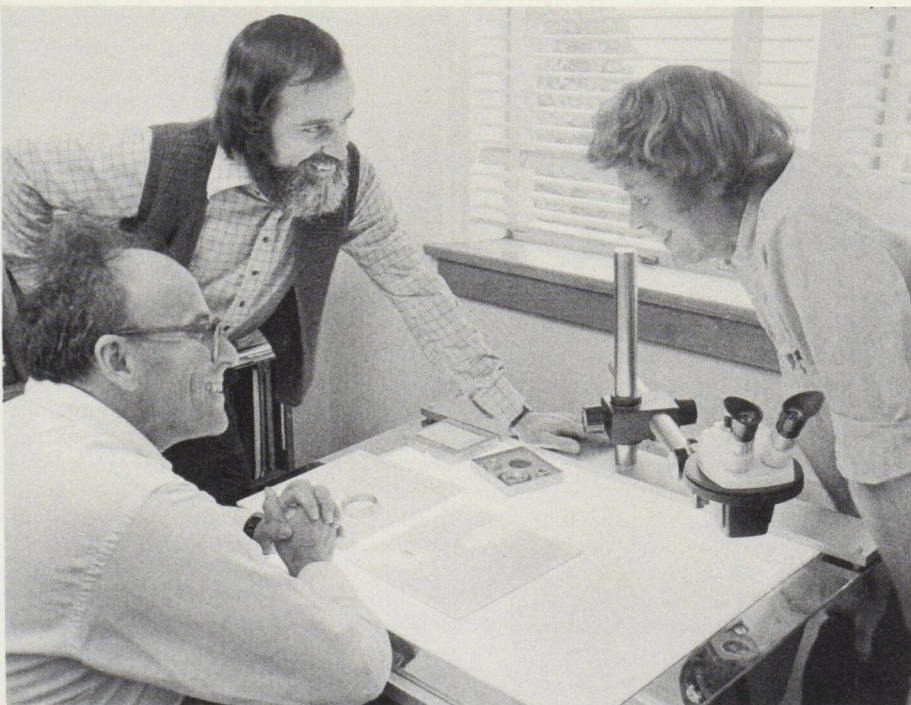
*"Les yeux bioniques" de l'astronomie optique moderne sont fournis par des télescopes à réflexion géants. Pour alléger leur poids, leur tube est constitué d'un treillis de poutrelles, comme celui du TCFH de 3,6 m montré ici.*

explorer certains des domaines les plus intéressants de l'astronomie contemporaine. Les gens se représentent généralement les étoiles comme des objets isolés, ou groupés au sein de galaxies, mais il semble que la plupart des étoiles de la Voie lactée possèdent un compagnon, même si celui-ci est parfois très éloigné. Notre Soleil, qui est seul, constitue peut-être en cela une exception. L'existence de ces compagnons pourrait expliquer, entre autres, le phénomène des étoiles variables, appelées novae."

Une nova, ainsi que nous l'explique van den Bergh, est une étoile qui se consume en suivant un cycle qui peut s'étendre sur des milliers d'années: son éclat est tantôt intense, tantôt faible, et intense de nouveau. "La plupart, et probablement la totalité, de ces novae sont constituées de systèmes d'étoiles binaires", poursuit-il. "Au sein de tels systèmes, une étoile petite, massive et de faible éclat dérobe périodiquement de la matière à sa compagne plus grande et plus lumineuse, amenant une élévation de température qui la rend incandescente en surface. Ce phénomène a fait croire aux premiers astronomes qu'il s'agissait d'une *stella nova* — une nouvelle étoile."

Une nova appartenant à un système binaire peut avoir plusieurs types de petites compagnes, ce qui s'explique par la théorie de l'évolution des étoiles. "Les étoiles se forment par suite de la contraction des gaz et des poussières de la matière interstellaire", explique van den Bergh. "Le centre de cette région en con-

*Quelques-uns des astronomes de l'Observatoire fédéral d'astrophysique. De gauche à droite: les Drs Sydney van den Bergh, David Crampton et John Hutchings. Les Drs Crampton et Hutchings ont récemment triplé le nombre de trous noirs connus.*



NRC



## DES YEUX BIONIQUES

"Depuis les débuts de l'astronomie jusqu'à il y a environ une centaine d'années, les observateurs ont dû s'en remettre entièrement à l'œil humain", nous confie le Dr Paul Feldman, astronome à l'Institut Herzberg d'astrophysique du CNRC.

"Puis ils ont eu recours aux émulsions photographiques, qui leur ont permis d'obtenir, par surexposition, une image permanente d'objets de très faible luminosité. Mais ces émulsions ont certaines limites. Au-delà d'un certain point, elles se saturent et n'enregistrent plus les photons."

Le Dr Jack Locke, directeur de l'institut, ajoute: "Les émulsions sont également sujettes au 'défaut de réciprocité', ce qui veut dire qu'elles deviennent moins sensibles à mesure que la période d'exposition se prolonge.

nouveaux détecteurs, les émulsions photographiques ne font pas le poids. Durant la deuxième moitié de 1982, elles n'ont été utilisées que par un seul observateur au Télescope Canada-France-Hawaii."

Si un télescope optique peut être comparé à un œil énorme, alors les détecteurs de photons situés dans son foyer constituent sa rétine. Selon Feldman, l'association de ces détecteurs et des nouvelles techniques apportées par la microélectronique a entraîné une révolution dans le domaine de l'astronomie optique. "Les détecteurs électroniques ont fait plus pour l'astronomie optique terrestre que tout autre progrès isolé au cours des trente dernières années", d'ajouter Feldman.

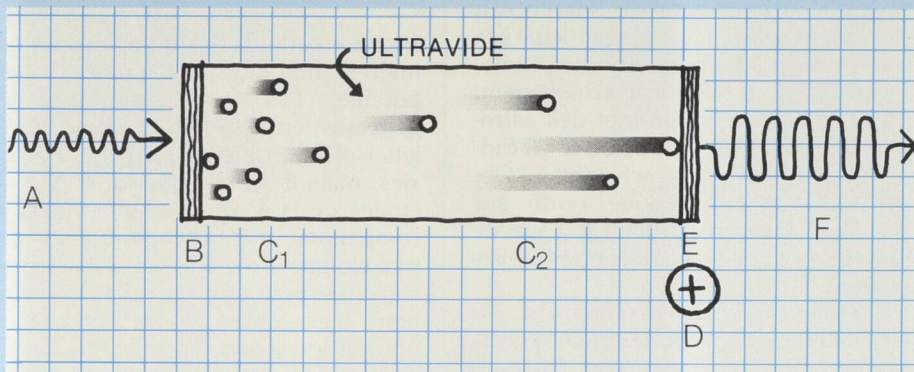
Selon les spécialistes de l'astronomie optique, un détecteur doit idéalement remplir trois fonctions. Premièrement, il doit être "linéaire", c'est-à-dire que l'image qu'il fournit après six heures d'exposition devrait être six fois plus brillante que celle obtenue après une

Les *détecteurs de rayonnement infrarouge* mesurent le rayonnement infrarouge, qui se manifeste sous forme de chaleur rayonnée. Les *bolomètres* permettent d'afficher ce rayonnement sous forme analogique; en effet, les photons absorbés provoquent, dans le milieu de détection, un changement physique qui peut être mesuré. (Un thermomètre domestique est un exemple de bolomètre: l'alcool ou le mercure qu'il contient absorbe les infrarouges, se dilate et s'élève de façon visible à l'intérieur d'une colonne graduée.) Un autre type de détecteur d'infrarouges est la *photodiode*, constituée d'un détecteur à semiconducteurs à base de terres rares comme l'antimoniure d'indium. Tout comme les bolomètres, les photodiodes fournissent une image analogique qui, mise sous forme numérique, peut être traitée à l'aide d'un ordinateur.

Il existe également des techniques qui permettent de *multiplier* les photons, techniques qui s'avèrent utiles lorsque le temps écoulé entre le passage de photons en provenance d'une source lumineuse très faible peut être de plusieurs secondes!

Les *caméras électrographiques* reçoivent les photons sur une plaque photocathodique: les photons "se débarrassent" de leurs électrons dans le vide créé derrière cette plaque, tandis qu'un champ électrique les accélère vers un détecteur. Les électrons ont alors une force beaucoup plus grande et sont plus aisément enregistrés que les photons initiaux n'auraient pu l'être. Un appareil plus perfectionné permet maintenant de reconvertir les électrons accélérés en photons grâce à une surface phosphorescente semblable à celle d'un écran de télévision.

Les *vidicons* sont des caméras de télévision à balayage lent. Les photons sont dirigés vers une plaque qui les convertit en impulsions électroniques en les "filmant" à l'aide d'un faisceau d'électrons. (On utilise des caméras à balayage lent de ce type pour transmettre des épreuves photographiques aux journaux.) Les vidicons utilisés en astronomie doivent capter des signaux lumineux très faibles et il leur faut donc beaucoup de temps pour accumuler une seule "épreuve". C'est grâce à des vidicons embarqués à bord des sondes planétaires américaines que nous ont été transmis des gros plans spectaculaires de Saturne et de Jupiter. Les vidicons ne sont toutefois pas encore largement utilisés par les observateurs terrestres.



La caméra électrographique est également utilisée dans l'armée où elle remplace parfois les lunettes infrarouges pour la détection de nuit. Des photons (A), qui n'appartiennent pas nécessairement au domaine du visible, viennent frapper la surface de la photocathode (B) et se débarrassent de leurs électrons (C1) dans l'ultravide créé derrière celle-ci. Ces électrons sont alors accélérés par une plaque chargée positivement (D) et acquièrent une vitesse de plus en plus grande à mesure qu'ils s'éloignent de la surface photocathodique (C2). Ils vont s'écraser sur une surface phosphorescente (E) où ils sont "reconvertis" en photons (F), maintenant pourvus d'une énergie beaucoup plus grande qu'à leur arrivée (A).

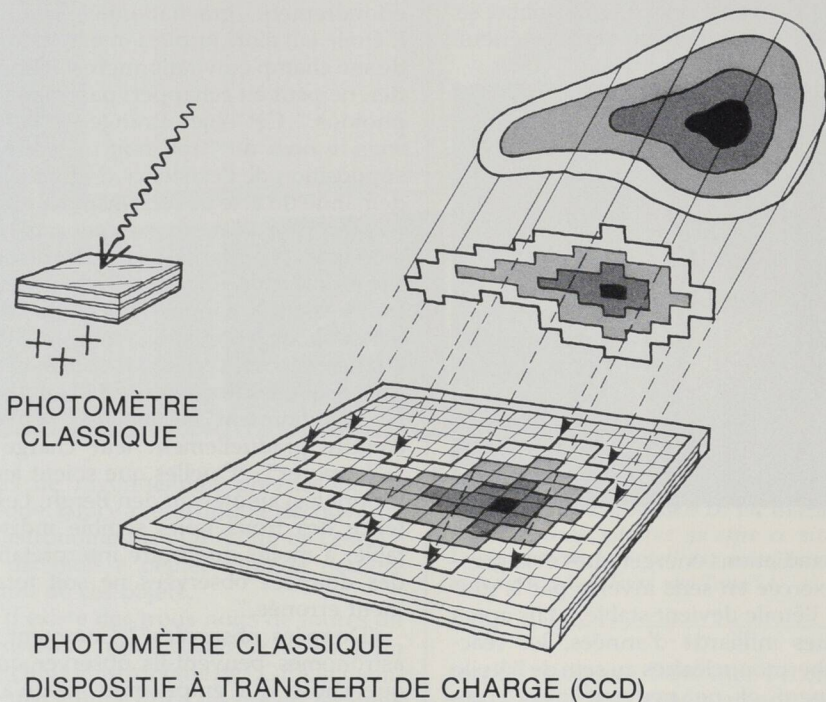
Évidemment, les émulsions ne vont pas disparaître. On peut les rendre sensibles à de nombreuses longueurs d'onde et elles offrent une résolution excellente; on peut également les fabriquer de dimensions assez grandes pour obtenir des images de larges portions du ciel. Mais, comparées aux

seule heure d'exposition; de plus, un détecteur parfaitement linéaire ne doit pas se saturer, contrairement à l'émulsion photographique. Deuxièmement, il doit produire aussi peu que possible de signaux parasites ou "bruit".

Troisièmement, un détecteur idéal doit être sensible à la fois à un photon isolé et à des milliards de ses semblables; cette propriété s'appelle la portée dynamique. Voici comment ces nouveaux détecteurs optiques fonctionnent.

Les *photomètres* comptent tout simplement les photons. Parmi les plus élémentaires des détecteurs électroniques, ils servent à déterminer la luminosité d'un point donné. Un photomètre unique ne suffit pas pour créer une image mais cela devient possible avec toute une batterie de ces détecteurs (voir plus loin la section portant sur les *dispositifs à transfert de charge*).



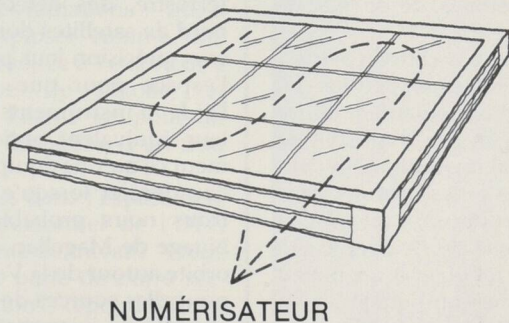


Carisse Graphics Design Ltd.

Comment fonctionne un dispositif à transfert de charge? Des semiconducteurs à couche mince sont conçus de façon à accumuler des charges électriques lorsqu'ils sont frappés par des photons (à gauche) — c'est le principe du photomètre. On juxtapose ces photomètres (à droite) pour former un dispositif à transfert de charge (CCD). Sur ce schéma simplifié, un objet céleste (A) projette sa propre image (B) sur la surface du dispositif à transfert de charge (C). Chacun des photomètres du dispositif fournit un élément d'image ou "pixel".

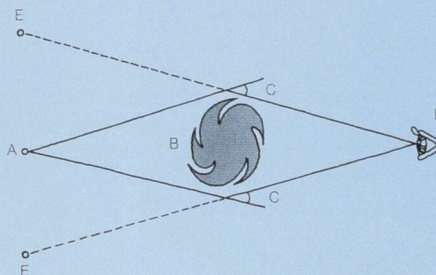
Les astronomes ont recours dans une très large mesure aux **dispositifs à transfert de charge**. Ils comptent parmi les plus complexes et les plus utiles de tous les nouveaux détecteurs. Fondamentalement, un dispositif à transfert de charge est constitué d'un réseau de photomètres: en effet, si vous mesurez l'éclat d'un nombre suffisant de petites portions contiguës du ciel, vous obtiendrez une image de cette région particulière du ciel. Cha-

que photomètre fournit un élément d'image ou "pixel"; un dispositif à transfert de charge peut contenir jusqu'à 250 000 pixels disposés au sein d'un réseau de 500 pixels de côté. Un tel dispositif permet même de réunir cette quantité incroyable de photomètres dans un espace plus petit qu'un timbre-poste, ce qui en fait un instrument utile pour l'étude de petites portions du ciel. (Présentement, il est encore préférable d'avoir recours à



Après un certain temps d'exposition, le dispositif achemine les charges de chacun des pixels vers un numériseur qui transmet l'information enregistrée à un ordinateur.

l'émulsion photographique pour obtenir des images de grandes régions du ciel.)



