SCIENCE DIMENSION

1977/3

UNIQUE WINDMILL | L'ÉOLIENNE DE L'AVENIR

SCIENCE DIMENSION

National Research Council Canada / Conseil national de recherches Canada

Vol. 9, No. 3, 1977
ISSN 0036-830

CONTENTS

4 Bird hazards to aircraft
The work of an NRC committee

8 Pacific coast TRIUMF
Exploring the atomic nucleus

12 Exploring the subsurface
Unique tunnelling technique

16 Computer graphics
More realism by erasing lines

18 Worlds in evolution
The story of our planets

22 Cloud seeding
Can we fight fire with rain?

28 Binary star
A black hole revealed?

Cover: With guy wires dangling, the rotor of the giant Magdalen Islands windmill is carefully lowered onto its tower. Erected in May, this unique wind-powered generator is being cautiously eased into operation. (See story opposite). Courtesy: Alcan Canada Products Limited; photographer: Karl Sliva.

Science Dimension is published six times a year by the Public Information Branch 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 directly from that source.

Enquiries should be addressed to: The Editor, Science Dimension NRC, Ottawa, Ontario. K1A 0R6, Canada. Tel. (613) 993-3041.

Editor Loris Racine
Managing Editor Wayne Campbell
Executive Editor Joan Powers Rickerd
Design JOHN B Graphics

Just erected – Unique windmill

Alcan Canada Products Limited; photographer Karl Sliva/Produits Alcan Canada Limitée; photographie Karl Sliva

Magdalen Islands, May 18, 1977. Engineers from NRC, Hydro-Québec, Dominion Aluminum Fabricating Ltd., and the construction crew share a joke after the twin-bladed windmill has been safely erected.

Îles de la Madeleine, 18 mai 1977. Des ingénieurs du CNRC, de l'Hydro-Québec, de Dominion Aluminum Fabricating Ltd. et l'équipe de montage échangent des plaisanteries après l'installation de l'éolienne birotor.

In the middle of the Gulf of St. Lawrence, off the coast of Quebec, lie the Magdalen Islands. Here, on a low sand dune with nothing but scrub brush to obstruct the ocean winds, a unique windmill has been built. In contrast to conventional windmill design, with propellers which turn a horizontal shaft, this machine uses two airfoil-shaped blades looped around a vertical shaft in a giant football shape, 37 m (120 feet) high and 24 m (80 feet) wide. Once eased into operation, it will feed up to 200 kilowatts of electric power into the local grid.

This kind of windmill — technically it's known as a vertical axis wind turbine — was invented in the 1930's, forgotten, and then reinvented in NRC's Low Speed Aerodynamics Laboratory. Raj Rangi, one of the NRC researchers, recalls how the first model whirled around in a wind tunnel test. "I was amazed that something so simple in concept could go so fast," he says. "It was a very exciting moment." Because they are mechanically so simple, vertical axis windmills promised to be cheaper to build than conventional types, and tests proved them to be almost as efficient. At first it looked as if they might be useful in modest applications such as powering irrigation pumps or generators in the developing countries. But in the chilly wake of the energy crisis, they began to excite attention as tools for the large scale harvesting of wind energy.

The NRC team developed the idea by testing more and larger models, and running computer simulations to identify the conditions under which the turbines would make economic sense. They concluded that such windmills could be useful in places where average wind speeds were high and power relatively costly. Since the wind is unpredictable, and its energy expensive to store, it would best be used to supplement other sources of energy.

These conclusions could hardly have a better site for verification than the Magdalen Islands. Power on the islands comes from generators for which diesel fuel has to be shipped, at considerable cost, from the distant mainland. It is also one of the windiest spots in Canada. The new experimental windmill, though its power capacity is only one per cent of the diesel power plant's, will save fuel by feeding wind energy into the system when available.

Like most prototypes, this windmill was expensive. But the collaborators who built it — the NRC, Hydro-Québec and Dominion Aluminum Fabricating Ltd. — see it as an important step in evaluating the technical and economic prospects of using renewable energy from the wind. The NRC team is now looking at the next generation of vertical axis wind turbines, whose power will be measured in megawatts. "The energy is there, lots of it," says laboratory head Jack Templin, "whether we can do anything with it depends on cost. Right now, the costs are high, but the turbine's potential is enormous." □

Face au vent du large
L'éolienne de l'avenir

John Bianchi

Au milieu du Golfe du Saint-Laurent, se trouvent les Îles de la Madeleine. C'est là, sur une dune peu élevée balayée par le vent de l'océan, que l'on a construit une éolienne d'un type très particulier. Contrairement aux éoliennes classiques, cette machine est constituée de deux pales à profil d'aile fixées à un axe vertical. L'ensemble a la forme d'un ballon de rugby géant de 37 m (120 pieds) de haut et de 24 m (80 pieds) de large. Par bon vent, elle peut injecter jusqu'à 200 kW d'énergie électrique dans le réseau local.

Ce type d'éolienne a été inventé dans les années trente, oublié, puis réinventé au Laboratoire de l'aérodynamique des faibles vitesses du CNRC. Raj Rangi, un des chercheurs qui ont travaillé à sa réalisation, évoque le premier essai en soufflerie: «J'étais stupéfait de voir qu'une chose aussi simple puisse tourner si rapidement et c'est demeuré pour moi un moment inoubliable,» dit-il. En raison de leur simplicité mécanique, les éoliennes à axe vertical devraient être moins coûteuses à construire que les modèles de type classique et leur rendement est presque aussi bon. On les avait d'abord étudiées pour des applications secondaires comme, par exemple, l'alimentation de pompes d'irrigation ou de génératrices dans les pays en voie de développement. Mais les effets de la crise énergétique se faisant sentir, on envisage de les utiliser pour l'exploitation massive du vent.

C'est en étudiant des modèles de plus grandes dimensions et en construisant une théorie pour décrire leur rendement et des modèles mathématiques pour déterminer les conditions de rentabilité que cette idée est venue à l'équipe du CNRC. Leur conclusion est que ces éoliennes seraient utiles là où la vitesse moyenne du vent est élevée et l'énergie électrique relativement coûteuse. Étant donné qu'il n'est pas possible de prévoir quand le vent va souffler et que le stockage de l'énergie produite est coûteux, il semble aussi plus logique de l'utiliser comme source énergétique d'appoint.

Site idéal pour mettre ces conclusions à l'épreuve, les Îles de la Madeleine sont alimentées en électricité par des groupes électrogènes fonctionnant au mazout qui doit être expédié, à prix fort, du continent. Mais c'est aussi un des endroits les plus venteux du Canada. Bien que sa puissance ne soit que d'un pour cent de celle de la centrale Diesel, la nouvelle éolienne expérimentale fera économiser le combustible qui serait nécessaire pour produire une quantité équivalente d'énergie.

Comme la plupart des prototypes, cette installation coûte cher mais les organismes qui l'ont construite ensemble, c'est-à-dire le CNRC, Hydro-Québec et «Dominion Aluminum Fabricating Ltd.», considèrent qu'elle représente une étape importante dans l'évaluation technique et économique de l'exploitation de l'inépuisable énergie éolienne. Les chercheurs du CNRC étudient maintenant la prochaine génération de turbines à axe vertical dont la puissance se mesurera en mégawatts. Laissons la conclusion à M. Jack Templin, chef du laboratoire: «L'énergie est là, elle est abondante, et seuls les coûts peuvent freiner son exploitation. Ces coûts sont actuellement élevés mais le potentiel de la turbine est énorme.»□

SCIENCE DIMENSION

Conseil national de recherches Canada | National Research Council Canada

Vol. 9, N° 3, 1977
ISSN 0036-830

SOMMAIRE

5 Le péril aviaire
Travaux d'un comité du CNRC.

9 Un TRIUMF nucléaire
L'auscultation du noyau atomique.

13 Le percement des tunnels
Une nouvelle technique.

17 L'infographie et l'animation
Que ce qui est caché le reste!

19 Mondes en évolution
L'histoire du système solaire.

22 L'ensemencement des nuages
Pour combattre le feu.

29 Étoile double
A-t-on découvert un trou noir?

Notre couverture: Le rotor de l'éolienne géante des Îles de la Madeleine est descendu avec soin sur sa tour. Installée en mai, cette turbine éolienne de type nouveau est mise en service avec beaucoup de précautions (voir article ci-contre). Avec la permission de Produits Alcan Canada Limitée; photographie par Karl Sliva.

La revue Science Dimension est publiée six fois l'an par la Direction de l'information publique 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 Directeur, Science Dimension, CNRC, Ottawa, Ontario. K1A 0R6, Canada.
Téléphone: (613) 993-3041.

Directeur Loris Racine
Rédacteur en chef Wayne Campbell
Rédacteur exécutif Joan Powers Rickerd
Conception graphique JOHN B Graphics

Birds versus aircraft—
The bird strike hazard

A Committee organized and supported by NRC has been tackling the bird strike problem. They have pioneered a number of techniques to reduce the risks.

Dr. Victor Solman, a biologist with the Canadian Wildlife Service, was in the air counting birds one August day in 1940. Suddenly the pilot of his plane spotted a flock of ducks ahead and swerved to avoid them. He did not see the little blue-winged teal flying above. When its airspace was invaded by a large, noisy machine, the solitary bird panicked and went into a dive.

As anyone who has seen a pebble shatter a car's windshield knows, a light object in a fast-moving collision can pack a powerful punch. Dr. Solman's plane was only travelling at 113 km/h (70 mph) and the bird weighed no more than 0.5 kg (approximately 1 lb.), yet when they collided, a hole as big as a man's fist was left in the wing.

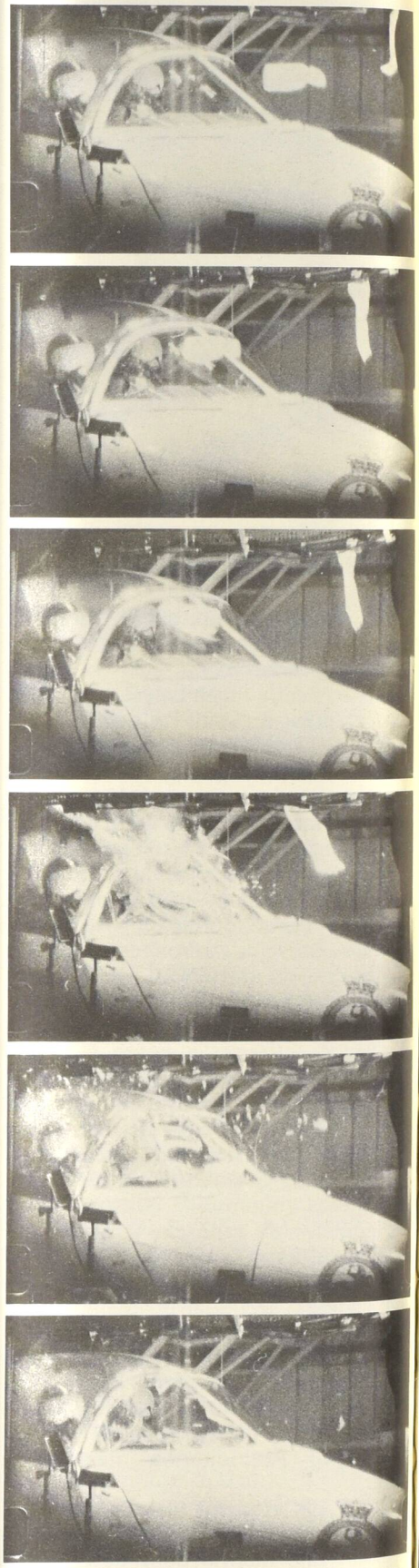
This was Dr. Solman's introduction to a subject he now knows thoroughly, for he became an original member of NRC's Associate Committee on Bird Hazards to Aircraft, a group of experts first mustered in 1963 to study and recommend ways of dealing with bird strikes.

Humans began flying less than a century ago, and almost immediately began colliding with birds, whose primitive ancestors took to the air millions of years ago. Consider the fate of aviation pioneer Cal Rogers, the first man to fly across North America. In 1912, five months after his transcontinental trip, he established another first. A seagull hit his aircraft, jammed his controls and caused him to crash. He became the first person to die as the result of a bird strike.

As aircraft grew in numbers and became faster and larger, the danger posed by bird collisions increased. Fatalities were rare, but dents, cracks and holes, all expensive to repair, became common. Then, with the Second World War, the age of jet propulsion began. Our current ability to transport virtually anything almost anywhere by air was made possible by these new and powerful engines. Unfortunately, such engines are particularly vulnerable to bird strikes. A bird swept into the intake of a jet can bend, crack or break off fan blades which in turn tear up other engine parts in a destructive chain reaction.