Exemple d'une lentille gravitationnelle, dont l'existence a récemment été confirmée grâce à des dispositifs à transfert de charge ultrasensibles. La lumière provenant d'un quasar éloigné (A) est réfractée par une galaxie située sur sa route (B) selon un angle donné (C). L'observateur (D) voit alors deux images du quasar de part et d'autre de la galaxie (E).

Comment fonctionne un dispositif à transfert de charge? Comme de nombreux instruments modernes, les dispositifs à transfert de charge font appel à la technologie de la microélectronique et, plus précisément, au même type de semiconducteurs à couche mince utilisé pour produire de l'électricité directement à partir de la lumière. Dans les deux cas — cellules photovoltaïques et dispositifs à transfert de charge — les photons déplacent des électrons et accumulent une charge électrique.

Lorsque l'image du télescope est focalisée sur un dispositif à transfert de charge, les régions claires de l'image produisent une plus grande accumulation de charges électriques sur un pixel donné, tandis que les régions sombres produisent une charge moindre. Au bout du temps d'exposition maximal permis par les éléments (un dispositif à transfert de charge est parfaitement linéaire), on peut "lire" le dispositif en acheminant chacune de ses charges le long de pixels adjacents vers un convertisseur analogique/numérique qui transmet les données obtenues à un ordinateur pour qu'il puisse les interpréter et en tirer une image analysable par l'astronome.

Toutefois, quelle que soit la façon dont les dispositifs à transfert de charge fonctionnent, c'est surtout leur résultat qui est important en astronomie. Ce sont des détecteurs presque parfaits. En plus d'être linéaires, ils peuvent être conçus de façon à être sensibles à différentes longueurs d'onde optiques.

Contrairement à l'oeil humain, les pixels d'un dispositif à transfert de



charge sont assez sensibles pour enregistrer des photons isolés, sans toutefois être surchargés par l'arrivée en masse de nombreux photons. Et, à l'instar des autres types de détecteurs, les dispositifs à transfert de charge produisent une image analogique qui peut être facilement convertie sous forme numérique pour être traitée par un ordinateur ultrarapide. Il s'agit là d'une caractéristique importante puisqu'une seule nuit d'observation peut fournir des informations équivalant à une bibliothèque de plusieurs millions de mots! Les dispositifs à transfert de charge seraient inutilisables si ces données ne faisaient pas l'objet d'un traitement informatique systématique; c'est pourquoi ils sont associés à des ordinateurs puissants. C'est ainsi qu'ils ont permis d'affirmer récemment que les quasars sont la source d'énergie centrale de galaxies lointaines et de découvrir le premier exemple d'une "lentille gravitationnelle" dont on prédisait l'existence depuis longtemps. D'autres révélations ne devraient pas tarder.

Les OBTURATEURS ne sont pas des détecteurs en soi, mais des moyens qui permettent de choisir les photons qui atteindront le détecteur. Pourquoi être aussi capricieux alors que l'astronome a besoin de tous les photons qui sont à sa disposition? Il y a des moments où il est préférable de ne pas tenir compte de ce que vous voyez. Les astronomes du Télescope Canada-France-Hawaii, par exemple, ont mis sur pied un Programme orientée vers la haute résolution qui leur permet de réduire les effets de la turbulence atmosphérique grâce à un nouvel obturateur ultrarapide qui ne s'ouvre que lorsque l'image à la portée du télescope offre une définition supérieure à un minimum préétabli. Un second obturateur — celui-ci entièrement électronique — détermine si l'image, plusieurs fois grossie, "dérive" par suite de son passage à travers l'atmosphère et calcule instantanément le nouveau centre de l'image, ce qui équivaut, dans les faits, à "déplacer le regard" du télescope. Ces deux types d'obturateurs permettent de produire de nombreuses images offrant une définition élevée mais un faible éclat et que l'ordinateur superpose pour créer une image composite à la fois bien nette et brillante. Grâce à ces techniques, le TCFH a récemment atteint une résolution de 0,25 seconde d'arc, ce qui représente une fraction respectable du rendement obtenu à l'aide du télescope spatial et, jusqu'à présent, la meilleure résolution obtenue par un télescope sur Terre. ☾

Suite de la page 9

traction devient suffisamment chaud et dense pour amener la fusion de l'hydrogène en hélium, libérant un flux d'énergie. Avec le temps, un équilibre se crée entre le mouvement vers l'extérieur



de ces radiations énergétiques et la pression exercée en sens inverse par la gravité et l'étoile devient stable. Mais après quelques milliards d'années, les réactions thermonucléaires au sein de l'étoile diminuent et ne peuvent plus compenser la force d'attraction exercée par sa propre matière. L'étoile commence à s'effondrer de nouveau sur elle-même.

"Ce qui se passe ensuite dépend de la masse initiale de l'étoile. Si elle n'était pas trop grosse à l'origine, elle s'amenuise de plus en plus et perd son éclat pour finir par se stabiliser sous forme de naine blanche."

Les naines blanches sont les petites compagnes de la plupart des systèmes d'étoiles binaires: ce sont des étoiles denses, au comportement prévisible. Par contre, si l'étoile vieillissante qui a devancé l'apparition de la plus petite étoile d'un système binaire est d'une masse plusieurs fois supérieure à celle du Soleil, il peut arriver qu'elle se débarrasse violemment de son enveloppe extérieure lors d'une explosion catastrophique appelée *supernova* dont le bref éclat peut être aussi brillant que celui de toutes les autres étoiles de sa galaxie mises ensemble.

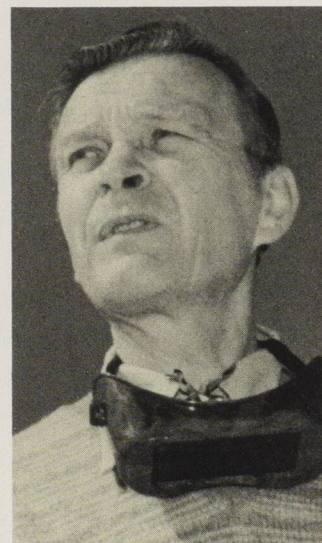
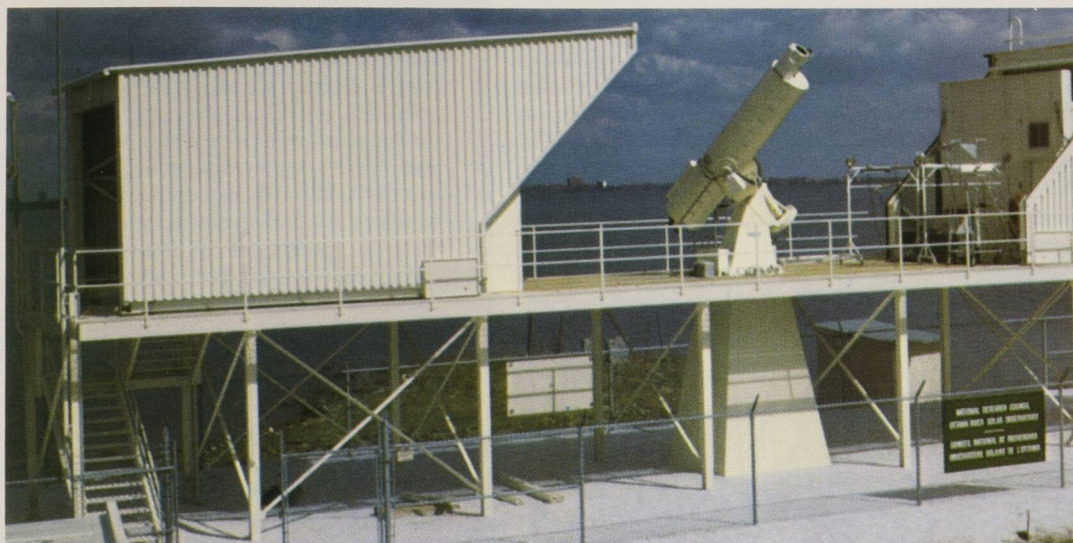
Le recul provoqué par cette explosion comprime ce qui reste de l'étoile qui passe ainsi à un état extrêmement dense dit de "matière dégénérée". Au sein de celle-ci, la force gravitationnelle fusionne les électrons et les protons pour former un "neutronium", ou milieu entièrement composé de neutrons. On peut comparer un tel objet à un noyau atomique unique mesurant quelques kilomètres de diamètre: un million de mètres cubes de matière au sein d'un tel objet pèserait plus lourd que toute la Terre. On appelle cet objet une étoile à neutrons.

Mais il existe des possibilités plus étranges encore. "Dans le cas le plus extrême, poursuit van den Bergh, même la matière dégénérée ne peut résister à un effondrement gravitationnel continu. L'étoile fait alors implosion et l'intensité de son champ gravitationnel est telle que rien ne peut en échapper, pas même les photons." Cet objet étrange est connu sous le nom de "trou noir". La simple supposition de l'existence d'un tel objet demande un acte de foi: ainsi, par exemple, le centre d'un trou noir pourrait contenir une "singularité", un point de densité infinie et de volume nul où les lois de la physique, comme nous les connaissons, ne s'appliqueraient plus. Plus étrange encore, certains théoriciens ont calculé que les trous noirs, au lieu d'attirer indéfiniment la matière, peuvent émettre graduellement leur charge et "s'évaporer". "Quelles que soient leurs propriétés, ajoute van den Bergh, l'existence des trous noirs semble indiscutable, à moins que notre interprétation des données observées ne soit totalement erronée."

"Données observées"? Comment les astronomes peuvent-ils observer quelque chose qui emprisonne jusqu'à la lumière? Les preuves de l'existence des trous noirs, bien que solides, sont indirectes: ici encore, la théorie vient à notre rescousse. On sait que le champ gravitationnel d'un trou noir attire la matière d'un objet situé dans son voisinage. Si ce trou noir fait partie d'un système stellaire binaire, il attirera la matière de l'étoile voisine, plus grosse. En approchant du trou noir, la matière dérobée à l'étoile primaire amorce un mouvement spiral vers l'intérieur du trou noir — un peu comme l'eau qui s'engouffre dans la bonde d'une baignoire — et forme un "disque d'accrétion" qui atteint une température incroyablement élevée, émettant (entre autres photons) des rayons X, c'est-à-dire un rayonnement intense de très courte longueur d'onde.

Comme les rayons X font partie des photons qui sont filtrés par l'atmosphère terrestre, des détecteurs embarqués à bord de satellites doivent nous indiquer avec précision leur point d'origine dans l'espace pour que nous puissions, à l'aide d'instruments au sol, identifier leur équivalent optique. C'est précisément ce qu'une équipe de l'OFA a réussi l'an dernier lorsqu'elle a identifié deux trous noirs probables dans le Grand Nuage de Magellan, galaxie satellite en orbite autour de la Voie lactée. Ces deux nouvelles sources de rayons X, LMC X1 et LMC X3, viennent rejoindre Cygnus X1 (découverte il y a plus de dix ans) sur la courte liste des candidats au titre de trou noir, c'est-à-dire des objets ayant exactement la masse et les caractéristi-





Bruce Kane

Peter Bregg/CP Photo

ques de rayonnement prévues par la théorie. Grâce à cette double découverte, les astronomes de l'OFA ont, en l'espace de dix mois à peine, triplé le nombre connu de ces objets.

"Il existe des trous noirs de toutes dimensions", nous confirme le Dr John Hutchings, astronome de l'OFA et membre de l'équipe qui a découvert les deux nouveaux objets dans le Grand Nuage de Magellan. "Ceux que nous avons découverts au sein de systèmes d'étoiles binaires n'ont que quelques masses solaires. Toutefois, des trous noirs plus massifs encore pourraient être la source d'énergie des galaxies dites 'de Seyfert', tandis qu'un trou noir de cinquante millions de masses solaires serait nécessaire pour alimenter un quasar.

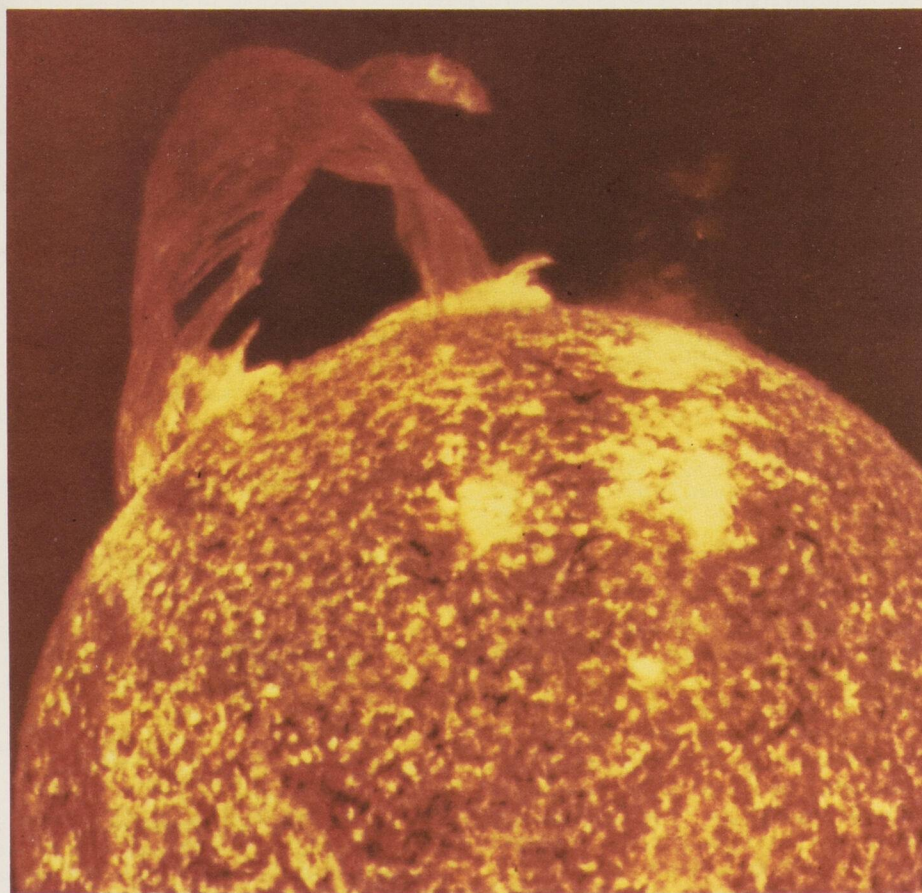
"Pourquoi avons-nous identifié ces trous noirs probables dans des galaxies jeunes comme le Grand Nuage de Magellan plutôt qu'au sein de galaxies spirales plus anciennes et plus stables comme la Voie lactée? Nous croyons que les étoiles plus jeunes du Grand Nuage de Magellan, composées presque entièrement d'éléments légers, laissent passer davantage les radiations. Lorsqu'une de ces étoiles commence à s'effondrer sur elle-même, la pression exercée par le flux des radiations — qui la ferait autrement exploser comme une supernova — est évacuée à l'extérieur à travers l'enveloppe de l'étoile, et l'effondrement de l'étoile se poursuit sans heurts vers la formation d'un trou noir."