In 1960, a modern aircraft taking off from Boston ran into a flock of starlings, lost three turbine engines and crashed, killing more than 60 people. Two years later, a collision with two swans led to another crash near Washington, D.C., in which 17 people died. Such tragedies focussed world attention on the danger of birds. In order to generate a mechanism for dealing with the problem in Canada, the National Research Council formed a committee that included representatives from the major airlines, the Royal Canadian Air Force, the Department of Transport, the Canadian Wildlife Service, the aircraft industry and other agencies. The committee, known formally as the Associate Committee on Bird Hazards to Aircraft, soon found that it had a complex set of problems to remedy for which there was no one best antidote.

The first chairman was Mac Kuhring of NRC's Division of Mechanical Engineering, an expert trouble shooter, and the first solutions sought were engineering ones, such as strengthening aircraft. But the stresses involved in a bird strike can be very large. In 1968, NRC built an air-operated gun to test the strength of aircraft components. When a dead chicken is fired at a target (thus simulating a bird strike), impact forces in the tons are generated by birds weighing only a few pounds, but travelling at speeds of hundreds of miles per hour. Though design standards for aircraft now demand great strength, a completely bird-proof plane would need to be as strong as a tank, making it far too heavy to operate economically. "It did not take us long to figure out that we should concentrate on trying to prevent bird strikes, not withstand them," says Dr. Solman. "That meant getting the birds out of the way."



National Aeronautical Establishment, NRC
Établissement aéronautique national, CNRC

Frames from a high speed film taken at NRC show what happens in a bird strike. A dead chicken, enclosed in a white bag is shot from an air-powered gun. On colliding with an experimental aircraft, the bird shatters the windshield. In real life, such a collision could lead to a fatal crash.

Ces images extraites d'un film réalisé au CNRC montrent ce qui se passe lors d'une collision avec un oiseau. Au moyen d'un canon pneumatique, on a tiré sur un pare-brise d'avion un poulet mort enveloppé dans un sac en plastique blanc et, comme on peut le voir, le pare-brise a éclaté sous l'impact. Dans une situation réelle, cet impact pourrait entraîner l'écrasement de l'appareil.

Ailes de chair contre ailes de fer
Le péril aviaire en aviation

Les travaux d'un comité créé et subventionné par le CNRC pour étudier le péril aviaire ont conduit à la mise au point d'un certain nombre de techniques visant à l'écarter.

Par une belle journée d'août 1940, le Dr Victor Solman, biologiste du Service canadien de la faune, avait pris l'air pour compter les oiseaux. Soudainement, le pilote de son avion effectua une manœuvre brutale pour éviter un vol de canards qui se dirigeaient droit sur lui. Il ne vit pas la petite sarcelle à l'aile bleutée passer au-dessus de l'appareil car l'oiseau solitaire fut pris de panique et exécuta un piqué lorsqu'il s'aperçut que son espace aérien était envahi par une énorme et bruyante machine.

Comme le sait bien toute personne qui a vu un pare-brise d'automobile pulvérisé par un caillou, un objet animé d'une vitesse d'impact élevée représente une force considérable. La vitesse de l'avion du Dr Solman n'était que de 113 km/h (70 milles à l'heure) et le poids de l'oiseau ne dépassait pas 0,5 kg (environ 1 livre), cependant l'impact devait laisser un trou de la grosseur du poing dans l'aile de l'appareil.

C'est ainsi que le Dr Solman en est venu à s'intéresser à un sujet qu'il connaît maintenant dans le moindre détail car il allait devenir l'un des premiers membres du Comité associé du CNRC contre le péril aviaire, comité constitué d'un groupe d'experts qui se sont réunis pour la première fois en 1963 pour étudier le problème posé par les collisions entre les avions et les oiseaux et les moyens de les résoudre.

Il y a moins d'un siècle que les hommes ont commencé à voler et, presque immédiatement, ils sont entrés en collision avec des oiseaux dont les ancêtres primitifs prirent l'air il y a des millions d'années. Prenons le cas de Cal Rogers, ce pionnier qui traversa le premier l'Amérique du Nord. En 1912, cinq mois après son vol transcontinental, il établissait une autre première, cette fois en percutant une mouette qui provoqua le blocage des commandes et l'écrasement de l'appareil. Il devenait la première victime d'une collision avec un oiseau.

À mesure que le nombre, la taille et la vitesse des avions augmentaient, le danger posé par les impacts aviaires s'amplifiait. Les pertes en vies humaines étaient rares mais les déformations, les fissures et les trous dont la réparation est coûteuse, devenaient affaire courante. Puis, avec la Seconde Guerre mondiale, on aborda l'âge du moteur à réaction. Si nous pouvons aujourd'hui transporter pratiquement n'importe quoi n'importe où par air, c'est grâce à ces nouveaux et puissants moteurs qui, malheureusement, sont particulièrement vulnérables aux impacts aviaires. La pénétration d'un oiseau dans l'entrée d'air d'un réacteur peut fausser, fêler ou casser des aubes qui à leur tour détruisent d'autres composantes du moteur suivant une réaction en chaîne destructive.

En 1960, un quadrimoteur décollant de Boston heurta de plein fouet un vol d'étourneaux et, avec trois moteurs en panne, l'avion s'écrasa en entraînant la mort de plus de 60 personnes. Deux ans plus tard, ce sont 17 personnes qui mouraient à la suite d'un écrasement d'avion près de Washington, D.C., causé par une collision avec deux cygnes. Ce sont de telles tragédies qui ont attiré l'attention du monde entier sur le péril aviaire. Pour s'attaquer au problème sur le plan canadien, le Conseil national de recherches décida de créer un comité comprenant des représentants des principales compagnies aériennes, de l'Aviation royale du Canada, de Transports Canada, du Service canadien de la faune, de l'industrie aéronautique et d'autres organismes. Ce comité, officiellement connu sous le nom de Comité associé contre le péril aviaire, devait rapidement découvrir qu'il faisait face à une série de problèmes complexes pour lesquels il n'existait pas de solutions vraiment satisfaisantes.

Sous la direction de son premier président, Mac Kuhring, homme de grandes ressources attaché à la Division de génie mécanique, c'est d'abord vers des solutions technologiques comme la construction d'avions plus solides que le comité s'orienta. Mais les contraintes mises en œuvre par un impact peuvent être très élevées. C'est ce qui a amené le CNRC à construire en 1968 un canon pneumatique pour déterminer la résistance des composantes d'un avion. En tirant un poulet mort sur une cible (pour simuler un impact aviaire), on constate que des forces d'impact se mesurant en tonnes sont engendrées par des volatiles ne pesant que quelques livres mais se déplaçant à des vitesses atteignant plusieurs centaines de milles à l'heure. Bien que les normes actuelles de construction exigent une grande robustesse, un avion parfaitement protégé devrait être aussi résistant qu'un tank, donc beaucoup trop lourd pour que l'on puisse en envisager une exploitation rentable. Écoutons le Dr Solman: «Nous sommes ra-

Associate Committee on Bird Hazards to Aircraft/Comité associé du péril aviaire

Gulls gather at a garbage dump. By removing dumps near airports, the risk of bird strikes has been substantially reduced.

Rassemblement de mouettes près d'un dépotoir. Les risques de collisions ont été considérablement réduits en éloignant les dépotoirs des aéroports.

At the beginning no idea was too foolish to be considered. For instance, one solution contemplated was to beam microwave energy ahead of an aircraft in flight. But this idea was rejected because a beam powerful enough to paralyze birds was not only impractical but could also be harmful to humans in its path.

"Biological solutions have been our most effective contribution," says Dr. Solman. "We have succeeded in getting birds out of the way by making airports less attractive to them." When large airliners take off they cannot readily maneuver, and during part of their climb to cruising altitude they are in airspace much used by birds. This is why almost three quarters of the damage done to civilian aircraft in bird strikes occurs at or near airports, and why airports are where the bird strike problem is most easily tackled.

The Committee surveyed airports across Canada as well as abroad. They found abundant sources of food, water, shelter and space, all of which attract birds, and for each airport they recommended specific changes. "For instance," says Dr. Solman, "if you find a garbage dump near an airport — as we often did — you will be sure to find birds feeding there and digesting their dinners on the open spaces of the airfield." Thanks to pressure from the Committee, almost all garbage dumps have been moved away from Canadian airports. Other bird management techniques, suggested by the Committee and now regularly used, include cutting down pockets of heavy vegetation, draining ponds, stopping agricultural use of airfields, improving waste disposal and driving away bird flocks with noise makers and fireworks or, at one airport, by reviving the medieval art of falconry.

It is hard to quantify the effect of these techniques. One indicator, however, is Air Canada's annual bill for repairs to aircraft damaged in bird strikes; despite a substantial increase in flying hours, it has been halved during the lifetime of the Committee. Another is the fact that no one has ever been killed in a scheduled commercial flight in Canada because of a bird strike, yet Canadians fly more than almost any other people.

The bird strike Committee has published voluminously — from reports on a radar system developed at the NRC to warn air traffic controllers of birds to a handbook entitled, not surprisingly, *Bird Hazards to Aircraft*. The Committee has spawned mechanisms in companies and agencies involved in aviation for continuing their work. Though all the problems posed by bird strikes have not been solved, the Committee has accomplished its task. With Dr. Solman in the chair, it disbanded at the end of 1976.

"It is more than 30 years since I had my first experience with a bird strike," says Dr. Solman. "The damage done then was readily patched. Today, a hefty bird entering the engine of a 747 taking off can cause several hundred thousand dollars worth of damage and endanger the lives of more than 350 people. But thanks partly to the work of our Committee, such a strike is unlikely, and its potential effect minimized. It has been a rewarding experience." □

Sean McCutcheon

Associate Committee on Bird Hazards to Aircraft
Comité associé du péril aviaire

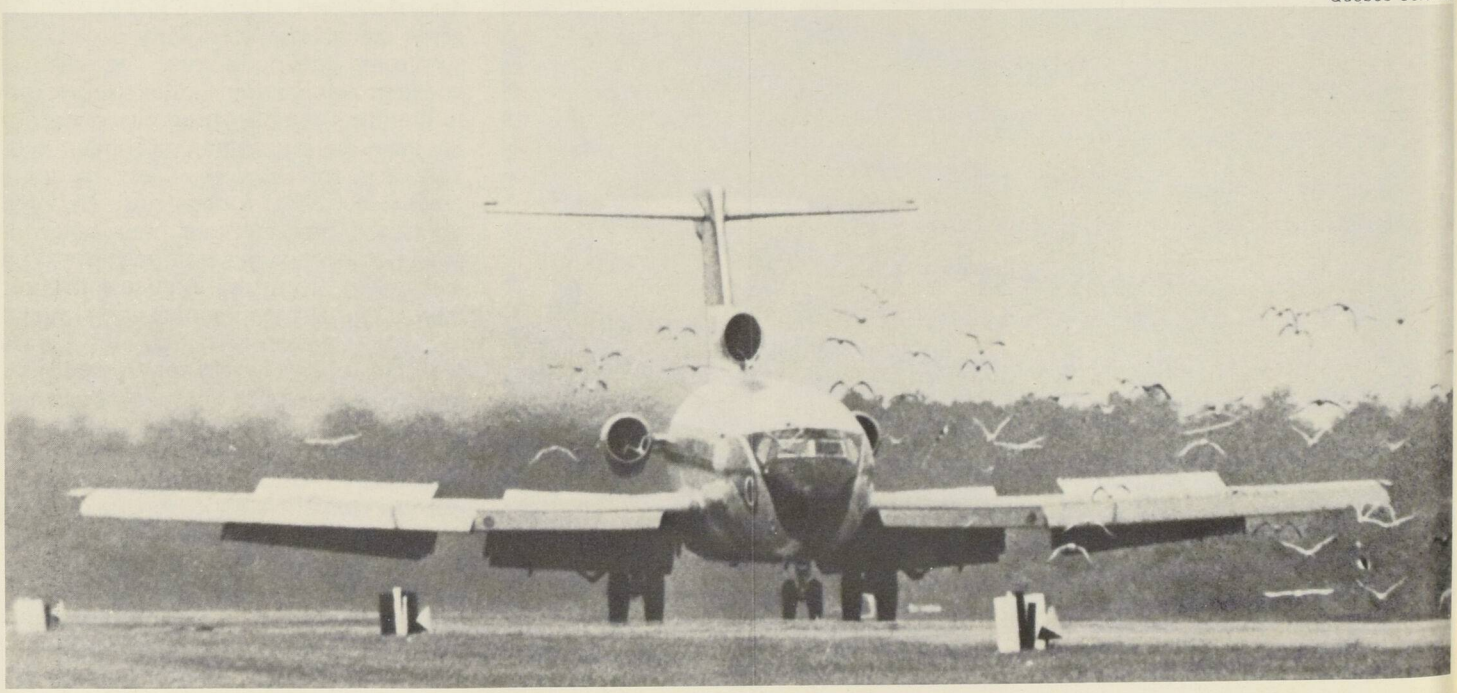
The compressor blades of a jet aircraft, badly damaged in a bird strike.