À part ses voyages dans l'espace et le temps, à quoi le personnel de l'OFA occupe-t-il sa semaine de travail? "Nous n'avons pas encore parlé de notre section d'instrumentation", répond Sidney van den Bergh. "L'OFA conçoit et fabrique des spectrographes stellaires qui sont peut-être les plus perfectionnés du monde et il s'est acquis une excellente réputation dans la conception de télé-

*L'observatoire solaire de Shirley's Bay, à l'ouest d'Ottawa. Selon le Dr Vic Gaizauskas, "la résolution optique qu'offre ce site pour l'observation du Soleil est aussi bonne que n'importe où ailleurs sur Terre".*

scopes optiques. Bien que l'économie soit aujourd'hui généralement mal en point et que les projets de construction

de grands télescopes optiques terrestres soient peu nombreux, il se peut que l'Arabie saoudite fasse prochainement appel à notre aide pour en construire un." Van den Bergh croit qu'il s'agit d'un projet tout à fait approprié pour ce pays puisque "c'est à l'Islam médiéval que l'on doit certaines des observations les plus précises faites avant l'apparition du télescope".



*Image du Soleil obtenue à l'observatoire de Shirley's Bay. La "fenêtre" de la raie alpha de l'hydrogène nous permet de voir la chromosphère surmontée d'une protubérance solaire en forme de panache. À cette échelle, la Terre est de la grosseur d'une tête d'épingle.*

NASA



## "DES SPECTRES QUI EN DISENT LONG"

*Des quasars s'éloignent à la moitié de la vitesse de la lumière!*

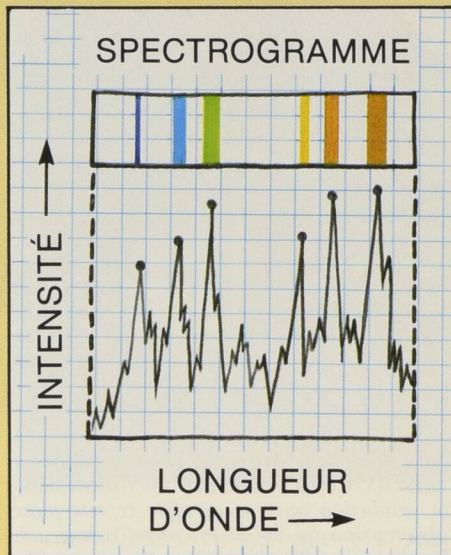
*Des chercheurs ont découvert des molécules lourdes dans l'espace!*

De pareilles manchettes sont devenues monnaie courante. Mais comment les astronomes peuvent-ils arriver à des conclusions aussi étonnantes au sujet d'objets situés à des milliards d'années de lumière? Souvent, ils se servent d'un instrument qui permet de séparer la lumière en ses diverses longueurs d'onde constitutives et qui s'appelle un spectrographe. Les spectrographes permettent aux astronomes de déterminer quels sont les atomes et les molécules qui émettent de la lumière, à quelle vitesse ils voyagent par rapport à la Terre et quelles autres particules ils ont rencontrées en route.

Ces renseignements sont fournis par des photons, particules ressemblant à une onde et qui transportent de l'énergie. Leurs longueurs d'onde varient de un dix-billionième de millimètre à dix mille kilomètres. Certaines des longueurs d'onde photoniques intermédiaires pénètrent dans l'atmosphère et atteignent la surface de la Terre; ce sont elles qui sont responsables des couleurs de l'arc-en-ciel, bien que celles-ci ne soient que la partie visible du spectre photonique, beaucoup plus large. Si nous reprenons l'image de l'arc-en-ciel, nous pouvons dire que les longueurs d'onde se continuent de façon invisible du côté rouge de l'arc vers le rayonnement infrarouge et les ondes radio, et du côté violet vers le rayonnement ultraviolet, les rayons X et les rayons gamma. Les photons situés du côté de l'arc violet ont des longueurs d'onde plus courtes, des fréquences plus élevées et une énergie plus grande que leurs contreparties situées du côté rouge de l'arc.

La plupart des sources de lumière naturelle sont un mélange de différents photons, chacun ayant une longueur d'onde spécifique. Les astronomes analysent ces longueurs d'onde isolées à l'aide de détecteurs de spectres spéciaux, sensibles à une seule fréquence; ils peuvent également les observer

toutes ensemble, ce qui est plus souvent le cas pour l'observation terrestre. Les données qu'ils obtiennent sont im-



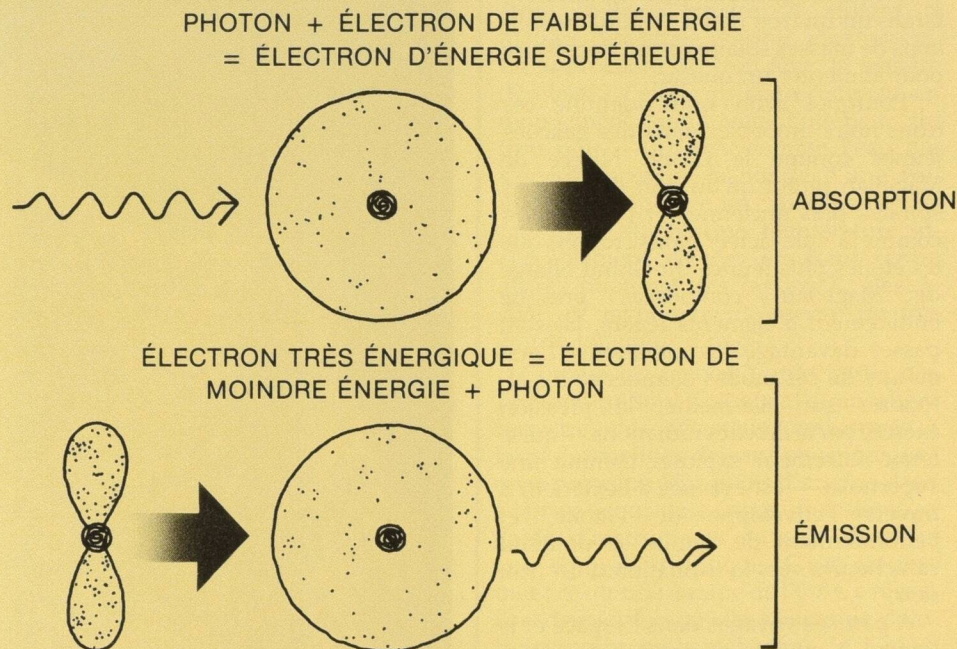
*Nous nous représentons communément un spectre d'émission comme une série de raies brillantes, c'est le spectrogramme. Toutefois, les astronomes modernes préfèrent représenter les spectres à l'aide d'un diagramme mettant en rapport la longueur d'onde et l'intensité.*

primées sous forme de graphique qui indique la longueur d'onde et l'intensité de tous les photons détectés et qui

correspond au "spectre" de l'objet pour l'astronome.

En théorie, nous pourrions obtenir un tel graphique pour n'importe quelle partie du spectre visible ou invisible; toutefois, dans le cas de l'observation terrestre, les astronomes préfèrent s'en tenir au spectre traditionnel formé de taches de couleurs pour deux raisons. Premièrement, les étoiles — l'objet le plus communément observé par les astronomes — émettent la plus grande partie de leur énergie dans le domaine du visible et de l'ultraviolet. Les rayonnements infrarouge et radio proviennent d'objets plus froids (souvent par réémission de l'énergie absorbée émanant d'autres objets), tandis que les rayons "durs", comme les rayons X, proviennent de sources de très haute énergie (les étoiles à neutrons, par exemple), lesquelles sont relativement rares. Deuxièmement, l'atmosphère est aussi opaque que du plomb à la plupart des photons. En résumé, toute l'astronomie terrestre est fondée sur les ondes radio, les ondes infrarouges, plus courtes, les ondes ultraviolettes, plus longues, et les ondes visibles (couleurs).

Une étude attentive d'un spectre, quelle qu'en soit la source, nous réserve une surprise additionnelle: il n'est pas toujours continu. Il présente souvent des trous, ou raies, à certaines



*Lors de l'absorption, un électron intercepte un photon et lui vole son énergie pour atteindre un niveau d'énergie plus élevé (en haut). Lors de l'émission, un électron transite vers un niveau d'énergie moindre et émet l'énergie ainsi perdue sous forme de photon (en bas). Les configurations représentent les "orbitales" de l'atome d'hydrogène, c'est-à-dire les régions où des électrons sont le plus susceptibles d'être présents.*



longueurs d'onde. Parfois, ces raies sont étroites. Le spectre du Soleil, par exemple, présente des milliers de "trous" semblables, où certains types de photons sont absents. À l'autre extrême, le spectre visible d'un tube fluorescent n'est constitué que d'une poignée de raies brillantes.

Que signifie tout cela? Toute forme de matière n'absorbe ou n'émet essentiellement que certaines longueurs d'onde lumineuses. Tout atome ou molécule, un atome d'hydrogène par exemple, n'absorbera que quelques-uns de tous les photons d'énergie qui lui parviennent; de la même façon, il n'émettra que quelques longueurs d'onde photoniques (pas nécessairement les mêmes que celles qu'il aura absorbées). Lors de l'émission lumineuse, l'électron transite vers un niveau d'énergie inférieur et libère un photon. Lors de l'absorption, un électron intercepte un photon et lui vole son énergie pour atteindre un niveau d'énergie plus élevé. Par conséquent, une raie d'émission spectrale, qui représente une quantité d'énergie lumineuse précise, indique à l'astronome qu'un grand nombre d'électrons de la source lumineuse ont transité de façon identique vers des niveaux inférieurs d'énergie quantique, tandis qu'une raie d'absorption lui indique que, quelque part entre la source et le spectrographe, un groupe d'électrons a rencontré un malheureux spectre et lui a volé tous les photons d'une certaine longueur d'onde qu'il possédait. Cette observation s'applique à toute source lumineuse, peu importe que celle-ci soit située à un centimètre ou à dix millions d'années de lumière de distance.

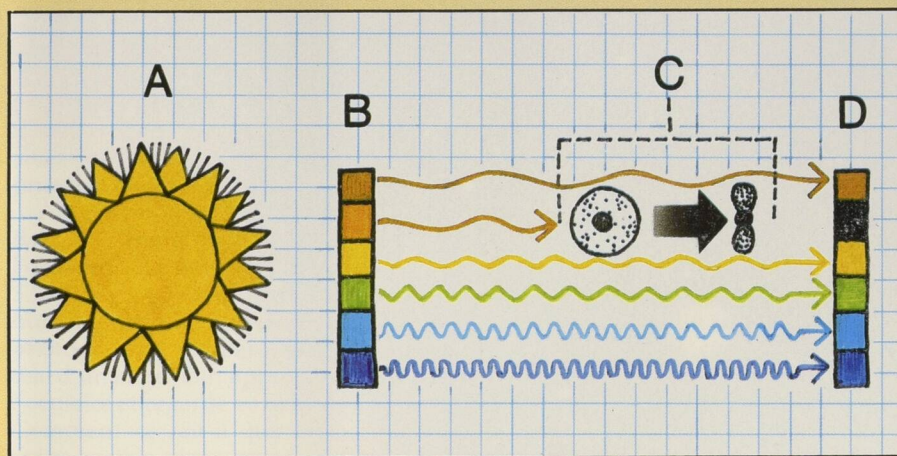
Ce qui intéresse particulièrement l'astronome est la configuration de ces raies d'émission ou d'absorption. Une raie unique lui fournit déjà une certaine information; une combinaison de telles raies constituent une véritable mine de renseignements. Il existe en effet un lien invariable entre la matière et la lumière: chaque type de matière possède un spectre unique. Ainsi, les spectres de deux tubes fluorescents identiques présentent la même configuration de raies brillantes lorsque ces tubes sont allumés; de même, ils présentent une configuration caractéristique de raies sombres lorsqu'ils sont éteints et traversés par une lumière blanche.

Les astronomes qualifient les spectres de "signatures" de la matière, et c'est bien ce qu'ils sont: des tracés sur un diagramme mettant en rapport la longueur d'onde et l'intensité qui révé-

lent infailliblement à la fois les substances qui émettent ces longueurs d'onde et les substances que celles-ci ont traversées. Toute substance qui émet ou absorbe des photons trahit ainsi sa présence aussi clairement que si elle avait signé son nom. C'est ce qui a permis aux astronomes d'annoncer la découverte de l'hélium vingt-sept ans avant que cet élément ne soit détecté sur Terre!

faire la preuve de la théorie d'un univers en expansion (loi de Hubble).

Les astronomes identifient la substance qui émet (ou absorbe) le spectre qu'ils viennent de détecter de la même façon que nous trouvons la signification d'un mot inconnu: en consultant un dictionnaire. Un dictionnaire de spectres porte le nom de base de données de référence. De telles bases de données énumèrent les spectres asso-



Les spectres d'absorption permettent de déterminer les substances rencontrées entre la source lumineuse et l'observateur. Une source idéale (A) émet un spectre continu de longueurs d'onde, chacune représentant un niveau d'énergie photonique précis (B). Certains de ces photons peuvent être "capturés" par des électrons rencontrés en route, l'énergie des photons étant alors utilisée par l'électron pour atteindre un niveau d'énergie plus élevé (C). Le spectre qui parvient à l'observateur (D) présente des raies sombres aux longueurs d'ondes ainsi dérobées; l'emplacement exact de ces raies trahit la substance traversée par les photons.

Ces spectres bavards permettent non seulement de mesurer la température de l'objet émetteur mais également de déduire la vitesse à laquelle il voyage à travers l'espace. En effet, les raies spectrales d'un objet sont décalées vers le violet si celui s'approche de nous, et vers le rouge s'il s'éloigne. L'ampleur de ce décalage nous indique la vitesse de l'objet.

Le "décalage vers le rouge" est sans doute la découverte la plus importante de l'astronomie moderne. Lorsque Einstein formula sa théorie de la relativité générale, ses équations semblaient décrire un univers en expansion; cela le stupéfia à un tel point qu'il refit ses calculs pour infirmer cette conclusion — il devait qualifier plus tard ce geste de "plus grande bourde de ma vie". En poursuivant leur analyse du décalage spectral vers le rouge, les astronomes ont découvert une corrélation entre la distance d'un objet et sa vitesse apparente de récession. Ils venaient de

ciés à des centaines de milliers de types de matière; la plupart de ces bases de données sont si volumineuses qu'elles doivent être informatisées.

Une "définition" spectrale est incluse dans une base de données après que des laboratoires, comme celui du Dr Gerhard Herzberg, ont déterminé avec précision quelles sont les longueurs d'onde émises ou absorbées par un atome, un ion ou une molécule donnée. Ils y parviennent soit en détectant un spectre inconnu et en l'identifiant, soit en prenant un échantillon pur d'un matériau connu et en déterminant ses raies d'absorption et d'émission. (Voir l'entrevue avec le Dr Gerhard Herzberg à la page 2.)