Ces aubes d'un compresseur de turboréacteur ont été gravement endommagées par l'ingestion d'un oiseau.

Birds flying in the same airspace as aircraft are a grave hazard. In a collision, even small birds can cripple a large aircraft.

Les oiseaux empruntant le même espace aérien que les avions constituent un grave danger pour ces derniers. En cas de collision, même de petits oiseaux peuvent désemparer de gros avions.

Québec Science



pidement arrivés à la conclusion qu'il fallait nous orienter sur la prévention et non sur la résistance et cela signifiait donc qu'il fallait nous débarrasser des oiseaux.»

Au début, aucune solution, aussi insensée qu'elle pût paraître, ne fut rejetée. On a, par exemple, pensé à projeter un faisceau de micro-ondes devant l'avion en vol mais cette idée a dû être abandonnée parce qu'il était impossible d'obtenir une émission suffisamment puissante pour paralyser les oiseaux et qu'il y avait risque d'exposition dangereuse pour les personnes qui se trouveraient dans son champ.

Le Dr Solman poursuit: «Les solutions biologiques sont celles qui se sont avérées les plus efficaces puisque nous sommes parvenus à nous débarrasser des oiseaux en rendant les aéroports moins attrayants pour eux.» Il est difficile aux avions de ligne de manœuvrer pendant le décollage et l'espace aérien qu'ils empruntent pendant une partie de la montée pour atteindre leur altitude de croisière est très fréquenté par les oiseaux. C'est la raison pour laquelle les trois quarts des dégâts occasionnés aux avions civils par des oiseaux se produisent sur ou à proximité des aéroports et que c'est là qu'il est le plus facile de résoudre ce problème.

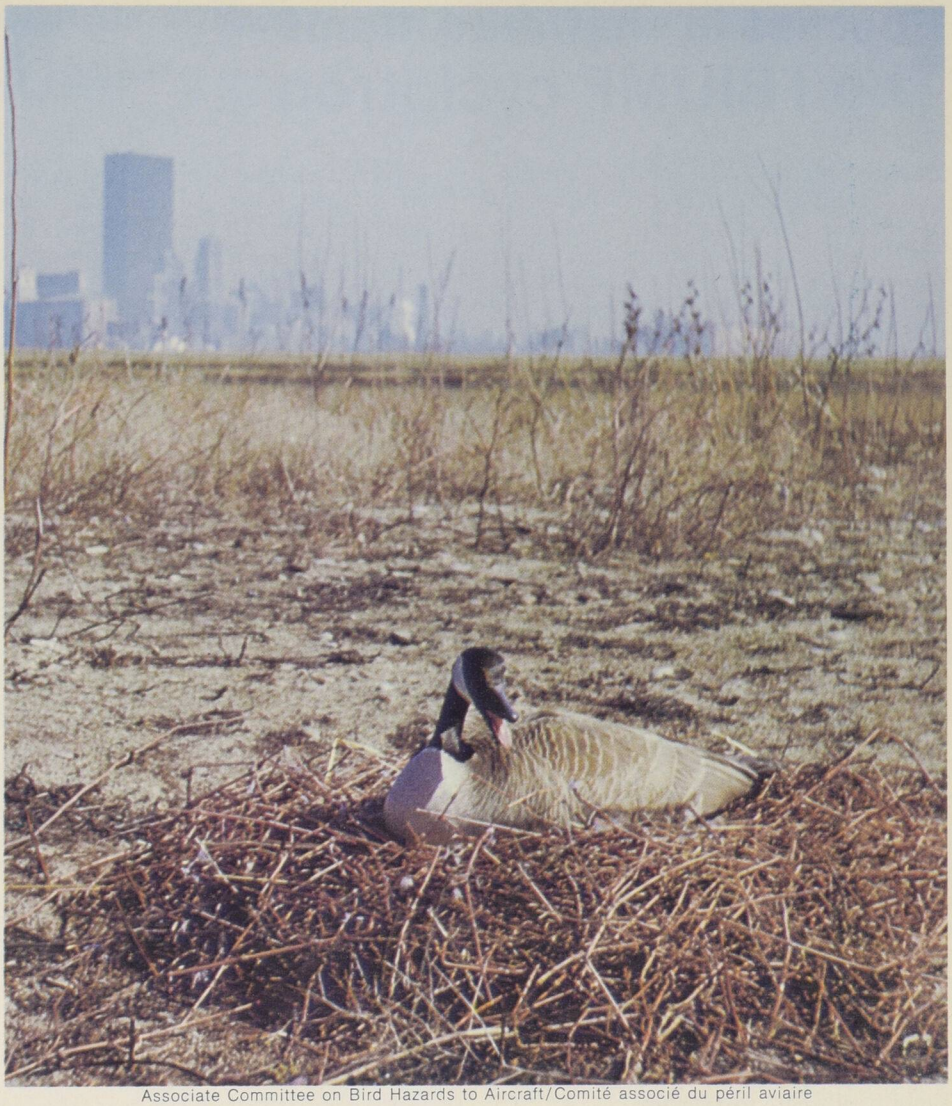
Le comité a étudié les aéroports canadiens et étrangers. Il y a trouvé en abondance ces éléments qui attirent les oiseaux: la nourriture, l'eau, les abris et l'espace, et il a fait des recommandations précises pour chaque cas. «Si, par exemple», nous a dit le Dr Solman, «il existe comme nous l'avons souvent constaté un dépotoir près d'un aéroport, soyez assuré d'y trouver des oiseaux qui s'y nourrissent et qui iront digérer leur repas au beau milieu de l'aérodrome." Grâce aux pressions exercées par le comité presque tous les dépotoirs ont été éloignés des aéroports canadiens. Parmi les autres solutions que le comité a suggérées pour lutter contre le péril aviaire et qui sont maintenant couramment utilisées, mentionnons l'assèchement des marais, la suppression des espaces à végétation dense et de l'utilisation agricole des aérodromes, l'amélioration des méthodes d'élimination des détritus et l'effarouchement des oiseaux par des techniques pyro-acoustiques ou, encore, dans le cas d'un aéroport, en ressuscitant l'art médiéval de la chasse au faucon.

Il est difficile d'estimer le nombre d'accidents évités et les économies réalisées grâce à ces techniques, mais pendant l'existence du comité, et malgré une augmentation importante du nombre d'heures de vol, les frais encourus par Air Canada pour réparer des avions endommagés par des impacts d'oiseaux ont diminué de moitié. On n'a eu d'autre part à déplorer aucune perte de vie humaine résultant d'une collision aviaire au cours d'un vol commercial régulier au Canada; pourtant les Canadiens se classent presque en tête pour l'utilisation de l'avion.

Le Comité associé contre le péril aviaire est à l'origine de nombreuses publications allant d'un rapport sur un système radar mis au point au CNRC pour avertir les contrôleurs de la circulation aérienne de la présence d'oiseaux à un manuel intitulé, comme il fallait s'y attendre, *Bird Hazards to Aircraft* (Le péril aviaire en aviation). Le comité a donné les outils nécessaires aux compagnies aériennes pour qu'elles puissent continuer son travail. Bien que tous les problèmes de collisions n'aient pas été résolus, il a atteint son objectif et a été dissous fin 1976 alors que le Dr Solman en assurait la présidence.

Laissons-lui la conclusion: «Ma première expérience en la matière date de plus de 30 ans et les dégâts furent rapidement réparés mais, aujourd'hui, l'ingestion d'un volatile plus volumineux par le réacteur d'un 747 pendant le décollage peut entraîner des dégâts se chiffrant à plusieurs centaines de milliers de dollars et mettre en péril la vie de plus de 350 personnes. Grâce en partie aux travaux de notre comité, les conséquences d'un tel accident, d'ailleurs improbable, ont été considérablement atténuées et je dois dire que c'est un résultat très encourageant.» □

Texte français: **Claude Devismes**



Associate Committee on Bird Hazards to Aircraft/Comité associé du péril aviaire

A Canada goose nests near the runway of Toronto Island airport. Techniques suggested by the bird strike Committee have made airports across Canada unattractive for birds.

Une Bernache canadienne dans son nid à proximité de l'une des pistes de l'aéroport de l'Île de Toronto. Les techniques recommandées par le Comité associé du CNRC contre le péril aviaire ont permis d'éloigner les oiseaux des aéroports canadiens.

Success in shattered atoms — The TRIUMF cyclotron

The opening of TRIUMF (Tri-University Meson Facility) at the University of British Columbia gives Canada a nuclear particle accelerator that ranks with the best in the world. The funding of this huge cyclotron, originally the responsibility of the Atomic Energy Control Board, is now in the hands of the National Research Council.

The Rt. Hon. Pierre Elliott Trudeau, standing on the 5 m thick concrete shield over the vault housing the TRIUMF cyclotron, voiced the sentiments of most laymen when he observed during the 36 million dollar facility's opening ceremony: ". . . (Canada) is one of three countries pioneering a new field of science — the use of mesons for nuclear physics, nuclear chemistry, and radio therapy. I'm not sure if I could understand this even if you spent some time explaining it to me".

The Prime Minister's comment was well received by other non-scientists in the audience. The lay public, when told that TRIUMF produces isotopes of great value to the medical community, that it may provide a new means of combating tumor growth, and generally allows Canadian physicists and chemists to probe the nature of the atomic nucleus more effectively, still finds the facility difficult to fathom.

TRIUMF's beginnings go back to 1968 and a decision by Canada's Atomic Energy Control Board and four western universities (University of British Columbia, University of Victoria, Simon Fraser University and University of Alberta) to construct a large cyclotron based on a major breakthrough in accelerator technology. Officially opened on February 9, 1976, the multidisciplinary facility ranks as one of three major Meson Factories in the world (the other two are at Los Alamos, U.S.A., and Zurich, Switzerland).

Cyclotron? Meson? The trouble is in the terms. Most people are aware of the modern concept of atomic structure: that all elements in nature have a central nucleus composed of neutron and proton particles, surrounded by orbiting electrons. But where does the meson fit into this solar system model of matter? To find out, it is convenient to consider the cyclotron itself, the machine that produces streams of these mystery particles.

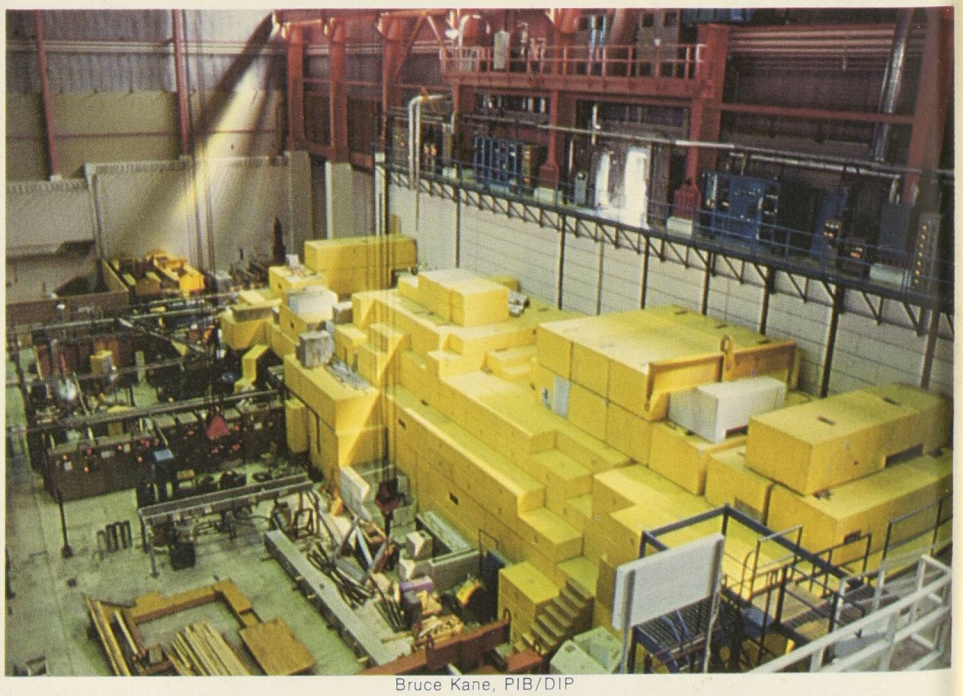
Basically, it is a cylindrical tank with all the air pumped out, positioned in an electromagnetic field. First developed in the 1930's by the American Nobel Laureate Dr. E. O. Lawrence, the cyclotron has a single purpose: to accelerate charged particles such as protons to velocities so great that they can impinge on and smash atomic nuclei in their path. The knowledge gained from these "atom smashers" has been incalculable, virtually creating the field of nuclear physics. Though the technique is complicated, essentially the protons are accelerated around and around, moving outward from the cylinder center at progressively higher velocities to the periphery, where they are tapped off and aimed at target materials (hence the term CYCLOtron).

By almost any standard, the numbers that describe the new Canadian cyclotron are impressive. Where Lawrence's first model could be held in one hand, the TRIUMF tank alone is 56 feet (16.8 m) in diameter and 1.5 feet (.45 m) high, making it one of the largest evacuated chambers in the world (the tie rods supporting the top must resist an atmospheric pressure load of 2700 tons [2 430 t]). The specially designed magnets, six graceful, pinwheel shapes that uniformly sector the circular chamber and achieve a field intensity almost precisely to specifications, weigh 700 tons (630 t) each. The entire machine is enclosed inside a room whose roof and walls are steel-reinforced concrete 16.4 feet (5 m) thick.

As research physicist, Dr. Patrick Walden explains: "the type of charged particle injected into TRIUMF is not a proton, but a negatively charged hydride ion (a proton with two orbiting electrons)." Why? "Because the problem with cyclotrons has always been getting the proton beam out" he says. "It wants to keep going around and around. When hydride ions are used, however, you can extract the beam simply by placing a metal foil in its path, which strips off the electrons allowing the protons to pass through. The beam charge is thus reversed from negative to positive, causing it to deflect out of the cyclotron and toward a selected target."

In fact, TRIUMF's great versatility is its capability of extracting two or more beams simultaneously, each of which can be varied over a wide range of energies simply by moving the metal foil's position.

Because of TRIUMF's sheer size, a



Bruce Kane, PIB/DIP

Looking down on the main floor of the TRIUMF facility. The cyclotron, with two proton beam lines in operation, is used primarily by Canadian scientists but experiments are also carried out by research teams from the international scientific community.

Le niveau principal de TRIUMF vu du dessus. Le cyclotron à deux faisceaux de protons est surtout utilisé par des scientifiques canadiens, cependant des groupes de chercheurs étrangers s'en servent également pour des expériences.

Une désintégration constructive
Le cyclotron TRIUMF

La mise en service de TRIUMF (Tri-University Meson Facility) à l'Université de la Colombie britannique, dote le Canada d'un accélérateur de particules nucléaires qui se classe parmi les plus puissants du monde. À l'origine placé sous la responsabilité de la Commission de contrôle de l'énergie atomique, le financement de cet énorme cyclotron a été maintenant confié au CNRC.

Lors de l'inauguration de l'installation nucléaire de 36 millions de dollars, le très honorable Pierre Elliott Trudeau, se tenant debout sur l'enceinte blindée en béton de 5 m d'épaisseur du cyclotron TRIUMF, a exprimé les sentiments de la plupart des profanes en déclarant: «. . . (le Canada) est un des trois pays au monde faisant œuvre de pionnier dans le nouveau domaine scientifique qu'ouvre l'utilisation de mésons en physique nucléaire, en radiochimie et en radiothérapie. Je doute qu'il me soit possible d'en comprendre le fonctionnement même si vous passez beaucoup de temps à me l'expliquer.»

La remarque du Premier ministre a été bien reçue par les non-spécialistes de l'auditoire. Non seulement les isotopes produits par TRIUMF sont-ils d'une très grande importance pour la médecine, notamment pour le traitement des tumeurs, mais ils permettent également aux physiciens et aux chimistes canadiens d'approfondir l'étude du noyau atomique. Le public averti n'en a pas moins éprouvé beaucoup de difficulté à saisir toutes les possibilités de cette installation.

TRIUMF a vu ses débuts en 1968, lorsque la Commission de contrôle de l'énergie atomique du Canada et les universités de l'ouest du pays (les Universités de la Colombie britannique, de Victoria, de l'Alberta et l'Université Simon Fraser) décidèrent de construire un grand cyclotron mettant à profit d'importants progrès réalisés dans la technologie des accélérateurs. Officiellement mise en service le 9 février 1976, cette installation pluridisciplinaire est l'une des trois importantes «fabriques de mésons» en service dans le monde (les deux autres se trouvant à Los Alamos, aux États-Unis, et à Genève, en Suisse).

Cyclotron? Méson? La difficulté réside dans les termes. Les gens ont en général une notion de la structure atomique qu'on connaît aujourd'hui et d'après laquelle chaque atome contient un noyau composé de neutrons et de protons et entouré d'électrons. Cependant à quoi correspond le méson dans cette structure à l'image du système solaire? Une description du cyclotron, générateur de ces particules, nous permettra d'élucider ce mystère.

En gros, il s'agit d'un réservoir cylindrique dans lequel règne le vide et qui est soumis à un champ électromagnétique. Conçu à l'origine en 1930 par le Dr E. O. Lawrence, lauréat d'un Prix Nobel, le cyclotron a pour seul et unique but de doter des particules ionisées, des protons par exemple, de vitesses croissantes très poussées, leur permettant d'entrer en collision avec les noyaux atomiques qui se trouvent sur leur trajectoire et de les briser. Les connaissances acquises à l'aide de ces «casseurs d'atomes» sont inestimables; elles ont pratiquement donné naissance au domaine de la physique nucléaire. La technique observée, bien que compliquée, consiste en réalité à accélérer les protons qui suivent une trajectoire en spirale s'éloignant progressivement du centre pour être captés à la périphérie et dirigés sur une cible, d'où le nom de cyclotron.

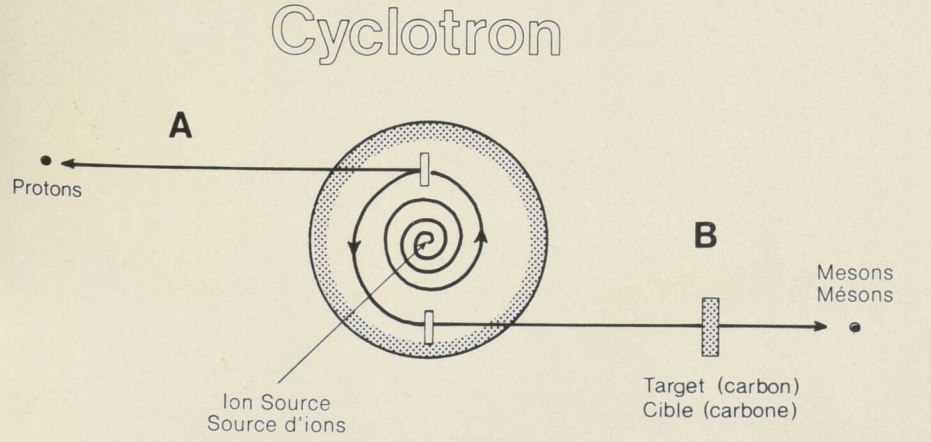
À tous points de vue, le nouveau cyclotron canadien est impressionnant. Alors qu'on pouvait tenir dans une main le premier modèle conçu par le Dr Lawrence, TRIUMF, par contre, a à lui seul un diamètre de 16,8 m (56 pieds) et une hauteur de 0,45 m (1,5 pied), ce qui en fait une des plus grandes chambres à vide du monde (la structure qui supporte la base supérieure a été construite de façon à résister à une force de 2 430 t (2 700 tonnes) due à la pression atmosphérique). Six aimants hélicoïdaux de 630 t (700 tonnes) chacun divisent uniformément la chambre circulaire et créent un champ magnétique d'une intensité très proche de l'intensité correspondant aux spécifications. L'ensemble du dispositif est enfermé dans une pièce dont les parois sont en béton armé de 5 m (16,4 pieds) d'épaisseur.

Le Dr Patrick Walden, qui effectue des recherches en physique, a expliqué que «les particules ionisées, injectées dans TRIUMF, ne sont pas des protons mais des ions d'hydrogène anionique (des protons portant deux électrons). Avec les techniques courantes, il est très difficile d'extraire le faisceau de protons car il s'obstine à tourner en rond. Cependant, lorsqu'on utilise de l'hydrogène anionique, il suffit de placer une feuille métallique sur la trajectoire du faisceau pour l'extraire. La feuille métallique retient les électrons et laisse passer les protons. De ce fait, la charge qui était négative devient positive et les protons obtenus sont repoussés hors du cyclotron, vers la cible choisie.»

En réalité, TRIUMF est très polyvalent car il permet d'extraire simultanément deux ou plusieurs faisceaux de protons dont l'énergie peut être amplement modulée par simple changement de position de la feuille métallique.

Grâce à sa taille imposante, à la disposition particulière des aimants qui permet une convergence très précise du faisceau, à l'utilisation d'hydrogène anionique qui rend l'extraction efficace et à l'ultravide, TRIUMF peut produire des faisceaux de protons intenses d'une énergie proche de 520 MeV. Autrement dit, à la sortie du dispositif, les protons atteignent une vitesse approchant les trois quarts de la vitesse de la lumière.

Lorsque ces protons sont dirigés sur du carbone ou du béryllium par exem-



John Bianchi

unique magnet arrangement that keeps the beam tightly focussed, the use of hydride ions for efficient extraction, and an ultra-high vacuum, it can produce intense proton beams of energies approaching 520 MeV. Roughly translated, this means that the protons are travelling at about 75% the speed of light when they leave the machine.

Aimed at a suitable material such as carbon or beryllium, the protons shatter the target nuclei, spraying the "nuclear glue" that binds the protons and neutrons in all directions. Meson particles, carrying positive charges, negative charges, or no charge at all, make up this subatomic bonding agent.

"The mesons are scattered in all directions," says Walden, "To get a meson beam of acceptable intensity, the proton beam needs to be very intense indeed."

The mesons produced immediately on shattering the nucleus are pi-mesons or "pions", particles finding valuable use in cancer therapy experiments. Pions, which exist for only a few one-hundred-millionths of a second — long enough to travel several feet down a beam line — release energy to become mu-mesons, or "muons". Chemists at the facility are transforming their science in an experimental area referred to as "muonium chemistry".

Comments Pat Walden: "TRIUMF's powerful proton beam thus enables scientists to work with several types of subatomic particle beams: pions, muons, neutrons (formed in other proton-nucleus collisions) and, of course, protons themselves."

Most of the experiments that physicists and chemists carry out at the Facility are in the realm of esoterica even for scientists in other fields, but some have practical orientations. Though TRIUMF is primarily a basic research facility, with goals rising out of a simple curiosity to understand the nature of the atomic nucleus, some projects under way have practical spin-offs on the more immediate horizon.

Some examples:

Negatively charged pions are being used by the Batho Biomedical Facility (a lab at TRIUMF operated by the B.C. Cancer Foundation) to arrest the growth of cancer tumors. The great advantage of pions over gamma rays (from conventional cobalt 60 beam therapy for example) is that the damage they cause increases as they penetrate the tissue, rather than the reverse. Gamma rays do their worst damage at the tissue surface.

The proton beam is being used to create the isotope iodine-123. Because of its half-life of only a few hours, I^{123} is invaluable to doctors in diagnosing thyroid disorders. This short-lived isotope provides a thyroid "scan" or picture safe from long-lasting radiation effects.

The proton beam is also being employed to investigate the creation of new fuels for atomic reactors. A feasibility study is under way using protons to bombard the element thorium, transforming it into uranium-233, a fissionable isotope.