*Shirley's Bay, Ontario.* Le bureau du Dr Vic Gaizauskas ressemble à celui de n'importe quel astronome: bourré d'instruments et parcouru de câbles en tous sens, à peine peut-il y entrer. Ce n'est que lorsque Gaizauskas ouvre la porte de son *cagibi* que la différence apparaît: ici, pas de corridor à éclairage fluorescent mais une structure de métal extérieure recouverte d'une peinture blanche qui reflète le soleil de midi avec une clarté éblouissante.

Vic Gaizauskas appartient à une catégorie à part d'astronomes: il fait la plupart de ses observations le jour. Astrophysicien solaire, son objet d'étude est l'étoile-mère de la Terre, une naine jaune de type G2 que nous appelons le Soleil.

Le principal instrument qu'utilise Gaizauskas est celui qu'abrite l'observatoire solaire du CNRC, situé sur la rive sud de la rivière des Outaouais, à quelque vingt kilomètres de la colline parlementaire. Il s'agit d'un télescope solaire, protégé par un toit qui se déplace sur des rails et pointé sur des régions présélectionnées du disque solaire à l'aide d'ordinateurs. Selon Gaizauskas, la résolution optique qu'offre ce site pour l'observation du Soleil est aussi bonne que n'importe où ailleurs sur Terre.

lumineuse du ciel. De tous les types de photons que le Soleil, dans sa largesse, nous envoie, Gaizauskas ne s'intéresse toutefois qu'à ceux qui appartiennent à la "raie alpha de l'hydrogène". Cette longueur d'onde particulière est la signature des atomes d'hydrogène situés dans la chromosphère du Soleil, couche "atmosphérique" irrégulière que l'on peut distinguer à l'oeil nu au-dessus du disque solaire. Un filtre d'interférences à polarisation à l'intérieur du télescope ne laisse passer vers les capteurs qu'une étroite bande de longueurs d'onde concentrée dans la raie alpha de l'hydrogène. Si Gaizauskas désire un autre type d'information sur le Soleil — ses propriétés magnétiques, par exemple — il doit se servir d'autres instruments situés ailleurs dans le monde. (Voir le prochain *Dimension Science*, n° 2 de 1984.)

À l'observatoire solaire de Shirley's Bay, un visiteur peut placer son oeil sur l'oculaire et regarder directement le Soleil — de l'astronomie à l'échelle humaine comme autrefois. Comme les photographes d'antan, il se couvre la tête d'un linge noir, approche son oeil de l'oculaire et regarde — mais ne voit rien! Comment se fait-il que l'image soit à peine visible alors que le puissant té-

Cette surface courbe, ainsi que l'explique Gaizauskas, est le bord du disque solaire; le panache coloré est un énorme jet de gaz neutres appelé protubérance solaire; le fond noir n'est que l'espace au-delà. "C'est ainsi qu'un astronaute situé sur Mercure verrait le Soleil. Cette protubérance pourrait contenir cent fois la Terre." Et moi qui vous parlais d'échelle humaine!

Gaizauskas donne à l'ordinateur l'instruction de balayer la surface du disque solaire, et l'image observée dans l'oculaire se déplace par bonds de cent mille kilomètres à la fois, puis s'arrête sur un long filament lumineux d'un rouge encore plus vif que le reste de l'image solaire.

"Il s'agit d'une éruption solaire", poursuit Gaizauskas. "Nous pouvons l'observer présentement de face; elle est orientée directement vers nous. Les éruptions solaires sont intimement liées au magnétisme, comme d'ailleurs tous les phénomènes associés au Soleil. Nous essayons de mettre au point des modèles prévisionnels de ces éruptions en examinant ce qui se passe à la surface du Soleil juste avant leur apparition." Il est important, sur le plan pratique, de pouvoir prédire ces phénomènes. "De grosses éruptions solaires, en amplifiant le vent solaire, peuvent surcharger les réseaux électriques terrestres, perturber les télécommunications, modifier les orbites des satellites et activer les aurores boréales." C'est ainsi que, deux nuits plus tard, cette éruption particulière allait provoquer dans l'hémisphère nord des aurores spectaculaires dues à l'interaction de la magnétosphère terrestre et d'un vent solaire amplifié.

Bien qu'il n'ait exploré jusqu'ici qu'une fraction des travaux entrepris au CNRC dans le domaine de l'astronomie optique terrestre, le visiteur du Dr Gaizauskas perçoit maintenant différemment ce qui l'entoure. La rivière n'est plus une surface liquide mais le fond d'un océan d'air de 50 km. Le Soleil est plus qu'une simple source de lumière: il alimente en énergie l'atmosphère et la biosphère terrestres. Et le plus étrange dans tout cela, c'est que tout ce qui s'offre au regard — rivière, êtres, télescope, nuages — contient peut-être des restes de soleils explosés beaucoup plus anciens que notre Soleil! Les faits sur lesquels s'appuie cette théorie surprenante nous sont fournis par cette autre branche de l'astronomie terrestre: la radioastronomie, c'est-à-dire l'écoute des étoiles à l'aide de réflecteurs paraboliques géants. ☾



Gaizauskas n'a pas besoin des instruments perfectionnés de l'astronomie moderne pour détecter de faibles photons en provenance d'objets lointains: l'étoile qu'il observe est la plus

lscope est pointé sur le Soleil du midi en plein solstice d'été?

"Premièrement, nous expliquons Gaizauskas, la 'fenêtre' de la raie alpha de l'hydrogène ne représente qu'une fraction de tous les photons émis par le Soleil. Deuxièmement, nous avons atténué l'image perçue au niveau de l'oculaire pour qu'elle ne blesse pas la rétine. Continuez de regarder: votre oeil s'habitue à l'image."

C'est vrai, bientôt un panache rouge apparaît au-dessus d'une ligne courbe sur un arrière-plan d'un noir d'encre.

*La Grande Nébuleuse d'Andromède fait partie d'un amas de galaxies voisin de notre Voie lactée et connu sous le nom de Groupe local. Si l'on pouvait observer notre galaxie de l'extérieur, elle ressemblerait probablement à ceci: des centaines de milliards de soleils répartis dans une spirale ayant un diamètre de plusieurs dizaines de milliers d'années de lumière.*

À venir: Des oreilles pour entendre — la radioastronomie



# La modélisation des vagues océaniques

## Pour prévenir les désastres maritimes

par Stephen Haines

Adaptation française: Line Bastrash

**A**quelque 2 000 km à l'intérieur des terres, des ingénieurs canadiens ont reproduit à échelle réduite les effets des eaux agitées du Grand banc de Terre-Neuve et ils s'apprêtent à faire de même pour les eaux glacées de la mer de Beaufort. S'il le fallait, ils pourraient même reconstituer la côte californienne ou le bassin du Yucatan à l'intérieur des nouvelles installations de la Division de génie mécanique du CNRC, à Ottawa.

Ces installations, qui comprennent un bassin de simulation de vagues servant à l'essai de maquettes, sont actuellement utilisées pour étudier les incidents qui sont à l'origine du naufrage en mer de la plate-forme de forage *Ocean Ranger*, il y a deux ans. Elles permettent de combiner l'information recueillie sur les vagues au moyen de bouées océanographiques et d'autres instruments et les données

obtenues dans les souffleries du CNRC, et d'évaluer la tenue en mer de plates-formes de forage pétrolières fixes ou flottantes dans des conditions climatiques difficiles.

Selon Joe Ploeg, chef du laboratoire d'hydraulique du CNRC où se trouve le bassin de 30 m × 50 m, l'évaluation des plates-formes en eaux profondes revêt un caractère urgent. "Alors que la technologie moderne tend de plus en plus vers la miniaturisation, les industries pétrolière et gazière évoluent dans la direction opposée. La recherche de pétrole s'effectue dans des eaux toujours plus profondes. Pour en exploiter les ressources, les ingénieurs ont dû concevoir des installations de forage fixes ou semi-simmersibles de plus en plus grosses, qui ont parfois été mises en service prématurément. Ces installations nécessitent des essais plus poussés avant d'être

utilisées en eaux profondes", conclut Ploeg. Il ajoute que les nouvelles installations permettent de simuler, à l'échelle réduite, presque intégralement l'état de la mer à partir de données recueillies sur le vent et les vagues et de soumettre une maquette de plate-forme à des conditions extrêmes avant son utilisation en mer. Ces installations, qui sont parmi les plus modernes du monde, permettent même d'intégrer à ces simulations des données sur les courants océaniques pour obtenir une reproduction encore plus fidèle des conditions de la mer.

Les lents débuts de l'exploration pétrolière sur les fonds océaniques remontent au début du siècle, alors que sont apparues les premières installations de forage érigées à partir de jetées le long des plages californiennes. Les éléments endommagés par les tempêtes pouvaient être remplacés facilement et les ouvriers couraient très peu de risques. Ce n'est qu'après la Seconde Guerre mondiale que la première plate-forme autonome fut mise en place par 6 m de fond au large des côtes de la Louisiane. Ces premières tentatives ont été suivies par une période de développement intensif que la crise du pétrole du début des années 1970 allait accélérer. Aujourd'hui, on compte près de dix mille plates-formes de forage qui ont été ou sont en service, des latitudes moyennes aux mers polaires. Souvent situées en pleine mer, ces plates-formes sont exposées aux tempêtes et doivent parfois être évacuées d'urgence, entraînant des pertes de vie. Le naufrage de l'*Ocean Ranger* au large de Terre-Neuve en février 1982 est l'une des pires tragédies maritimes de l'histoire canadienne. Joe Ploeg estime que l'un des principaux buts des nouvelles installations est de maximiser la sécurité de telles structures.

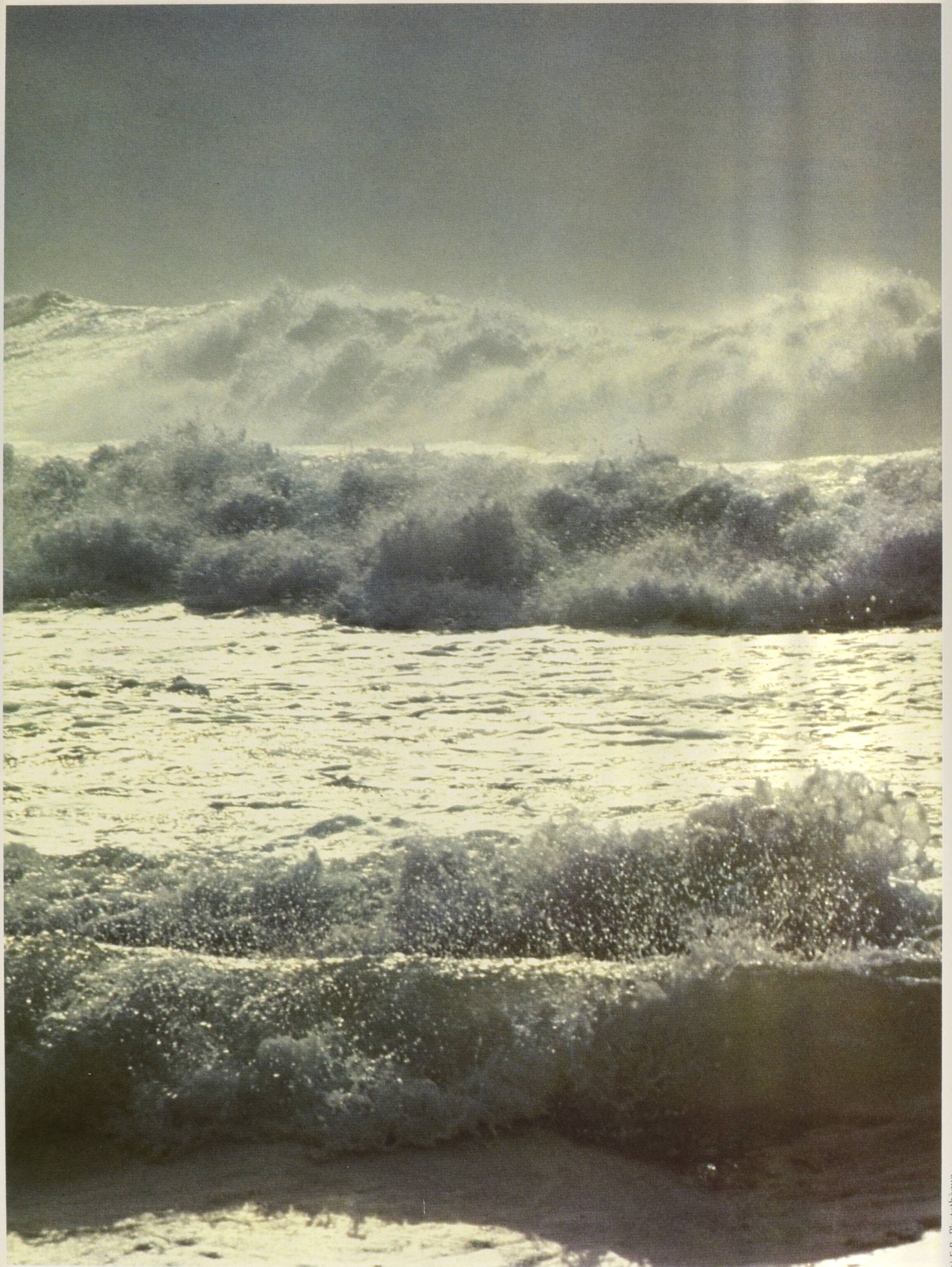
L'on possède actuellement très peu d'informations précises sur les caractéristiques des vagues en eaux profondes et les méthodes qui permettent de simuler ces vagues ne sont pas encore tout à fait au point. On a toutefois accumulé beaucoup de données sur les vagues au



Mansell Acres

Bjarni Tryggvason, de l'Établissement aéronautique national du CNRC, prépare une maquette de plate-forme de forage en vue des essais en soufflerie. Les données obtenues sur la dynamique du vent seront transférées à l'ordinateur du laboratoire d'hydraulique pour être utilisées lors des essais de simulation de vagues en eaux profondes.







cours des vingt dernières années grâce, principalement, aux enregistrements fournis par les nombreuses plates-formes fixes ou flottantes ancrées au large des côtes; ces enregistrements, associés aux études de laboratoire, ont permis d'améliorer considérablement les méthodes d'essais et les générateurs de vagues rudimentaires d'autrefois ont été remplacés par des instruments de haute technologie.

"La simulation de vagues dans un bassin d'essais s'appuie aujourd'hui sur une collaboration multidisciplinaire", explique Ed Funke, l'un des principaux chercheurs du laboratoire. "La conception mécanique du générateur de vagues, le modèle mathématique des vagues et le programme informatique qui associe ces deux éléments doivent être soigneusement intégrés au sein d'un système qui permet de produire des vagues et d'en vérifier simultanément la précision en vue de simuler, à l'échelle de la maquette, le mouvement apparemment désordonné des vagues océaniques, caractérisées par des niveaux d'énergie, des formes et des directions variés."

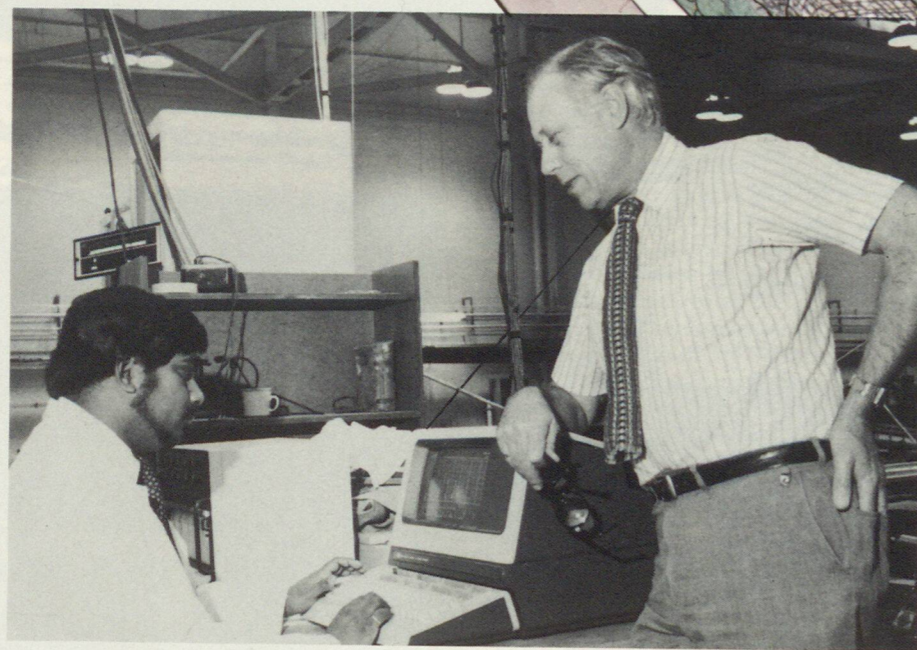
Mais la technologie n'a pas permis de résoudre tous les problèmes soulevés par la simulation de l'état de la mer. Un collègue de Funke, Étienne Mansard, décrit la controverse actuelle sur la simulation de vagues en laboratoire: "Les marins connaissent depuis longtemps le phénomène du 'regroupement des vagues', engendré par une suite de grosses vagues d'égale hauteur. Ces regroupements peuvent exercer une force considérable, déferlant à la surface des îles artificielles ou faisant osciller les plates-formes de forage comme une cloche. Pour reproduire les conditions qui donnent naissance à de tels groupements, nous devons adopter l'une ou l'autre des deux méthodes actuellement proposées." Mansard explique que la première de ces méthodes suppose que le mouvement des vagues est un processus entièrement aléatoire que le chercheur ajuste de façon à reproduire les données obtenues à partir d'observations en mer. Cette méthode nécessite que l'on simule des vagues pendant de longues périodes pour s'assurer que tous les regroupements de vagues et toutes les conditions possibles se présenteront. La deuxième méthode, appelée 'méthode déterministe', consiste à déterminer à l'avance les conditions à l'origine de tels regroupements, ainsi que d'autres paramètres importants, et à les reproduire de la façon la plus exacte possible. Cette méthode réduit considérablement le temps requis pour procéder aux essais et a l'avantage de privilégier la formation de vagues à des fréquences et à des niveaux

d'énergie qui intéressent particulièrement le chercheur. De conclure Mansard: "L'existence-même d'une telle controverse indique que la modélisation des vagues océaniques est une science encore imparfaite."

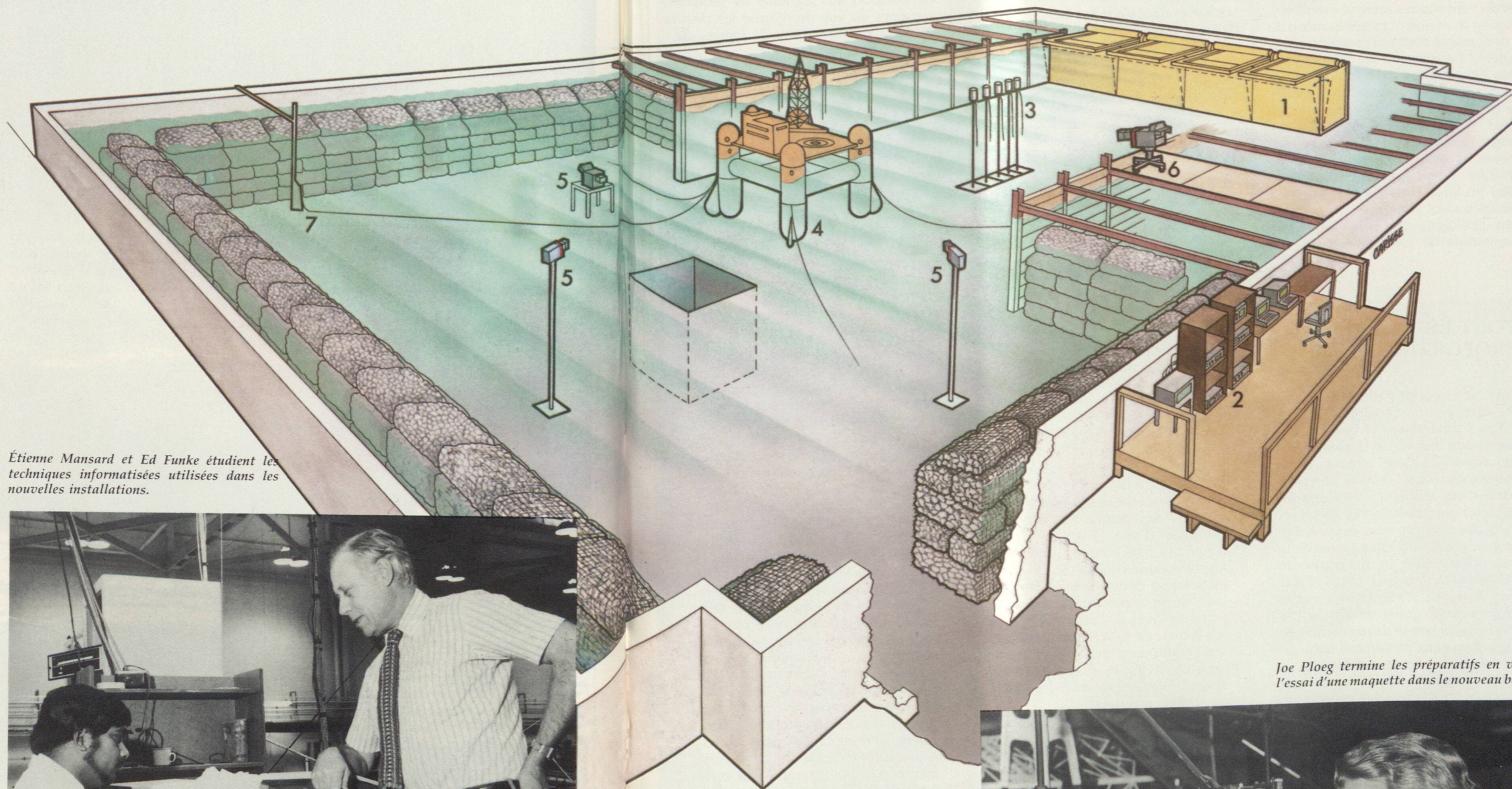
Avec l'amélioration des techniques de modélisation de vagues et le perfectionnement des instruments, un autre élément a pu être introduit: le vent. Par coïncidence, le premier programme d'essais entrepris dans les nouvelles ins-

tallations portait sur la reproduction des incidents qui ont conduit au naufrage de l'*Ocean Ranger*, qui, comme l'on sait, a commencé à giter (s'incliner sur un bord) dès le début de la tempête; les ingénieurs chargés du programme ont donc jugé nécessaire d'évaluer l'influence du vent sur la plate-forme infortunée. Bjarni Tryggvysen, de l'Établissement aéronautique national du CNRC, a étudié cet aspect dès la soumission du programme de l'*Ocean Ranger*.

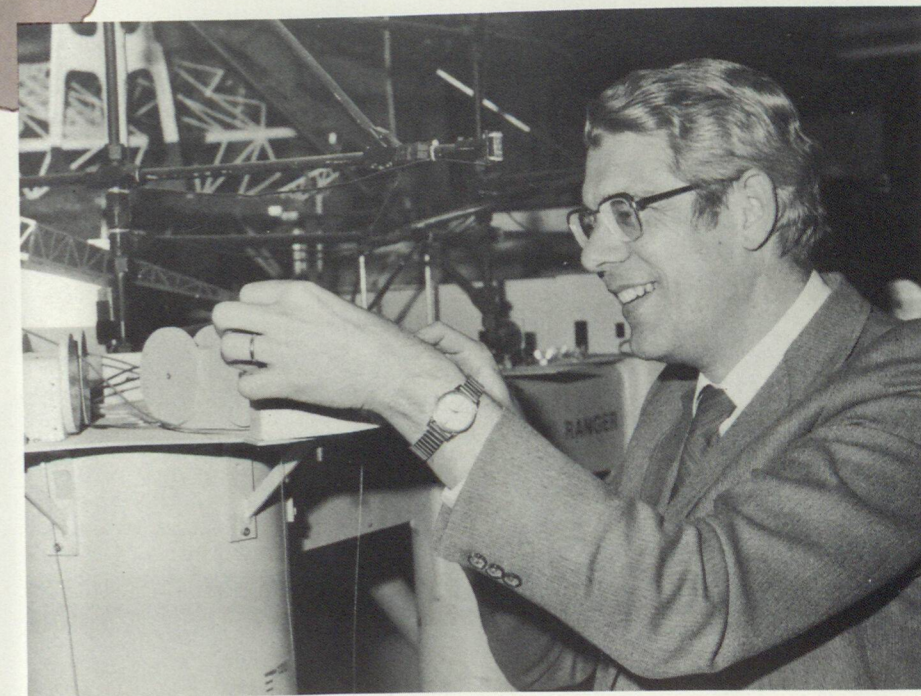
Étienne Mansard et Ed Funke étudient les techniques informatisées utilisées dans les nouvelles installations.



Dan Gritz



Joe Ploeg termine les préparatifs en vue de l'essai d'une maquette dans le nouveau bassin.



Dan Gritz

Les nouvelles installations de simulation de vagues en eaux profondes du CNRC sont uniques en Amérique du Nord. Des signaux en provenance d'un ordinateur (2) commandent un générateur de vagues hydraulique situé à l'extrémité du bassin (1) et les vagues produites sont mesurées avec précision grâce à un ensemble de jauges (3). La maquette à l'étude, ici une plate-forme de forage (4), est équipée de diodes électroluminescentes dont la lumière est captée par des caméras de télévision fixes (5) permettant d'enregistrer le mouvement de la maquette dans la mémoire de l'ordinateur. Une caméra mobile (6) fournit un enregistrement visuel de l'action des vagues sur la maquette. L'effet du vent est reproduit grâce à des servomoteurs programmés (7) et agissant sur des câbles reliés à la maquette. Les données sur le vent proviennent d'essais effectués dans les souffleries du CNRC sur d'autres maquettes à l'échelle.

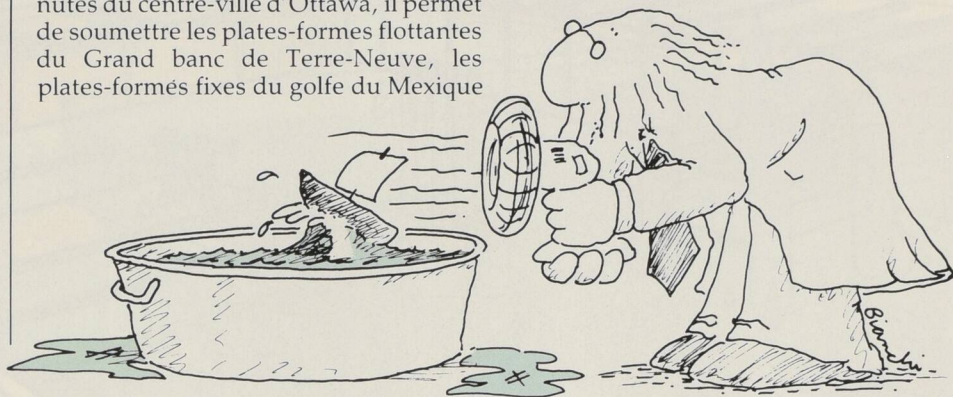


"Il n'existait presque rien dans les publications scientifiques concernant l'effet du vent sur des semisubmersibles, explique-t-il, et notre compréhension de leur dynamique était par conséquent incomplète. Le programme d'essais de l'*Ocean Ranger* nous a permis de concevoir des méthodes d'essais appropriées et de les mettre à l'épreuve; à partir de celles-ci, nous avons pu formuler des principes de base pour de futurs programmes d'essais sur des structures semblables. Nous pouvons maintenant simuler un large éventail de conditions applicables à ces structures."

Bien qu'éloigné de l'océan, le bassin de simulation de vagues en eaux pro-

fondes permet de reproduire de façon précise les conditions environnementales prévalant au large des côtes. Situé dans un imposant édifice, à quelques minutes du centre-ville d'Ottawa, il permet de soumettre les plates-formes flottantes du Grand banc de Terre-Neuve, les plates-formes fixes du golfe du Mexique

ou les îles artificielles ancrées dans la mer de Beaufort aux rigueurs de tempêtes simulées en vue de réduire les risques associés aux opérations de forage. ☪



John Bianchi

## TOUT EST AFFAIRE DE PROPORTIONS

Tout nous paraît petit à l'intérieur du laboratoire d'hydraulique du CNRC. Debout sur le balcon attendant à son bureau du troisième étage, même Joe Ploeg, avec ses deux mètres de haut, semble rapetissé par le vaste bâtiment. Dans un coin, trois hommes s'affairent à un projet mais nous parvenons à peine à distinguer ce qu'ils font en raison de la distance. Même la maquette de l'*Ocean Ranger*, qui mesure pourtant 3 m de haut, n'est qu'une vague forme colorée qui se détache sur le fond gris du bassin de simulation de vagues en eaux profondes, situé directement au-dessous de nous.

Pourquoi des installations aussi énormes? Pourquoi les ingénieurs ne peuvent-ils procéder à l'essai de maquettes portuaires, côtières ou de structures comme l'*Ocean Ranger* dans leur baignoire ou dans l'étang voisin?

"L'une des raisons, explique Ploeg, c'est que les structures à l'étude sont souvent énormes. Pour être en mesure d'accueillir un équipage, de recevoir l'équipement de forage et d'assurer sa stabilité en mer, ces plates-formes doivent être de dimensions imposantes. Sur les photos, nous pouvons difficilement nous faire une idée de leurs véritables dimensions, à moins qu'un navire ne soit situé à proximité pour nous permettre de juger de leurs tailles respectives.