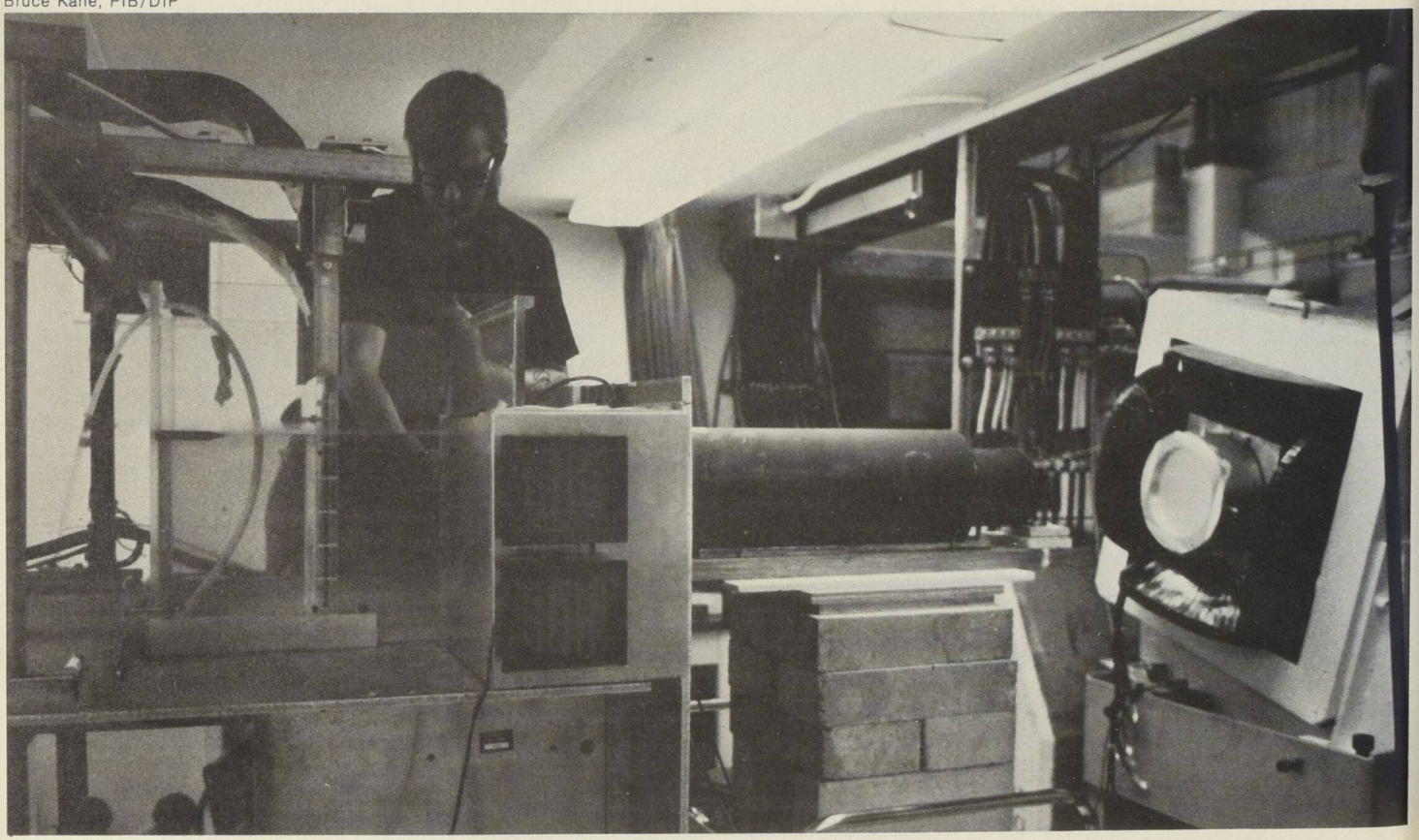
A rationale for TRIUMF's cost? In part, perhaps, but these down-to-earth practical benefits from such an abstruse facility illustrates a point made in the Prime Minister's dedication address. It concerned the discovery of electromagnetic induction in the mid-nineteenth century by the great English physicist Michael Faraday. ". . . he was visited by a politician, it appears, who sort of said — well — what's the good of all this? And Faraday, so the story goes, replied, 'Someday sir, you will collect taxes from this'." □

Wayne Campbell

A biophysicist readies a tank for testing the effects of mesons on living systems at the Batho Biomedical laboratory attached to TRIUMF. A beam of "pions" or pi-mesons, is not only more effective at arresting tumor growth than conventional techniques such as cobalt 60 radiotherapy, it is far less destructive to surrounding healthy tissues.

Au Batho Biomedical Laboratory dépendant de TRIUMF, un biophysicien prépare une cuve pour étudier l'effet des mésons sur des organismes vivants. Le faisceau de «pions» ou mésons pi est non seulement plus efficace que les techniques conventionnelles au cobalt 60 pour les thérapies anticancéreuses, mais il est aussi beaucoup moins dangereux pour les tissus sains périphériques.

Bruce Kane, PIB/DIP



ple, ils fracassent le noyau des atomes de ces éléments, envoyant de tous côtés des éclats du «ciment nucléaire» qui relie les protons et les neutrons. Les mésons qui peuvent être positifs, négatifs ou neutres, constituent ce lien nucléaire.

«Les mésons sont éparpillés dans toutes directions», a indiqué le Dr Walden. «Pour obtenir un faisceau de mésons d'intensité acceptable, l'intensité du faisceau de protons doit être vraiment très élevée.»

Les mésons produits immédiatement après le fracassement du noyau sont des mésons pi ou «pions», de grande importance pour la recherche sur les thérapies anticancéreuses. Les pions, dont l'existence n'est que de quelques cent millionièmes de seconde (durée suffisante pour parcourir plusieurs pieds le long de la trajectoire du faisceau), libèrent de l'énergie et se transforment en mésons mu ou «muons». Les chimistes qui travaillent au sein de cette installation s'orientent de plus en plus vers un domaine expérimental de leur science qui est la «chimie des muons».

Pat Walden a encore remarqué que «le puissant faisceau de protons produit par TRIUMF permet aux scientifiques de travailler avec toute une gamme de faisceaux de particules nucléaires: pions, muons, neutrons (provenant d'autres collisions entre les protons et le noyau) et, bien entendu, avec les protons eux-mêmes.

La plupart des expériences que les physiciens et les chimistes effectuent au sein de cette installation relèvent de l'ésotérisme même pour les autres scientifiques. Bien que TRIUMF soit essentiellement un centre de recherche fondamentale dont les objectifs sont motivés par un pur désir d'élucider la nature du noyau atomique, certains projets en cours portent sur des applications pratiques plus immédiates et les exemples suivants nous le montrent bien.

Au Batho Biomedical Facility, un laboratoire de la BC Cancer Foundation, on se sert de pions à charge négative pour le traitement de tumeurs cancéreuses. L'avantage de ces particules sur les rayons gamma utilisés dans les méthodes thérapeutiques conventionnelles, avec le cobalt 60 par exemple, réside dans le fait que, contrairement à celui-ci dont les effets se manifestent à la surface des tissus, leur action destructrice augmente avec la profondeur de la pénétration.

On utilise également des faisceaux de protons pour la production d'iode 123, dont la période radioactive n'est que de quelques heures. Étant donné sa courte durée radioactive, cet isotope présente une valeur inestimable pour le diagnostic de troubles thyroïdiens car il permet de faire des examens sans avoir à exposer les sujets à un effet radioactif de longue durée.

Les faisceaux de protons trouvent aussi des applications dans la recherche de nouvelles sources d'énergie pour les réacteurs atomiques. On étudie actuellement une méthode qui consiste à bombarder du thorium pour le transformer en uranium 223, qui est un isotope fissible.

Le coût de TRIUMF est-il justifié? Peut-être en partie, et pour illustrer cette situation et souligner l'utilité des applications de cette installation abstruse, le Premier Ministre a raconté l'anecdote suivante: «Lorsque le grand physicien anglais, Michael Faraday, découvrit le phénomène de l'induction électromagnétique, au milieu du 19e siècle, il reçut visite d'un homme politique qui, paraît-il, lui demanda «eh bien, à quoi bon tout cela?» ce à quoi Faraday répondit: «un jour, votre excellence, à ce compte-là, des taxes on payera» . . . □

Texte français: **Annie Hlavats**

Dr. Patrick Walden in the TRIUMF control room.

Le Dr Patrick Walden dans la salle de commande de TRIUMF.

Bruce Kane, PIB/DIP

Tunnelling—
Exploring the subsurface

In cooperation with Canadian consulting engineers and the City of Thunder Bay, the Division of Building Research has sponsored and participated in the instrumentation of a unique tunnel.

"The rabbit-hole went straight on like a tunnel . . . then dipped suddenly, so suddenly that Alice had not a moment to think about stopping herself. Down. Down. Down. She looked up, but it was all dark overhead; before her was another long passage . . . there were doors all round . . ."

Lewis Carroll's underground adventures of Alice in Wonderland have fascinated children for over a century. Throughout the years, underground tunnels have also caught the imagination of movie and television producers. Today, scientists, engineers and city planners are taking a closer look at underground development as a means of providing additional space in crowded cities, saving energy, reducing building costs and preserving valuable land resources.

In antiquity, there are many examples of tunnelling for dwellings, tombs, water supplies and drainage. With population increases and the growth of cities, mass transportation became a problem and London was the first city in the world to recognize the advantage of subways, opening its first section of tunnel to traffic in 1863. Others followed: Paris, Berlin, Moscow, in Europe; Tokyo in Japan; New York, Boston, Philadelphia and Chicago in the United States, and Montreal and Toronto in Canada.

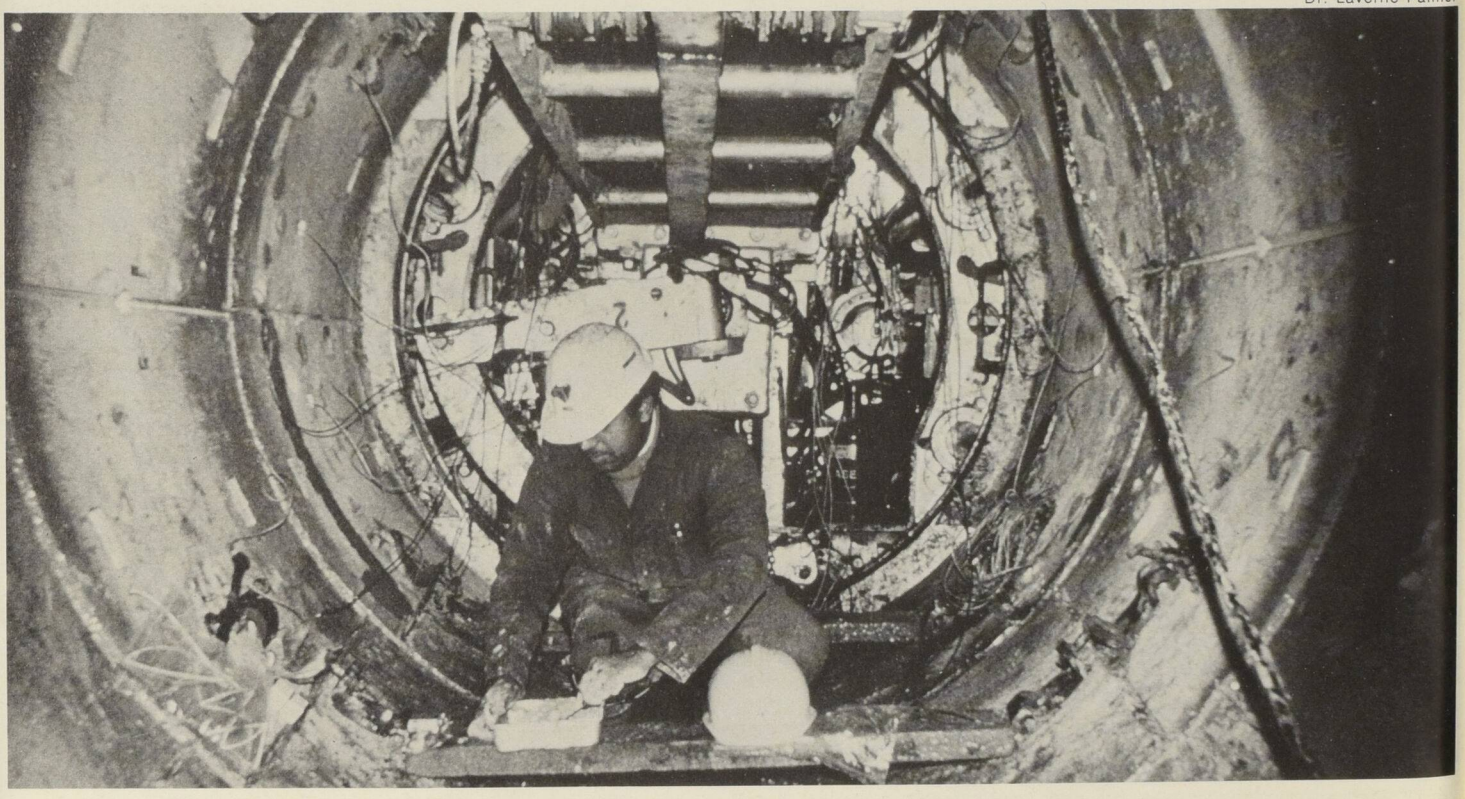
Today, most major cities of the world are putting underground space to use in a variety of ways: Missouri leads in the use of underground space in the United States with 28 subsurface sites in varying stages of development in the Kansas City area. Offices, factories and warehouses occupy space some 30 to 200 feet (10-60 m) below the surface. Here, the controlled humidity permits a printing company to maintain better quality control and a sailboat company finds that lacquers and glues dry more quickly; the Brunson Instrument Company that manufactured the surveying instruments used on the moon can now make precise instrument calibrations at any hour of the day or night in the vibration-free environment. At the Company's previous surface location, this work could only be carried out in the relatively traffic-free hours between 2 and 4 a.m.; many cities have underground parking and shopping centers — the Place Ville Marie in Montreal was one of the first and remains one of the most extensive underground complexes in North America; in Japan, one major development in Tokyo alone comprises some 350 enterprises; in Poland, an unusual use of underground space has been made in one of the oldest salt mining areas of Europe. A specialist developed the theory that the salt-particle intensity in the air of the mine and its deep underground location might assist sufferers of respiratory diseases. Initially, a 35-bed "hospital" was set up at a depth of 700 feet (210 m), and results have been so encouraging that the Polish government has expanded it to 500 beds!

"Although tunnelling is still basically an art," explains Dr. Laverne Palmer of the National Research Council's Division of Building Research, "scientific influence is becoming commonplace due to the combination of improved technology, increasingly difficult ground conditions, higher labor costs and other economic pressures." These factors have spurred on the

Working conditions for instrument installation in a tunnel are always wet, dirty and often cramped. Here, the precast lining becomes a protective shell in which people can work in safety.

Les conditions de travail à l'intérieur des tunnels sont rendues désagréables par l'eau, la saleté et l'encombrement. Ici, le revêtement préfabriqué constitue une coquille protectrice qui assure la sécurité des ouvriers.

Dr. Laverne Palmer



Nouvelle taupe mécanique

Le sous-sol à la fouille

En collaboration avec des ingénieurs-conseils canadiens et la ville de Thunder Bay, la Division des recherches en bâtiment a collaboré au percement d'un tunnel unique en son genre et à son instrumentation.

"Ce terrier s'étend, droit comme un tunnel; puis il s'interrompt si brusquement que, le sol manquant tout à coup sous ses pas, Alice se sent tomber dans un puits . . . Elle essaye d'abord de voir ce qu'il y a au-dessous d'elle mais l'obscurité l'empêche de rien distinguer. Son regard se porte alors sur les parois du puits, qui sont garnies de portes . . ."

Les aventures souterraines d'Alice au pays des merveilles de Lewis Carroll ont fasciné les enfants pendant plus d'un siècle. Au cours des années, les tunnels souterrains ont suscité un grand nombre de thèmes dans le domaine du cinéma et de la télévision. Aujourd'hui, les scientifiques, les ingénieurs et les urbanistes étudient de plus près l'utilisation du sous-sol, qui est un moyen de procurer de l'espace supplémentaire aux villes à forte densité urbaine, d'économiser de l'énergie, de réduire les frais de construction et de préserver les précieux espaces urbains.

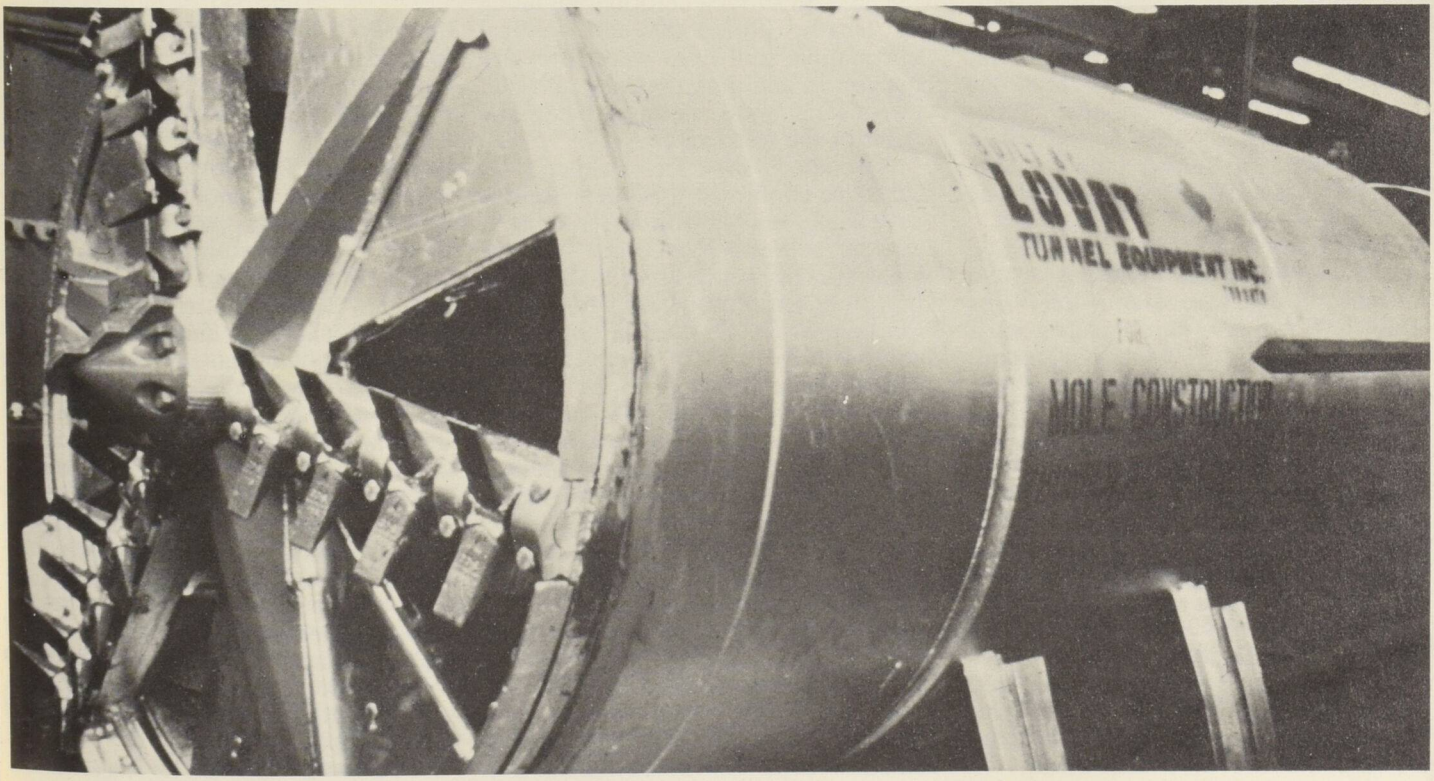
On perçait déjà des tunnels dans l'antiquité pour la construction de logis, de tombes, de réservoirs d'eau et de canalisations. Au fur et à mesure que la population et la taille des villes augmentaient, les transports publics présentaient plus de problèmes; Londres fut la première ville au monde à reconnaître l'avantage des moyens de transport souterrains et, à cette fin, un premier tunnel fut percé en 1863. Peu après, Paris, Berlin et Moscou, en Europe, Tokyo au Japon, New York, Boston, Philadelphie et Chicago, aux États-Unis, et Montréal et Toronto, au Canada, adoptèrent cette solution.

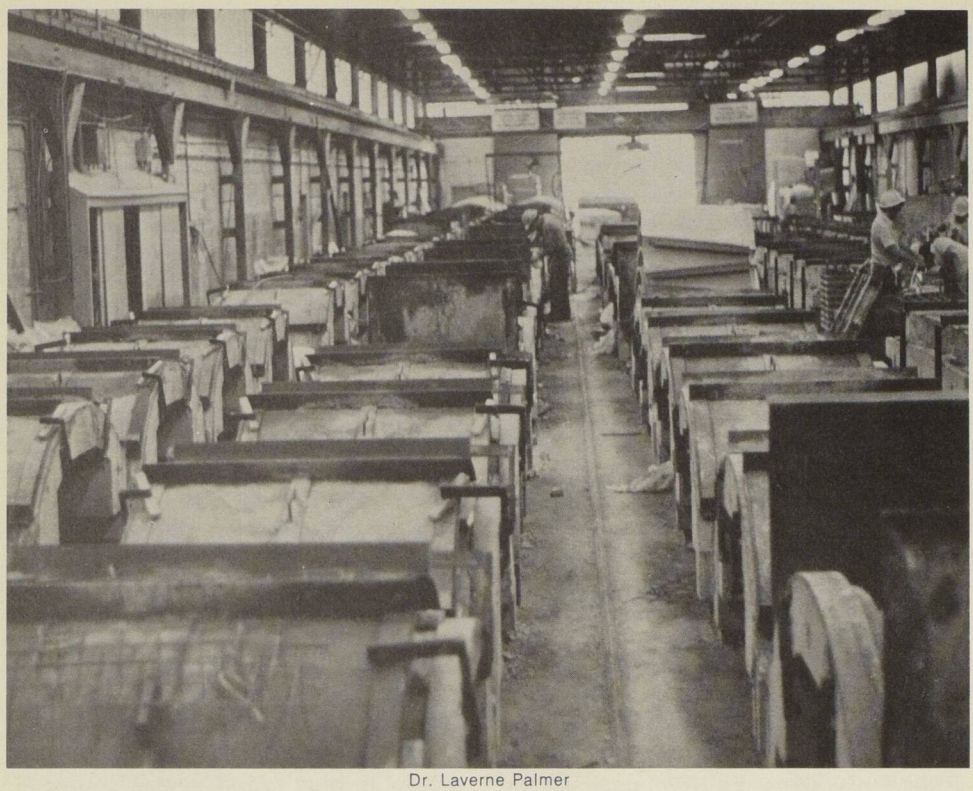
Aujourd'hui, la plupart des grandes villes du monde s'orientent vers l'utilisation du sous-sol de plusieurs façons: l'État du Missouri est le premier aux États-Unis dans ce domaine, et on compte dans la région de Kansas City 28 sites de travaux souterrains à différents stades de leur développement. Des bureaux, des usines et des entrepôts sont aménagés à des profondeurs atteignant de 10 à 60 m (30 à 200 pieds) sous la surface. À ce niveau, la régulation de l'hygrométrie permet aux imprimeries, par exemple, d'exercer un meilleur contrôle sur la qualité; ces conditions permettent également un séchage plus rapide des laques et des colles utilisées par une fabrique de voiliers; la compagnie Brunson Instrument qui a fabriqué les instruments topographiques utilisés sur la lune peut maintenant régler ses instruments avec précision à n'importe quelle heure du jour ou de la nuit dans un milieu exempt de vibrations; lorsque les locaux de cette compagnie étaient situés en surface, cette opération ne pouvait être effectuée que lorsque la circulation était pratiquement inexistante, c'est-à-dire entre 2 h et 4 h du matin. De nombreuses villes ont des garages et des centres d'achats souterrains — la Place Ville Marie, à Montréal, a été le premier et demeure le plus grand centre souterrain d'Amérique du Nord; à Tokyo au Japon, un important complexe industriel souterrain compte à peu près 350 entreprises; en Pologne, au sein d'une des plus anciennes mines de sel d'Europe, on trouve un exemple peu commun d'établissement souterrain. Intéressé par la théorie d'un spécialiste qui montrait que les particules de cristaux de sel contenues dans l'air de la mine et l'effet de l'emplacement sou-

Tunnel boring machine resembles a mechanical earthworm. As the cutting head rotates, soil enters the machine and is carried on a conveyor belt to waiting muck cars.

La foreuse ressemble à un ver de terre mécanique. Au fur et à mesure qu'elle avance, la terre est envoyée à l'intérieur de la machine et évacuée à l'aide de wagonnets alimentés par un transporteur à bande.

Dr. Laverne Palmer

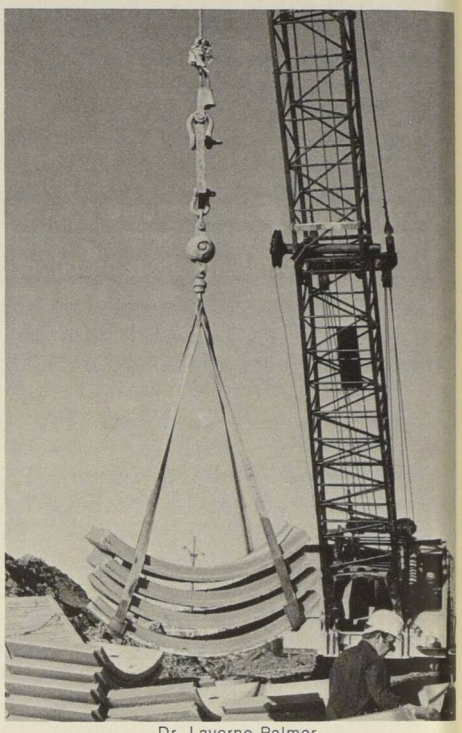




Dr. Laverne Palmer

The factory-like conditions in Pre-Con Limited's casting plant in Brampton ensured high quality, high strength concrete tunnel segments.

Les procédés élaborés de l'usine de coulage Pre-Con Limited ont permis d'obtenir des segments de tunnel en béton de haute qualité et de forte résistance.



Dr. Laverne Palmer

One meter of tunnel. The four segments fit together without bolts to form one ring of the lining.

Un mètre de tunnel. L'assemblage de ces quatre sections se fait par emboîtement et n'exige aucun boulon.

development and use of tunnel boring machines to replace manual excavation and have led to a reassessment of tunnel lining systems.

Recently, the Division of Building Research, in cooperation with Canadian consulting engineers and the City of Thunder Bay, sponsored and participated in the instrumentation of a unique tunnel. That city has undertaken a $40-million program to merge and modernize sewage treatment and collection facilities. As part of the program, tenders were called for a two-mile (3.3 km) section of sanitary trunk sewer. The successful low bid was based on the use of a tunnel boring machine together with a segmented precast concrete tunnel lining — the first proposed use of such a technique in North America.