"Lorsque nous reproduisons une structure aussi grosse pour des essais en laboratoire, nous devons tenir compte de certains paramètres, appelés paramètres de simi-

litude, si nous voulons assurer la validité de nos résultats. Ces essais visent souvent à étudier des forces, comme l'action exercée par les vagues sur une plate-forme ou sur un brise-lames portuaire. La force gravitationnelle étant l'une des principales forces qui influent sur les vagues, en mer comme en laboratoire, nous devons tenir compte de ce paramètre lorsque nous construisons nos maquettes. Ainsi, la maquette d'une structure d'acier comme l'*Ocean Ranger*, qui est une reproduction à l'échelle réduite de la plate-forme dans ses moindres détails, ne peut pas être simplement fabriquée avec de l'acier de très faible épaisseur; nous avons dû utiliser l'aluminium pour obtenir une masse équivalente et une résistance suffisante pour affronter les forces que nous mesurons.

"Le deuxième paramètre important qu'il nous faut considérer est la viscosité de l'eau, poursuit-il. L'eau du laboratoire et celle de la mer ont à peu près la même viscosité, et nos études doivent en tenir compte. Si nous adoptons une échelle trop réduite, l'eau sera relativement 'épaisse', et nous risquons de surévaluer les forces exercées par les vagues qui déferlent sur la maquette.

"Pour empêcher que l'eau ne soit trop 'épaisse', nous utilisons une formule mise au point au siècle dernier et appelée 'nombre de Reynolds'. Ce 'nombre' est en fait une série de nombres exprimés sous forme de courbe et représentant la résistance qu'oppose la maquette aux vagues qui la frappent. La maquette utilisée pour les essais doit présenter un nombre de Reynolds supérieur à un certain niveau sur la courbe. Autrement, la texture de

l'eau serait trop visqueuse et entraînerait des résultats erronés.

"Le troisième paramètre dont nous devons tenir compte lors de la modélisation, poursuit Ploeg, est la tension superficielle de l'eau, bien que ce facteur soit généralement moins important dans la plupart des essais que la force gravitationnelle ou la viscosité. La tension superficielle est tout simplement la force qui retient les molécules d'eau ensemble; lorsqu'on exerce une force supérieure à la tension superficielle, par exemple lorsque la vague frappe un rocher, l'eau se disperse en gouttelettes. Nous ne pouvons généralement pas reproduire cette pulvérisation de façon précise en laboratoire, nous n'obtenons qu'une approximation. Nous avons procédé dans le passé à des essais visant à évaluer la pulvérisation des vagues au-dessus d'une île artificielle, et nous l'avons quelque peu sous-estimée. Le client n'a toutefois même pas tenu compte de cette évaluation et, lorsqu'une tempête est survenue pendant la construction, l'hélicoptère de secours a dû rester en vol stationnaire à plus de 50 m de la plate-forme au cours des opérations d'évacuation en raison du volume des embruns."

Ploeg affirme que tous les constructeurs de structures en mer connaissent la valeur de ces essais. "Bien que la plupart des essais reposent sur des calculs mathématiques, la modélisation physique demeure nécessaire. Nous avons eu beaucoup de cas où des incidents imprévus ont été mis en lumière au cours de ces essais. Ces maquettes et ces essais ne se traduisent jamais par une perte de temps ou d'argent."



# Un remède à l'usure

## Des joints en poudre

**M**algré leur taille et leur puissance, certains turboréacteurs, comme certaines personnes, supportent mal les voyages. Emprisonnés dans une nacelle métallique suspendue sous l'aile ou le fuselage d'un avion, ils sont sensibles au vol en atmosphère turbulente et aux atterrissages brutaux. Contrairement aux moteurs d'automobiles, ils sont constitués de cylindres métalliques abritant des rangées alternées d'aubes mobiles et d'aubes fixes. Or, les aubes mobiles, dont la vitesse de rotation peut atteindre plusieurs milliers de révolutions à la minute, ne sont séparées de la paroi que par un espace inférieur au diamètre d'un cheveu humain et il suffit d'une torsion ou d'une secousse pour qu'il se produise un contact désastreux avec rupture ou écaillage de certaines pièces. L'incident s'accompagne d'une réduction de pression que le pilote doit compenser par un apport supplémentaire de carburant et aboutit à l'envoi du moteur à l'atelier de réparation à l'issue du vol.

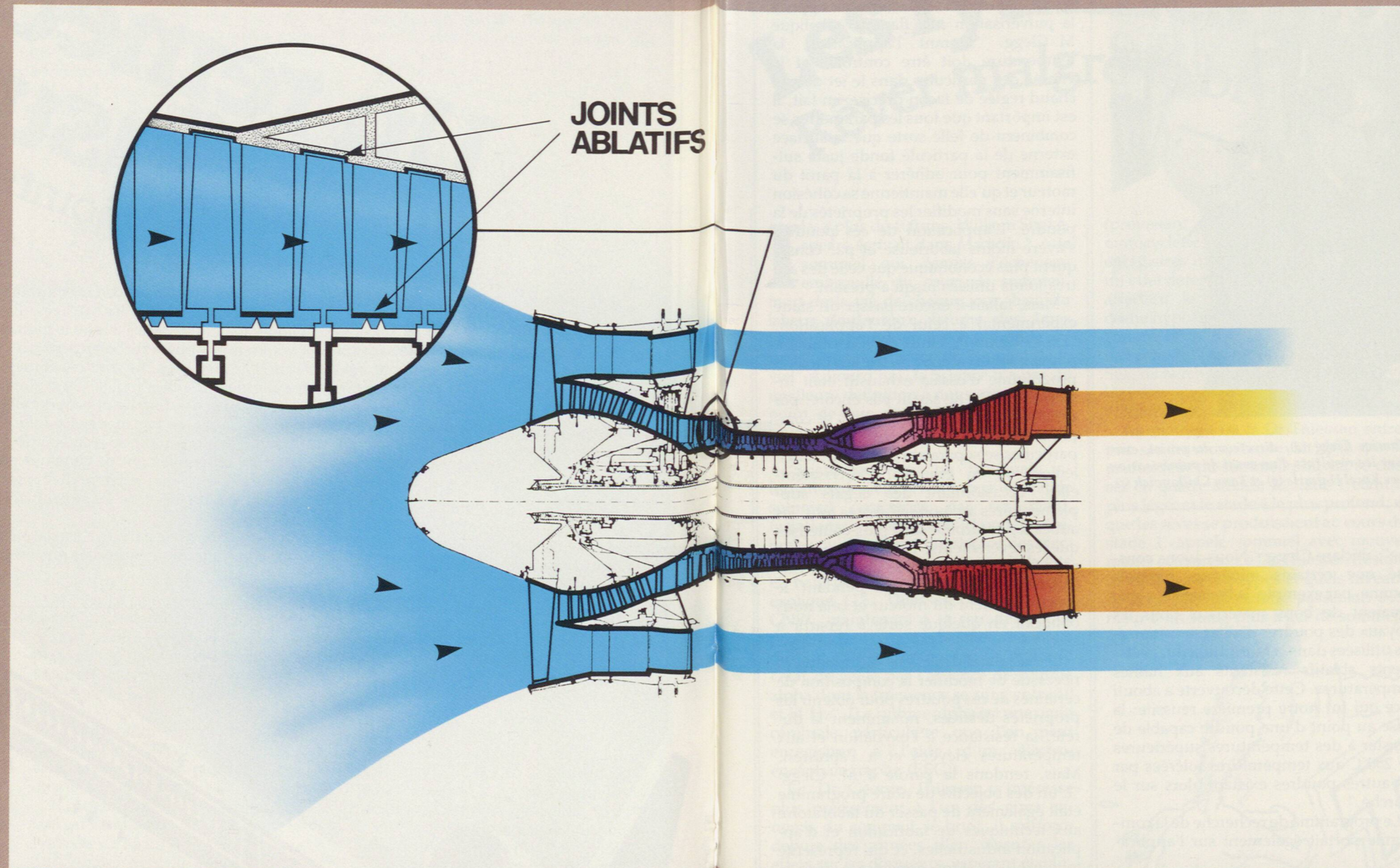
En temps de guerre, comme en temps de paix, et c'est dans ce dernier cas pour des raisons de rentabilité, le principal objectif des autorités responsables est de maintenir

---

*par Steven A. Haines*  
*Adaptation française: Annie Hlavats*







Cartisse Graphic Design Ltd.

les appareils en état de vol. Or, l'une des meilleures façons d'y parvenir est d'assurer un bon écoulement de l'air et des gaz dans le turboréacteur et de réduire les risques de pannes. Ce souci a conduit les ingénieurs à mettre au point différentes techniques d'étanchéification qui consistent à appliquer un revêtement protecteur sur les parois du moteur situées au voisinage de l'extrémité des aubes ou sur les paliers de l'arbre principal. En fait, cette technique utilise des

éléments de formes et de compositions différentes, mais ce sont les revêtements ablatifs qui semblent s'avérer les plus intéressants. Étant constitués de petites particules métalliques appliquées par fusion aux emplacements requis, ils ne s'usent que très graduellement et leur longévité s'en trouve donc augmentée. Leur application est toutefois coûteuse et ils présentent des inconvénients. Plutôt que de s'user, certains revêtements contribuent en effet à l'écaillage des aubes de la turbine. À la suite de ces constatations, un organisme de recherche de l'Alberta a pris des dispositions pour améliorer les techniques mises en oeuvre.

"Les spécifications relatives aux joints utilisés dans les turboréacteurs semblent contradictoires", explique Maurice Clegg, directeur de la compagnie Sherritt Gordon Mines Limited, à Fort Saskatchewan, en Alberta. "Les matériaux utilisés doivent pouvoir résister à l'effet d'érosion et de corrosion de gaz très chauds et animés d'une grande vitesse. Cependant, ils ne doivent opposer aucune résistance au contact des aubes de la turbine et leur consistance doit être suffisamment plastique pour que la réinjection de particules dans le moteur ne cause pas d'abrasion. Les joints ablatifs employés jusqu'à présent répondent à ces critères dans une certaine mesure lorsqu'ils sont situés dans les parties plus froides du moteur. Mais notre ob-

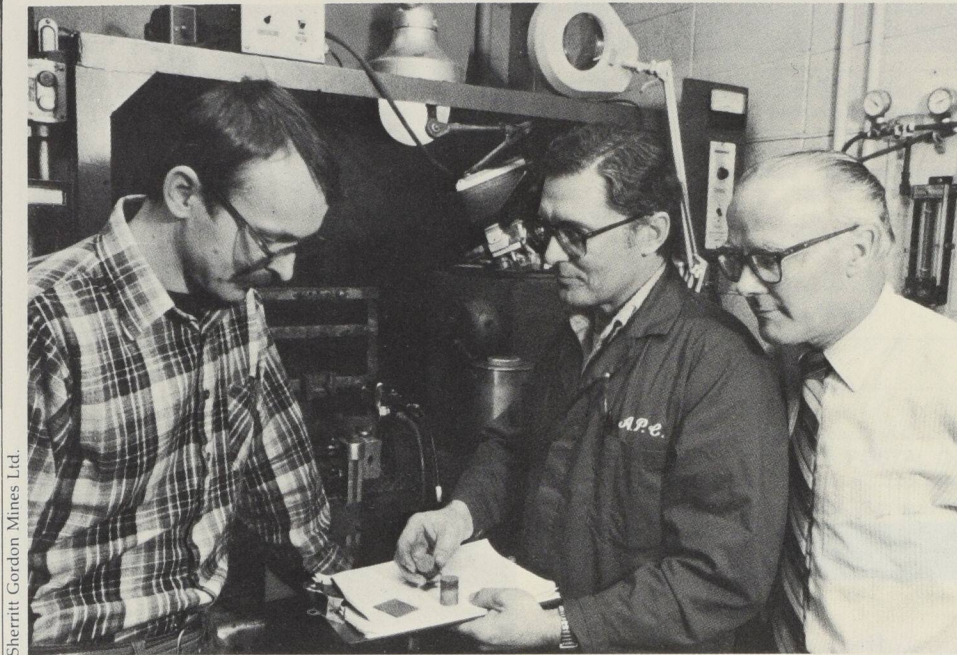
jectif est, pour l'instant, d'améliorer leur comportement aux hautes températures et de faciliter leur mise en oeuvre."

La source du problème se trouve dans la nature des matériaux utilisés. En effet, ceux-ci s'avèrent souvent instables dans les conditions rigoureuses qui règnent à l'intérieur du moteur. Il est donc important que de nouveaux matériaux soient conçus et mis à l'épreuve. "Depuis nombre d'années, reprend M. Clegg, nous travaillons à la mise au point de poudres métalliques et notamment de 'poudres composites'. Ces poudres ne sont pas de simples mélanges. En fait, chacune des particules qui les composent est formée d'un noyau constitué d'un matériau préalablement choisi et que l'on recouvre d'une ou plusieurs couches de

métal jusqu'à ce que les propriétés recherchées soient obtenues. Ces poudres composites ont connu leur premier succès au cours des années 60, à la suite de la mise au point d'une poudre à noyau de graphite recouvert de nickel. Pulvérisée à la flamme, cette poudre forme un revêtement de faible densité qui, grâce à la prédominance (par volume) du graphite, a la propriété d'être ablatif, mais auquel le fin réseau métallique de nickel confère l'intégrité nécessaire à une bonne résistance à l'érosion. La mise au point de la poudre de nickel-graphite constitue une grosse réussite. Cette poudre est maintenant utilisée par la plupart des fabricants de

*L'écoulement de l'air dans un réacteur d'avion, tout comme celui de l'huile dans un moteur d'automobile, doit être confiné et régulé. La compagnie Sherritt Gordon Mines Limited a mis au point des poudres dont les particules sont enrobées d'un revêtement métallique et qui rendent possible cette régulation aux différentes températures atteintes dans ces réacteurs. Pulvérisées sur les parois du moteur ou sur l'arbre central de la turbine, elles forment un revêtement ablatif qui conserve ses propriétés d'étanchéification même après avoir été endommagé par les aubes de la turbine en rotation.*





Sherritt Gordon Mines Ltd.

turbines d'aviation du monde entier, notamment pour le traitement des étages de la soufflante et du compresseur. Elle présente cependant certaines insuffisances et en particulier celle de ne pas résister aux températures supérieures à 650°C."

Sous la direction de M. Clegg, une équipe de métallurgistes, de chimistes et de techniciens de la compagnie en question a réussi à mettre au point des poudres composites résistantes aux hautes températures. Grâce à l'appui du Programme d'aide à la recherche industrielle (PARI) du CNRC, ces chercheurs étudient depuis cinq ans divers types de matériaux et de revêtements métalliques susceptibles d'être utilisés dans la préparation d'une nouvelle série de poudres. "De nombreuses réalisations intéressantes ont vu le jour dans le cadre de notre programme de recher-

*Maurice Clegg (d), directeur du projet, examine les résultats d'un essai de pulvérisation avec Karel Hajmrle (g) et Tony Chilkowich (c).*

che", déclare Clegg. "Nous avons constaté que certains minéraux naturels comme, par exemple, la bentonite, constituaient de bons matériaux pour les noyaux des poudres d'alliages composites utilisées dans la fabrication de revêtements ablatifs résistants aux hautes températures. Cette découverte a abouti à ce qui fut notre première réussite: la mise au point d'une poudre capable de résister à des températures supérieures de 250°C aux températures tolérées par les autres poudres existant alors sur le marché."

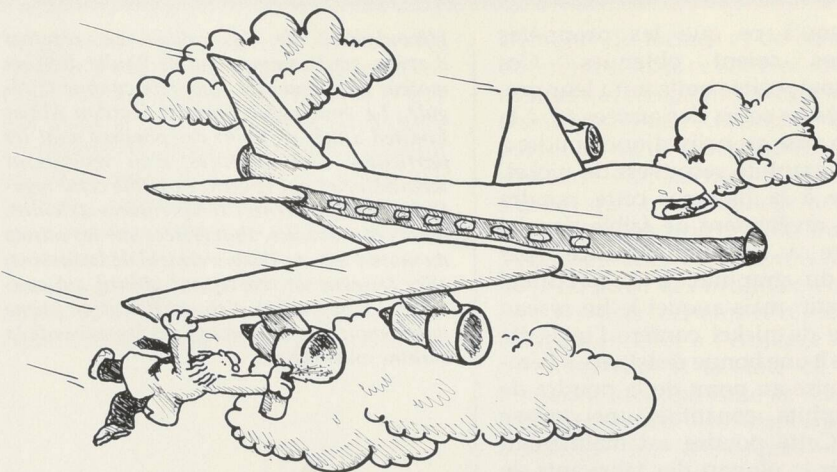
Le programme de recherche de la compagnie portait également sur l'applica-

tion de ces poudres aux parois des réacteurs. "La méthode de choix fait appel à la pulvérisation à la flamme" explique M. Clegg. "Durant l'application, la température doit être contrôlée et la vitesse des particules dans le jet de gaz chaud réglée de façon précise; en fait, il est important que tous les paramètres se combinent de telle sorte que la surface externe de la particule fonde juste suffisamment pour adhérer à la paroi du moteur et qu'elle maintienne sa cohésion interne sans modifier les propriétés de la poudre. L'application de ces poudres s'avère moins laborieuse et par conséquent plus économique que celle des autres joints utilisés jusqu'à présent."

Mais, fallait-il encore passer du stade expérimental à celui de l'application. "Et, poursuit-il, l'information dont on pouvait se servir pour mettre sur pied un programme d'essais exhaustif était insuffisante. On ne savait pas encore, par exemple, comment ces poudres se comportaient sous l'effet du cisaillement. Les particules se séparaient-elles individuellement ou en groupes? Durcissaient-elles, occasionnant des dégâts supplémentaires au moteur? Après tout, les aubes de la turbine sont plus coûteuses que les revêtements. Tout le programme reposait donc sur l'étude des processus d'érosion du revêtement pendant le fonctionnement du moteur et cela nous obligeait en quelque sorte à repartir à zéro."

Les résultats des essais ont montré la nécessité de modifier la composition de certaines de ces poudres pour obtenir les propriétés désirées, notamment la dureté, la résistance à l'oxydation et aux températures élevées et à l'abrasion. Mais, rendons la parole à M. Clegg: "L'un des objectifs de notre programme était également de passer du laboratoire aux techniques de fabrication et d'application industrielles, ce qui représente toujours une étape importante dans la mise au point d'un nouveau produit."

La compagnie Sherritt Gordon Mines Limited a en fait réussi à produire des poudres composites qui conservent leur stabilité à des températures pouvant atteindre 850°C et qui, de surcroît, possèdent une capacité d'isolation thermique satisfaisante. Ces poudres ont déjà été utilisées par deux des plus importants motoristes de l'aéronautique pour le traitement de deux des types de moteurs qu'ils fabriquent actuellement et l'industrie entrevoit d'autres applications de ces matériaux, notamment comme isolants. "Ces poudres commencent déjà à faire leur entrée sur le marché de l'exportation et nous sommes heureux de pouvoir dire que l'aide offerte par le PARI à l'industrie canadienne a contribué à la percée que nous avons réalisée dans ce domaine", a conclu M. Clegg. ☺



John Bianchi



# Les rythmes du sommeil

## Rêver malgré le bruit

par David Spurgeon

Adaptation française: Annie Hlavats

Il y a plus de 400 ans, William Shakespeare écrivait dans *Macbeth*: "...le sommeil qui démêle l'écheveau embrouillé du souci, le sommeil, mort de la vie de chaque jour, bain du labeur douloureux, baume des âmes blessées, second service de la grande nature, aliment suprême du banquet de la vie!" Aujourd'hui, la Science n'a pas de meilleure définition à nous offrir car, du point de vue physiologique, nous ne savons toujours pas à quoi sert de dormir.

"Scientifiquement on reconnaît internationalement l'existence d'un état de sommeil caractérisé par ses manifestations sur les tracés d'ondes cérébrales qu'on obtient en plaçant des électrodes sur la partie supérieure de la tête en haut de la région occipitale", nous a expliqué G.J. Thiessen, physicien du CNRC maintenant à la retraite. "Et, à peu près tout ce que la Science peut nous dire à son sujet, c'est qu'il se distingue de l'état de veille par l'absence de rythme alpha dont la fréquence se situe entre 10 et 14 Hz". (Le rythme alpha est une onde cérébrale particulière que l'on peut enregistrer à l'aide d'un électroencéphalographe (EEG)).

Le Dr George Thiessen s'intéresse plus précisément à l'un des pires ennemis du sommeil: le bruit. Il s'efforce depuis des années d'en mesurer les effets sur les dormeurs, espérant établir, à partir de ces données, s'il est possible ou non de déterminer quelles sont les conséquences, si conséquentes il y a, des perturbations du sommeil sur la santé. Mais ce sujet l'intéresse également pour une raison personnelle. "Je dors mal", a-t-il avoué.

Son projet de recherche remonte aux années soixante, au moment où les municipalités commençaient tout juste à se préoccuper des problèmes environnementaux comme la pollution, et sollicitaient les conseils du CNRC. À l'époque, les experts fondaient leurs jugements sur des facteurs subjectifs tels que les niveaux de nuisance, mais Thiessen et d'autres chercheurs du CNRC ressentaient le besoin de critères plus rationnels.

Leur objectif était de vérifier si les niveaux de bruit élevés et croissants

(provenant de véhicules lourds, de motocyclettes et de tondeuses à gazon), enregistrés dans les zones urbaines ont un effet néfaste sur la santé du fait qu'ils affectent le sommeil. Il s'agissait là d'une hypothèse généralement acceptée comme le constata George Thiessen au moment de la publication de ses travaux. Ses recherches avaient suscité un vif intérêt que partageait notamment l'Organisation mondiale de la santé.

Au moment où le Dr Thiessen entreprit ses travaux, on savait déjà que la profondeur du sommeil pouvait se classer en quatre stades, le stade 1 étant le plus léger et le stade 4 le plus profond, et que les rêves se produisaient au cours du stade 1, appelé sommeil avec mouvements oculaires. Le Dr Thiessen désirait déterminer quels types et quels niveaux de bruit pouvaient faire passer un dormeur à un stade plus léger de sommeil,

changement considéré de nature à troubler son repos.

À l'époque, la méthode conventionnelle d'analyse du sommeil se limitait au monitoring de l'activité cérébrale de sujets endormis à l'aide d'un électroencéphalographe, exercice dont le tracé pour une nuit de durée moyenne pouvait se déployer sur quelque 1 000 m de papier. Les enregistrements ainsi obtenus étaient ensuite coupés en sections d'environ 1 m de long puis soumis à des spécialistes qui les analysaient et calculaient leur moyenne, tâche laborieuse et coûteuse qui ne donnait pas de résultats particulièrement précis.

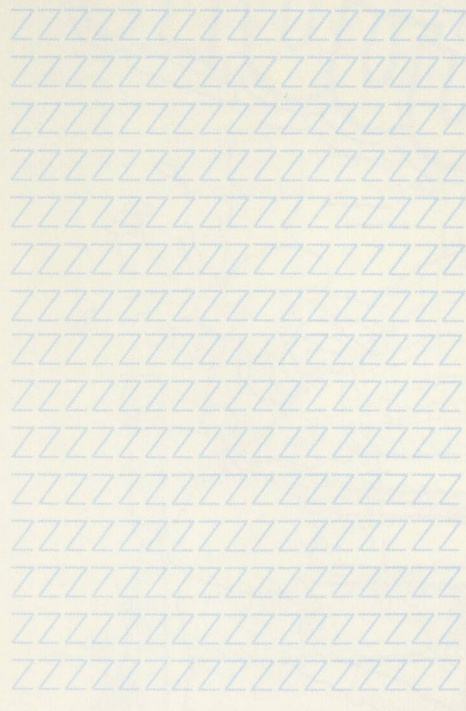






Bruce Kane

*Dormir et peut-être rêver. On peut identifier les différentes phases du sommeil à la lecture sonore des électro-encéphalogrammes: la production de rêves s'accompagne d'un sifflement continu et le sommeil profond est caractérisé par un grondement sourd.*



*Le Dr George Thiessen est à la recherche de critères rationnels qui lui permettraient d'évaluer l'effet du bruit sur le sommeil.*

La méthode que le Dr Thiessen mit au point et dont l'utilisation ne mobilisait que deux personnes (son technicien, A.C. Lapointe, et lui-même) reposait sur des paramètres individuels plutôt que sur des moyennes peu significatives. Elle consistait, en fait, à acheminer les signaux recueillis par l'électro-encéphalographe vers un magnétophone modifié, capable d'enregistrer des intensités sonores diffusées dans des bandes de fréquence d'une largeur égale ou inférieure à 1 Hz et opérant à une vitesse de 0,6 cm/s (les vitesses d'enregistrement courantes étant de 9,5 ou 19,1 cm/s), puis à vérifier l'exactitude des résultats obtenus à l'aide d'enregistrements habituels sur papier.

Pour écouter ces enregistrements d'ondes cérébrales, il faisait tourner le dispositif de lecture à une vitesse de 60 à 70 fois plus grande pour obtenir des sons audibles dans les bandes d'octave 60-70, 720-840 et 1500-1750 Hz. C'était comme si le cerveau du sujet endormi lui parlait directement. Le Dr Thiessen se servit d'instruments courants d'analyse de son pour interpréter les signaux acoustiques ainsi obtenus et, grâce à l'accélération de la lecture sonore, la durée de l'enregistrement de l'activité cérébrale de toute une nuit de sommeil put être réduite à environ 8 min.

Dans un article publié dans le *Journal of the Acoustical Society of America* où il décrit cette nouvelle méthode, le Dr Thiessen fait remarquer qu'elle occasionne une perte considérable de détails, mais qu'elle offre en contrepartie une vue globale de l'évolution du sommeil, perspective qui peut faciliter la tâche au chercheur tout comme une carte routière aide le navigateur à s'orienter même en l'absence de détails topographiques. "Par

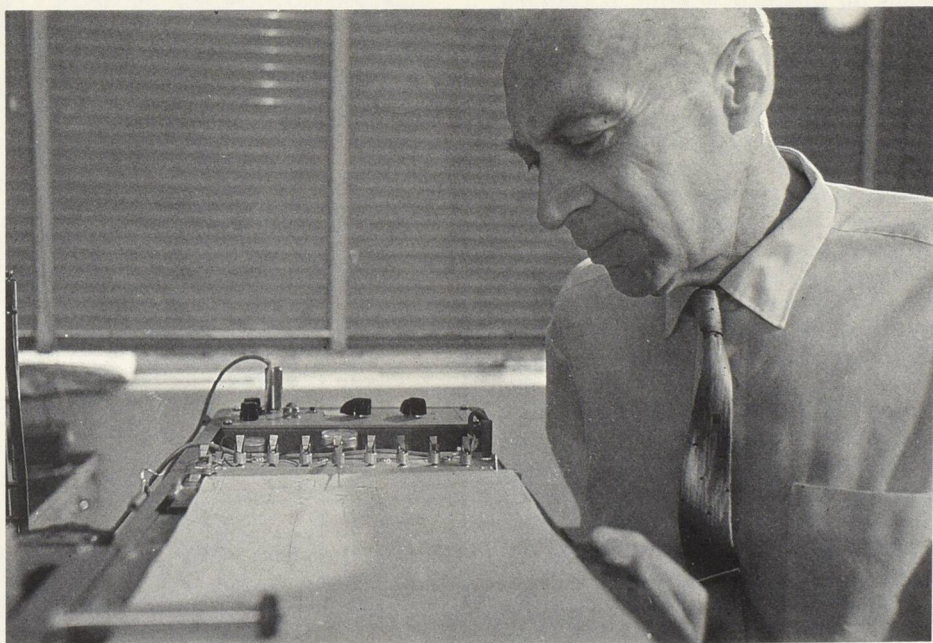
ailleurs", fait-il remarquer, "une partie de cette perte est compensée par le fait que l'oreille peut recueillir une quantité considérable de données supplémentaires."

En effet, même une personne non initiée identifie rapidement les différents stades de sommeil chez certains sujets à partir du déchiffrement sonore des électro-encéphalogrammes. Le son correspondant à l'état de veille fait penser au bruit des vagues sur une plage de galets. La production de rêves s'accompagne d'un sifflement continu et le sommeil profond est caractérisé par un grondement sourd.

Ces enregistrements audibles ont permis à Thiessen et Lapointe d'analyser les résultats d'expériences auxquelles ont participé 100 sujets et qui, pour la plupart d'entre eux, se sont déroulées au cours de 24 nuits. Pour les besoins de ces expériences, un laboratoire du CNRC fut aménagé en chambre à coucher et équipé de tous les accessoires nécessaires, y compris tapis et tentures.

Pendant que les sujets endormis, le front garni d'électrodes, étaient reliés à un électro-encéphalographe, des haut-parleurs situés dans la pièce diffusaient l'enregistrement de bruits de véhicules automobiles à un volume préalablement déterminé. Ces mêmes expériences furent reproduites par la suite au domicile même des sujets.

Sous plusieurs aspects, les résultats obtenus n'étaient pas surprenants; ils confirmaient ce que l'on savait déjà, notamment, que le bruit de la circulation rend l'endormissement difficile chez certaines personnes, que le sommeil peut être interrompu par ce type de bruit et qu'il est possible de s'y adapter. Mais ces résultats ont permis toutefois de quanti-



Bruce Kane



fier objectivement les observations, de leur donner la validité scientifique dont elles étaient dépourvues et d'assurer leur reproductibilité dans des conditions normalisées.

Ainsi, on a constaté que le sommeil profond est souvent remplacé par un sommeil plus léger lorsque le sujet endormi est exposé au bruit de véhicules automobiles et que l'incidence de ce phénomène augmente avec l'intensité du bruit. En effet, la probabilité d'une transition d'un stade de sommeil à un autre, qui est de 10 pour cent lorsque la puissance sonore est de 35 dB (cette puissance étant multipliée par un facteur A pour reproduire la déviation propre à l'oreille) s'élève à 80 pour cent lorsque le bruit atteint 75 dB. D'autre part, la probabilité de *réveil* qui est pratiquement nulle lorsque le niveau du bruit est de 35 dB atteint 50 pour cent avec une puissance sonore de 75 dB.