The traditional method for lining tunnels in soft ground consists of two stages: during excavation, steel ribs and timber planks are erected as a primary support to hold the ground; later the tunnel is lined with concrete. These procedures are costly and time-consuming. The new technique is a significant improvement in tunnelling technology. The tunnel boring machine, designed and built in Canada and specially modified to handle the "flexible" precast concrete lining, excavates as it advances, and the lining which is assembled within the protection of the tailpiece of the machine serves as both the primary liner and the final tunnel lining. This "all-in-one" operation represents substantial savings in both time and money. In addition, the precast lining becomes a protective shell in which people can work in safety.

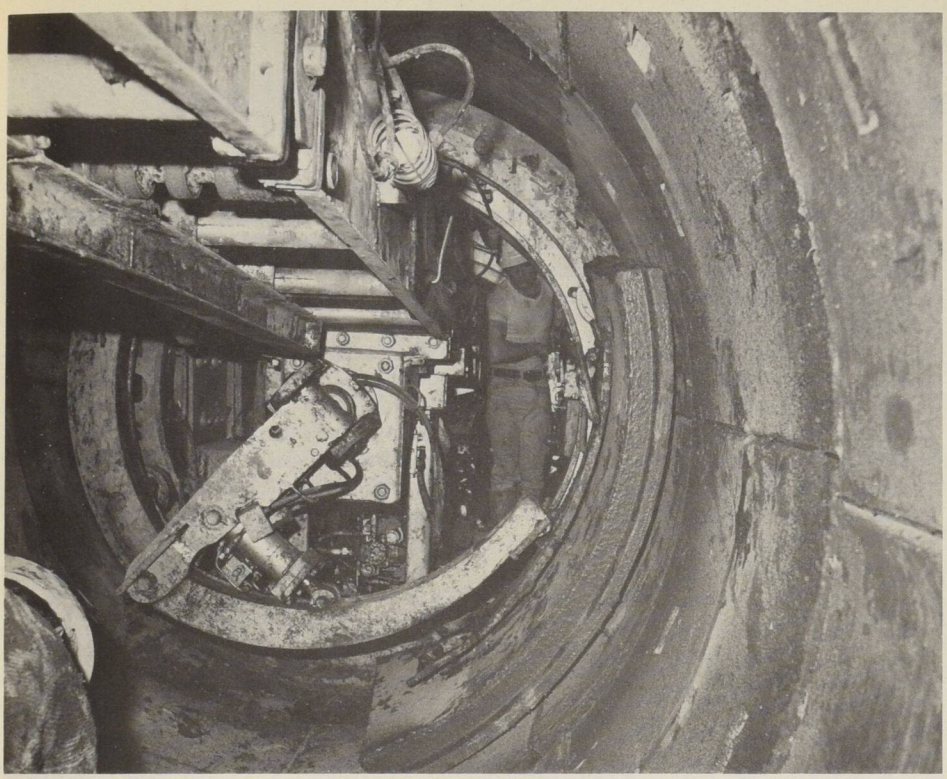
Because of the unique nature of the project and the known difficulties of the subsoil conditions, an extensive field instrumentation program monitored the tunnelling procedure and the performance of the completed tunnel. A section of tunnel almost 200 feet (60 m) in length was selected for the first array of instrumentation to provide data on surface deformation along the length, horizontal and vertical deformation, and pore water pressure changes. In addition, pressure cells and stressmeters were installed near the center of the test section.

"To date," says Dr. Palmer, "all data have confirmed that the system is performing well in soft clay. It is at least as successful as other conventional systems being used in the same soil conditions. Production figures have been impressive — rates of about 177 feet (54 m) per day of completed tunnel have been achieved."

At present, Canada does not have a pressing need to make extensive use of underground space because there is still plenty of surface space available. But as costs above ground escalate, underground housing, for example, could turn out to be an attractive alternative. For one model home it has been claimed that energy savings alone amounted to some 60 per cent and construction costs were about 25 per cent less. Other advantages of subsurface construction are lower maintenance costs, easily controlled temperature and humidity, improved sound proofing and reduced susceptibility to environmental damage.

"What we'll see first in Canada," says Laverne Palmer, "is more use of the underground by industry — we already have a good deal — underground shopping centers, offices, warehouses — even libraries." Warehouses are particularly suited to underground location as they are usually one-storey buildings close to cities, are not very pleasing to look at and require much valuable land area. The Niagara escarpment is an example of the type of space which may be mined out for industrial use. "But some form of underground housing will come eventually," says Dr. Palmer, "and with improvements in underground construction such as we have seen, perhaps sooner than is commonly thought. My involvement is to keep abreast of developments, and if a need arises, to offer advice and technical assistance. The Thunder Bay project has been one case in point." □

Joan Powers Rickerd



R. V. Anderson Assoc.

An ingenious erector arm permits easy assembly of the tunnel lining within the tailpiece of the machine.

Un bras extenseur ingénieux permet un assemblage facile du revêtement à l'intérieur de la partie arrière de la machine.

terrain aidaient à guérir les maladies des voies respiratoires, le gouvernement polonais a fait construire un hôpital de 35 lits à une profondeur de 210 m (700 pieds). Les résultats ont été si satisfaisants qu'on a dû agrandir cet hôpital qui compte aujourd'hui 500 lits!

«Bien que le percement de tunnels soit encore essentiellement un art», explique le Dr Laverne Palmer, de la Division des recherches en bâtiment du Conseil national de recherches, «il fait de plus en plus appel à la science qui aide à surmonter les difficultés géologiques et économiques pressantes, notamment le coût toujours croissant de la main-d'œuvre.» Ces difficultés ont encouragé le perfectionnement et l'usage de foreuses en vue d'automatiser les excavations et ont conduit à une réévaluation des types de revêtements utilisés.

En collaboration avec des ingénieurs-conseils canadiens et la ville de Thunder Bay, la Division des recherches en bâtiment a collaboré au percement d'un tunnel unique en son genre et à son instrumentation. Cette ville a entrepris un programme de 40 millions de dollars visant à fusionner et à moderniser les systèmes de traitement des eaux-vannes et de ramassage des ordures. Dans le cadre de ce programme, on a lancé des appels d'offres pour la construction d'un réseau d'égouts de 3,3 km (2 milles). La meilleure offre impliquait l'utilisation combinée de la foreuse et d'un revêtement constitué de segments préfabriqués en béton; c'était la première fois qu'on proposait une telle technique en Amérique du Nord.

Les méthodes classiques de revêtement des tunnels creusés dans des couches de terrain tendre, suivent deux étapes: au fur et à mesure que les excavations progressent, des nervures d'acier et des étais de bois sont mis en place pour retenir les terres, après quoi les parois du tunnel sont revêtues de béton. Ce procédé est coûteux et lent. La nouvelle méthode découle de progrès considérables dans le domaine de la technologie du percement des tunnels. La foreuse conçue et construite au Canada a été spécialement modifiée pour permettre l'utilisation d'un revêtement préfabriqué en béton, d'utilisation facile. Cette machine excavatrice avance tout en creusant et pose le revêtement qui est assemblé en toute sécurité grâce à la protection offerte par la machine. Le revêtement sert à son tour de couche primaire et finale et constitue une coquille protectrice dans laquelle il est possible de travailler en toute sécurité. Cette opération simplifiée permet de réaliser une économie considérable de temps et d'argent.

Étant donné l'originalité de ce projet et les conditions difficiles que présente le sous-sol, un programme exhaustif d'instrumentation in situ a été réalisé pour contrôler le percement et évaluer le comportement du tunnel une fois terminé. On a «instrumenté» une section de tunnel d'environ 60 m (200 pieds) de long pour obtenir des données sur la déformation de surface longitudinale, verticale et horizontale et les variations de pression hydrostatique. On a en plus installé des cellules manométriques et des jauges de contraintes au centre de la section étudiée.

«Jusqu'à présent», précise le Dr Palmer, «toutes les données ont confirmé l'efficacité du système dans l'argile; il n'est pas moins satisfaisant que les systèmes classiques lorsqu'il est utilisé sous les mêmes conditions géologiques. Le rendement de cette méthode est impressionnant — on est parvenu à percer et à achever environ 54 m (177 pieds) de tunnel par jour.»

Pour le moment, le Canada n'est pas encore contraint de s'orienter vers la construction souterraine car les terrains disponibles en surface sont abondants. Cependant, la construction de logements souterrains pourrait constituer un moyen intéressant d'éviter les frais toujours croissants qu'impose la construction classique. Après avoir évalué le rendement d'une maison modèle souterraine, on a constaté que cette nouvelle version de logement permettait une réduction des frais d'énergie de près de 60% et des frais de construction de près de 25%. Cette méthode présente également d'autres avantages: elle exige moins de frais d'entretien, permet un meilleur contrôle de la température et de l'humidité et une meilleure insonorisation et réduit les risques d'endommager l'environnement.

«Nous verrons sans doute au Canada», a indiqué le Dr Laverne Palmer, «de plus en plus d'industries suivre l'exemple de nos nombreux centres d'achats, bureaux, entrepôts et même bibliothèques dans leur conquête du sous-sol.» Cette solution convient particulièrement bien aux entrepôts qui comptent rarement plus d'un étage, sont situés près des villes, manquent d'esthétique et occupent de grands espaces urbains coûteux. L'escarpement du Niagara est un exemple de terrain qui se prête bien à une exploitation industrielle «On ne tardera pas non plus à trouver des logements souterrains», a ajouté le Dr Palmer, «et, grâce aux progrès enregistrés dans la construction souterraine, cette hypothèse pourrait devenir réalité plus tôt qu'on ne le pense. Mon rôle est de me tenir au courant des projets et, si le besoin se présente, d'offrir conseils et assistance technologique. Celui de Thunder Bay en est un bon exemple.» □

Texte français: **Annie Hlavats**

Hiding hidden lines — Computer graphics

The computer graphics group at the NRC has suggested a way to remove unwanted lines from computer-generated pictures, making them more life-like. Their suggestion is based on film-making experience, and they hope it will be applied in the simulation of a spacecraft's mechanical arm.

"One picture," the Chinese proverb declares, "is worth ten thousand words". Computer graphics is the science which links pictures, an efficient way to display information, with the extraordinary information handling power of the computer. Of the many applications for this versatile combination, one of the most useful is simulation.

Simulations are a contemporary version of the traditional practice of exploring ideas by making drawings. Today, by loading mathematical models into computers, engineers can operate machines that do not yet exist, exploring complex three-dimensional interactions simulated by computer and pictured on TV-like screens.

Such a simulation will play a key role in a $75.8 million project now under way. Financed by Canada and coordinated by the NRC, a Canadian industrial team is designing and building a 50-foot long (15 m) mechanical arm. Mounted on NASA's latest spacecraft, the Space Shuttle Orbiter, it will be able to plant and pick up satellites while in orbit around the earth.

For reasons of economy the pictures used in the computer simulation of this arm give the illusion of depth (using perspective) but not of solidity. Engineers or astronauts trying to grapple a simulated satellite with a simulated arm see them represented as transparent wire frames made of straight lines. Edges, which in reality would be hidden, remain visible, making it difficult to decide what lies in front of what.

But now a relatively simple and cheap way to erase hidden lines has been suggested by NRC. Dr. Marceli Wein explains the challenge: "it would be possible to remove hidden lines by telling the computer to repetitiously compare all the points and lines in a scene, but that would consume far too much computer time. We had to get the same result with a minimum of repetitions."

The solution is adapted from techniques used in film animation — a field to which the computer graphics group has made noteworthy contributions. A frame of a Disney cartoon is a photograph of many layers of transparent celluloid, each representing a different depth. Figures painted on the top layer are fully visible, while backgrounds on lower layers are progressively blocked by the images above, which ensures that sections of the horizon line are hidden behind the familiar figure of Donald Duck.

Similarly, the computer can sort the objects in a simulation scene into layers ranked according to distance from the viewing point. As it works down through this stack of mathematical planes, it memorizes the silhouettes of the objects it displays. Portions of any line blocked by silhouettes in the memory are not shown.

"We are confident that this technique for removing hidden lines is sound," says Dr. Wein. "We are preparing a demonstration and we expect that our suggestion will be used in the simulation of the manipulator arm." □

Sean McCutcheon

National Film Board/Office national du film

Stills from the prize-winning film *Hunger*, made on NRC's computer animation system, illustrate the effect of removing hidden lines.
Top: With all outlines visible the fat men seem transparent; the eye is given no clues to indicate which man is closest.
Middle: Silhouettes, stacked by the computer according to depth, are used to block the lines below.
Bottom: The resulting scene, with hidden lines removed, is more life-like.