Quelques-uns des sujets, qui au début de l'expérience étaient réveillés par le bruit de la circulation, ont graduellement acquis une tolérance au niveau de bruit donné et, à la suite de deux semaines d'adaptation, ils ne réagissaient plus à ce facteur, la probabilité de leur réveil étant alors réduite de moitié. Cependant, chose surprenante, aucun signe d'adaptation comparable n'a été observé quant à la réaction de passage d'un stade de sommeil à un autre; ce phénomène a, en effet, continué à se manifester pendant toute la durée de l'expérience.

Les résultats de ces travaux indiquent que la probabilité d'altération du sommeil est d'autant plus grande que la durée du son est longue, *sauf* lorsque le son est continu. On a constaté également, contrairement à ce que l'on pensait, que lorsque des sujets endormis sont exposés à un bruit de fond continu, leur sommeil est non seulement *moins* altéré, mais ils dorment *mieux* si, par dormir 'mieux' on entend dormir plus profondément.

Ces expériences *n'ont pas* permis, toutefois, de déterminer si l'altération du sommeil affecte la santé. "En fait", explique le Dr Thiessen, "après avoir analysé les résultats d'études sur le sommeil effectuées à l'échelle mondiale au cours d'une période de cinq années, des spécialistes en la matière ont conclu lors d'un congrès international sur le bruit et la santé qu'aucun effet adverse n'avait été mis en évidence. Ceci ne veut pas dire qu'il *n'en existe pas*, mais tout simplement qu'en l'absence de critères tangibles il ne nous est pas possible de les identifier.

En fait, l'information dont on dispose dans ce domaine prête à confusion. D'une part, comme le montrent les travaux du Dr Thiessen, on remarque que les stades de sommeil se prolongent de



Bruce Kane

3 pour cent en moyenne lorsque le sujet est exposé à un bruit de véhicules automobiles continu de 47 dB, ce qui, dans une certaine mesure, pourrait avoir un effet bénéfique (comme l'alcool). D'autre part, on est porté à penser que la prolongation du sommeil profond est une réaction indirecte au bruit qui, comme le suggère le Dr Thiessen, aurait pour but de compenser la durée moindre du sommeil au stade I (celui des rêves et des mouvements oculaires) résultant également du bruit des voitures. Des neurologues ont démontré par ailleurs que la suppression des rêves présente des dangers pour l'organisme.

Pourtant, on connaît au moins le cas d'un sujet qui a été privé de sommeil depuis des années sans que sa santé n'en soit, semble-t-il, affectée pour autant. On a en outre découvert que le manque de sommeil a un effet bénéfique chez certains types de patients dépressifs.

"Bien que j'aie eu davantage affaire à des psychologues et à des physiologistes qu'à des médecins au cours des 15 dernières années", a expliqué George Thiessen, "il m'est impossible de déterminer l'effet que l'altération du sommeil par le bruit peut avoir sur la santé. Ce qui compte surtout c'est de pouvoir mesurer cet effet à l'aide de méthodes reproductibles et fiables. Il y a quelques années, l'Organisation mondiale de la santé s'était servi de mes travaux pour appuyer ses recommandations, mais l'idée ne me plaisait pas car, indirectement, ceci pouvait encourager l'application de résultats encore insuffisants. En effet, notre connaissance sur ce plan est encore limitée et il reste beaucoup à faire notamment des études portant sur des sujets endormis, avant de pouvoir établir des critères qui serviraient à dé-

*Armand Lapointe aide un volontaire à se préparer pour une nuit de sommeil au laboratoire.*

terminer les limites de tolérance aux bruits nocturnes".

Ceci sous-entend évidemment que les méthodes existantes ne permettent pas de vérifier notre connaissance subjective de l'effet que l'altération du sommeil par le bruit peut avoir sur la santé et, aussi, qu'il nous faudra faire appel à la Science et améliorer la définition shakespearienne du rôle physiologique du sommeil, aussi éloquente soit-elle! ☾

*David Spurgeon est l'éditeur d'Impact of Science on Society, publication de l'UNESCO à Paris.*



# SUZUKI

Adaptation française: Colette Guay

## Quand la science fait la une des journaux à sensation

Il y a quelques mois, tandis que je flânaï devant les présentoirs du kiosque à journaux d'un aéroport, mon attention fut attirée par la manchette proprement stupéfiante d'un petit hebdo à sensation: "Une découverte scientifique nous fera vivre jusqu'à 200 ans." Ayant du temps devant moi, j'ai lu l'article et constaté, à ma grande surprise, que l'on attribuait ce nouvel élixir de vie à Keith Davey, un éminent scientifique canadien de l'Université York. On y expliquait que les travaux de Davey portent sur une molécule produite par des insectes et appelée hormone juvénile. Maintenu à des niveaux élevés chez les insectes en développement, cette hormone retarde leur croissance en phase larvaire et prolonge ainsi leur existence. J'imagine la tête du professeur Davey quand il a découvert les conclusions farfelues qu'on tirait, en son nom, de ses travaux.

Je me sentais mal à l'aise en lisant cet article, j'avais mauvaise conscience; au plus profond de moi une petite voix insistante me répétait: "C'est de notre faute! C'est nous, les scientifiques, qui sommes responsables de ces exagérations." Je participe à l'entreprise scientifique depuis maintenant un quart de siècle, et j'ai vu comment se sont transformés les critères et les priorités présidant à l'attribution des subventions — le recul consécutif de la recherche fondamentale éclipsée par la recherche appliquée. Quand j'ai fait mes débuts en génétique, nous regardions de haut les scientifiques oeuvrant en recherche appliquée, les considérant comme des cerveaux de troisième ordre qui, faute d'avoir des idées astucieuses ou de trouver des sujets d'expérience brillants, se contentaient de faire quelque chose de pratique. Mais, à mesure que s'estompait la menace scientifique post-sputnikienne russe qui avait donné un tel essor à la recherche fondamentale et que s'aggravait la crise économique dans les pays occidentaux, les gouvernements commencèrent à exiger quelque chose de plus tangible que de bons rapports de recherche pour leurs dollars. Ajoutons que le succès du programme spatial américain semblait démontrer qu'on pouvait résoudre les problèmes technologiques en orientant la recherche vers des objectifs spécifiques.

Malheureusement, à mon avis, trop peu de scientifiques ont pris position publiquement en faveur de la recherche fondamentale et défendu le rôle crucial qu'elle joue dans le processus qui aboutit

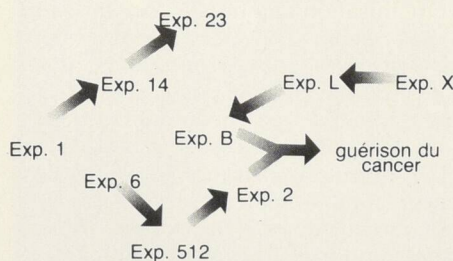


aux applications concrètes de la connaissance scientifique. Nous nous sommes rués, pour la plupart, sur l'argent disponible pour la recherche en rédigeant nos demandes de subventions de manière à faire ressortir les applications possibles de nos travaux. J'ai moi-même justifié mes travaux sur la drosophile en faisant valoir à l'U.S. National Cancer Institute que "une certaine compréhension de la régulation génétique de la division et de la différenciation cellulaires pourrait jeter de la lumière sur les anomalies de ce processus qui conduisent à une prolifération cancéreuse anarchique". Ce n'était là ni exagération ni mensonge, mais ce genre d'approche contribue à perpétuer ce qui est, selon moi, une conception erronée de la démarche scientifique.

Nos soumissions de projets laissent supposer, et c'est là le problème, que nos recherches atteindront nécessairement et de façon linéaire le but prévu, comme ceci:



Les choses se passent tout autrement dans la réalité et se déroulent plutôt comme ceci:



Ce que je veux dire, c'est que la personne qui fait l'expérience 1 se propose peut-être de résoudre le problème du cancer, mais sa recherche va probablement l'entraîner dans une autre direction, alors que les chercheurs qui font les expériences 6 et X dans de tout autres domaines découvriront peut-être que les résultats de leurs recherches, conjugués à d'autres également sans rapport avec le cancer, ont contribué à accroître les connaissances en ce domaine.

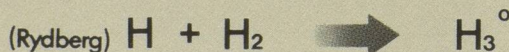
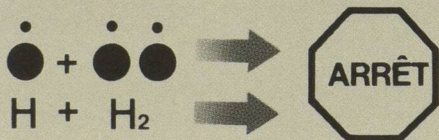
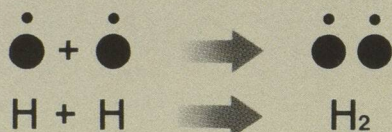
Prenons l'exemple que m'a rapporté un volcanologue de mes amis. Lors de l'éruption d'un volcan, les éléments du matériau en fusion se figent en place quand la lave se solidifie. Certains de ces éléments sont instables (radioactifs), et les particules qu'ils émettent en se désintégrant vont frapper des molécules dans la matrice solide environnante, créant un tunnel dont la structure est "affaiblie". Lorsqu'on tranche ce verre volcanique, qu'on le polit et qu'on le traite chimiquement pour le débarrasser des molécules affaiblies qu'il contient, des tunnels ou cannelures disposés en étoile autour du radio-isotope font leur apparition. Connaissant le taux de désintégration de l'isotope, il suffit de compter le nombre d'étoiles ainsi formées pour déterminer le temps écoulé depuis l'éruption, donnée très utile aux recherches sur l'histoire géologique de la Terre. Quelqu'un s'est alors rendu compte qu'en emprisonnant délibérément des radio-isotopes dans le verre, en leur laissant le temps de se désintégrer et en évitant les traces laissées par les particules, on pouvait obtenir du verre criblé de très petits trous ou pores. Ce qui constitue un excellent moyen de fabriquer des *filtres millipores*. Et c'est effectivement ainsi que l'on fabrique aujourd'hui certains d'entre eux. Qui aurait pu prévoir que la volcanologie pourrait donner naissance à un procédé industriel pour la fabrication de filtres?

Là où je veux en venir, c'est que la manière dont nous, chercheurs, formulons nos demandes de subventions et justifions l'appui financier qu'on nous accorde, de même que le ton que nous donnons trop souvent à nos déclarations aux médias, propagent la notion que la découverte scientifique est linéaire et prévisible. De là à penser qu'on peut extrapoler à volonté d'un organisme vivant (ou d'un résultat) à un autre — comme de l'insecte à l'homme, par exemple — il n'y a qu'un pas. Et c'est pourquoi, nous nous retrouvons avec des conclusions tirées par les cheveux à la une des journaux!



Suite de la page 2

# Gerhard Herzberg



plémentaire qui transforme  $\text{H}_3^+$  en une molécule neutre devrait être suffisamment éloigné des trois protons centraux de la molécule pour ne pas modifier leur arrangement spatial. Il devrait donc s'agir de ce qu'on appelle un électron de Rydberg: c'est-à-dire dans un état excité, dans une orbite extérieure.

Tout devenait soudainement clair, concordant avec la conclusion que  $\text{H}_3$  est stable dans les "états de Rydberg", où l'électron est éloigné du cœur de la molécule. J'en conclus donc que le spectre que j'étais en train d'observer était celui de  $\text{H}_3$  neutre.

Il y a maintenant un groupe de l'Institut Max Planck, à Munich, qui étudie  $\text{H}_3$  à l'aide de techniques laser. Cette molécule n'est donc pas seulement le fruit de mon imagination!

**DIMENSION SCIENCE:** Sur quel autre projet travaillez-vous?

**HERZBERG:** Cette découverte inespérée de l' $\text{H}_3$  a réorienté tous mes projets de recherche. La question se posait: y a-t-il d'autres molécules semblables à  $\text{H}_3$ , qu'on pourrait appeler des molécules de Rydberg, qui sont stables lorsqu'elles possèdent un électron de Rydberg? Pour y répondre, nous

sommes revenus au système que nous avons découvert,  $\text{H}_3^+/\text{H}_3$  neutre. Alors que  $\text{H}_3^+$  est stable à l'état fondamental,  $\text{H}_3$  est stable dans les états de Rydberg. Il existe plusieurs ions de cette sorte: l'ion ammonium  $\text{NH}_4^+$ , par exemple. Si on le met en présence d'un autre électron au niveau d'excitation approprié, on doit obtenir des états de Rydberg de la molécule neutre qui sont également stables. En l'occurrence, c'est ce qui se produit. Nous avons maintenant découvert un spectre de  $\text{NH}_4$  neutre, qui semble coïncider avec un spectre demeuré inexpliqué dans la littérature pendant 110 ans!

Et puis il y a  $\text{H}_3\text{O}^+$ , un autre ion dont on sait qu'il est stable dans le spectromètre de masse. Est-ce que le  $\text{H}_3\text{O}$  neutre serait une autre molécule de Rydberg? C'est une question fascinante, à laquelle nous n'avons pas encore réussi à répondre malgré tous nos efforts.

**DIMENSION SCIENCE:** Tout ceci ne semble avoir qu'un lointain rapport avec l'astronomie, votre champ de recherche initial.

**HERZBERG:** Bien au contraire, il y a des applications astronomiques directes. Ces molécules de Rydberg pourraient très bien se trouver dans l'espace interstellaire. Il est fort possible qu'on ait déjà détecté dans le spectre d'une nébuleuse extra-galactique l'une des caractéristiques spectrales que nous avons observées dans ce laboratoire. Par ailleurs, les ions moléculaires se rencontrent en grands nombres dans les espaces interstellaires.

**DIMENSION SCIENCE:** Parlez-nous de votre activité scientifique hors du laboratoire.

**HERZBERG:** Il m'arrive de prendre position sur des questions de politique scientifique. On ne peut pas se préoccuper uniquement de l'aspect utilitaire de la recherche scientifique: c'est une poursuite intellectuelle au même titre que la musique ou la littérature.

Quand un chercheur oriente ses travaux vers un but trop spécifique, il risque de ne pas s'arrêter à quelque chose qu'il devrait examiner, simplement parce que ce n'est pas exactement ce qu'il cherche. Et ce résultat imprévu auquel il ne s'arrête pas aurait peut-être mieux servi l'humanité que la réalisation de l'objectif qu'il s'était fixé à l'origine. La découverte des rayons-X a conduit à des applications médicales qui sont un excellent exemple de retombées imprévisibles de la recherche fondamentale.

Si le gouvernement veut vraiment atteindre ses objectifs — créer plus d'emplois et améliorer la qualité de la vie — il doit accorder un appui plus substantiel à la recherche fondamentale. Sinon, nous risquons de nous trouver un jour démunis de la connaissance pure sur laquelle toute technologie nouvelle doit s'appuyer. ☾



# AU COURANT ET BRANCHÉ(E)S SUR LA SCIENCE

... en lisant *Dimension Science*.

Soyez au fait des plus récents progrès de la science et de la technologie dans le monde et même au-delà!

Faites-nous parvenir la carte-réponse préaffranchie pour recevoir votre abonnement d'un an **gratuit**.



CFHT

Canada Post	Canada Postes
Mail Mail Classe	En français Tradition Classe
K1A 0N6 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