Les clichés du dessin animé primé «La faim», réalisé à l'aide de l'ordinateur du CNRC, illustrent la technique de l'effacement de lignes normalement invisibles.
En haut: lorsque toutes les lignes sont visibles, les personnages semblent être transparents. L'oeil n'est guidé par aucun indice de perception.
Au centre: les silhouettes pleines sont enregistrées dans la mémoire de l'ordinateur et les lignes devant être cachées sont ainsi effacées.
En bas: les lignes cachées ne sont plus visibles, ce qui rend l'image plus proche de la réalité.

L'infographie et l'animation
Une meilleure perception

Un groupe de chercheurs du CNRC qui s'intéresse aux applications de l'infographie a suggéré un moyen de donner plus de réalité aux images produites à l'aide d'ordinateurs et il espère que cette méthode empruntée aux techniques cinématographiques sera utilisée pour la mise au point d'un télémanipulateur spatial.

D'après un adage chinois, «une image vaut dix mille mots». L'infographie est la branche de l'informatique qui associe les images (ou représentations picturales précises des données) à la capacité extraordinaire de manipulation de l'information dont dispose l'ordinateur. Parmi les nombreuses applications de cette combinaison, une des plus utiles est la simulation.

Les simulations sont des versions modernes des méthodes traditionnelles d'analyse des idées par le dessin. Aujourd'hui, en injectant des modèles mathématiques dans les ordinateurs, les ingénieurs peuvent faire fonctionner des machines qui n'existent pas encore et étudier des interactions complexes tridimensionnelles simulées par ordinateur et représentées sur des écrans cathodiques.

Ce genre de simulation jouera un rôle fondamental dans la réalisation d'un projet de 75,8 millions de dollars actuellement en cours. La construction d'un bras mécanique de 15 m de long (50 pieds) a été confiée à un consortium canadien; elle est financée par le Canada et coordonnée par le CNRC. Monté sur la navette spatiale de la NASA, le télémanipulateur permettra la mise en orbite et la récupération de satellites.

Pour des raisons économiques, la simulation par ordinateur offre une représentation visuelle à trois dimensions du télémanipulateur (à l'aide de la perspective), mais ne permet pas de représenter l'objet tel qu'il apparaîtrait en réalité. Les ingénieurs ou astronautes qui simulent la manipulation d'un satellite à l'aide du télémanipulateur ne voient sur leur écran que des cadres transparents formés de lignes droites. Les angles, qui en réalité sont cachés, restent visibles, et ceci empêche de distinguer l'ordre des plans dans l'espace.

Mais maintenant, le CNRC vient de suggérer un moyen simple et peu coûteux d'effacer les lignes qui devraient être cachées. Le Dr Marceli Wein présente le problème: «Il serait possible de supprimer les lignes qui devraient être cachées en demandant à l'ordinateur de comparer à plusieurs reprises tous les points et les lignes d'une image, mais cette méthode prendrait trop de temps. Nous nous étions imposés d'obtenir le même résultat avec un minimum de répétitions.»

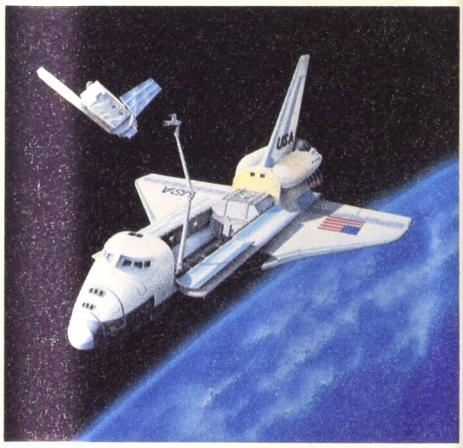
La solution est une adaptation des techniques utilisées pour la réalisation de dessins animés, domaine ayant apporté une contribution considérable à l'infographie. Dans les dessins animés de Walt Disney, chaque image est la photographie de nombreux cellulos transparents superposés, produisant chacun un effet de relief différent. Les personnages dessinés sur le premier calque sont pleinement visibles, par contre, ceux qui figurent à l'arrière-plan sur des calques sous-jacents sont progressivement cachés par les images qui les recouvrent, et ceci permet d'effacer les segments de l'horizon se trouvant derrière l'oncle Donald, par exemple.

De la même façon, l'ordinateur peut distribuer les objets d'une scène de simulation suivant différents plans pour représenter les éléments tels qu'ils apparaîtraient normalement à l'observateur. Au fur et à mesure que la série de plans mathématiques lui est présentée, l'ordinateur enregistre dans sa mémoire les silhouettes des objets représentés. Les segments de lignes cachés par les silhouettes et ainsi enregistrés dans la mémoire ne sont pas reproduits.

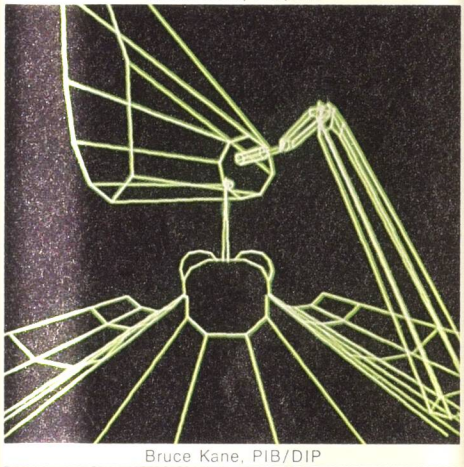
«Nous sommes sûrs que cette méthode est vraiment celle qu'il faut employer pour éliminer les lignes cachées», a indiqué le Dr Wein. «Nous en préparons actuellement une démonstration et nous espérons que notre technique sera utilisée pour simuler le télémanipulateur.» □

Texte français: **Annie Hlavats**

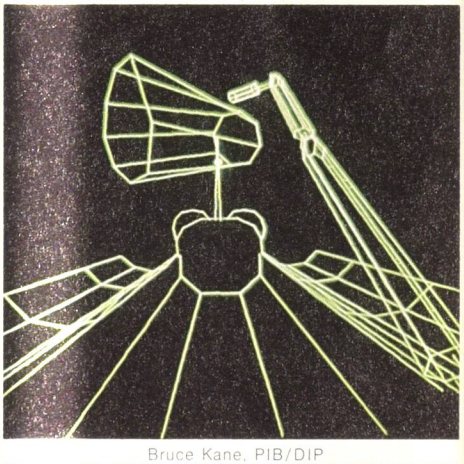
John Bianchi



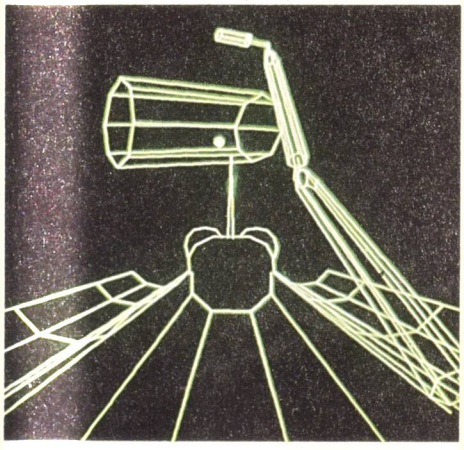
Bruce Kane, PIB/DIP



Bruce Kane, PIB/DIP



Bruce Kane, PIB/DIP



Représentation artistique de la mission spatiale simulée plus haut. Un astronaute utilise le télémanipulateur construit au Canada pour mettre en orbite un satellite à partir de la navette spatiale.

An artist's concept of the mission simulated above as an astronaut uses the Canadian-built manipulator arm to launch a satellite from the Space Shuttle Orbiter.

Cette séquence d'images reconstituées par ordinateur simule les mouvements du télémanipulateur de la navette spatiale. Étant donné que les lignes devant être cachées restent visibles, il est difficile de savoir si le télémanipulateur se trouve devant ou derrière le satellite.

A sequence of computer-generated images simulate the movement of the Space Shuttle's arm for its designers. Since hidden lines are not removed, it is unclear whether the arm is behind or in front of the satellite.

Solar family secrets — The mystery of planetary birth

The manner in which the planets of our solar system came to be has intrigued men ever since these heavenly "wanderers" were first observed in the night sky. Now, with the accumulation of information from the space probes, a University of Toronto geophysicist may be providing at least part of the answer to the riddle.

It began about 4.7 billion years ago; as to how it happened — well, no one is very clear about that. Scientists believe that prior to the event no planets were circling our sun and some time afterwards our solar system began to evolve.

To James Usher, Archbishop of Armagh in the seventeenth century, the answer was fairly precise: the world began at 9 o'clock on the morning of 26 October, 4004 B.C. For Professor D. W. Strangway of the University of Toronto, planetary evolution is not quite so clear cut, but he finds it to be one of the most exciting studies facing modern geologists. Recently, a combination of earth-bound geological study and data from planetary probes and astronomical observations has led him to construct a theoretical model of the evolution of our sun's inner planets.

"The evolution of a planet depends upon three things," explains Professor Strangway, "its size, initial temperature and the amount of radioactive material present in its interior. These factors govern the way in which the crust, mantle and core of a planet can heat up or cool down. When we examine the asteroids, Mercury, the Moon, Mars and Earth, we find that we are looking at successive stages in planetary evolution."

About five billion years ago, a large quantity of gas, rich in planet-forming elements, swirled around the sun. Eddies and vortices formed in the cooling gas and later, condensation began to occur in several locations. Research on meteorites and asteroids gives a picture of the conditions which existed in this nursery of our solar system. Meteorites are pieces of matter which have formed by coagulations of small particles; these small particles must have condensed from primordial gas about 4.7 billion years ago and their scoured and eroded surfaces suggest an environment of intense bombardments and violent solar winds. In the region of the asteroid belt, conditions were unfavorable for matter to coagulate in pieces larger than tens or hundreds of kilometres across. The asteroids with their rough, irregular shape therefore provide examples of completely primitive planetary material.

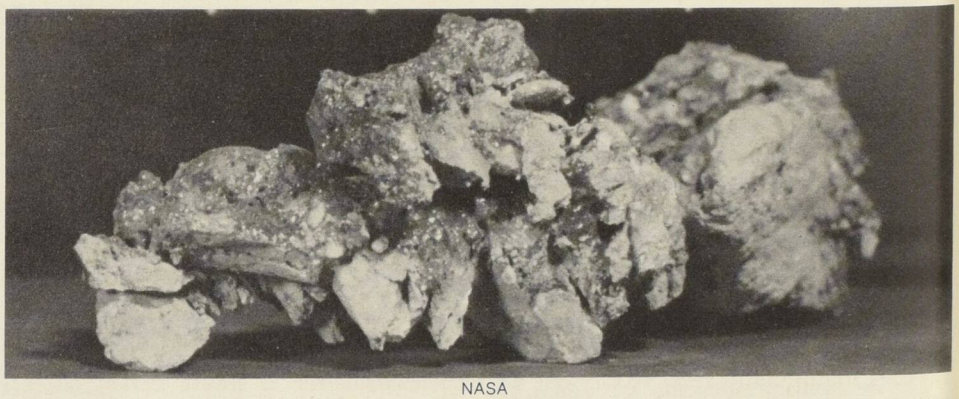
In other parts of the solar system the process of condensation continued to build larger and larger bodies. As the inner planets grew in size, their gravitational attraction increased until condensing gases fell to the planet's surface at higher and higher speeds. The collisions of these incoming particles became sufficiently violent to form a molten crust on each planet. Photographs of Mercury show a surface which was molten during its formation and later cooled and solidified. This molten crust condition was part of the development of all the inner planets but Mercury must be considered to be fairly primitive since its evolution did not proceed beyond this point.

The next step in a planet's development is conveniently illustrated by the Moon. Radioactive materials, present in the primordial gas of the solar system, disintegrate with the planetary core producing heat. Mercury had only a small amount of radioactivity and was able to conduct this heat to the surface where it dissipated as radiation. In the case of the Moon, with its greater radioactivity, the conduction and dissipation did not take place fast enough and its interior temperature slowly increased.

Geologists measure the passage of shock waves through the Earth to deduce something about its core and, after astronauts and instrument packages were landed on the Moon, it became possible to carry out similar experiments of lunar geology. The results indicate that the Moon's core is indeed hot, being either molten or close to melting point. The Moon is therefore an example of a planet which is more advanced on the evolutionary scale than Mercury, having a once molten crust which, until 3.2 billion years ago, experienced volcanic activity and, under radioactive heating, a core which was raised to a temperature around melting point.

To find a candidate for an intermediate planet, on Professor Strangway's scale, one simply goes up in size — to Mars. Recent photographs of this planet show a mixture of low cratered highlands and young volcanos. The volcanic activity, which took place as recently as a billion years ago, is evidence of continued heating in the planet's interior.

A comfortably mature planet needs little seeking, for one need go no farther than Earth — the more adventurous may wish to visit Venus but its heavy atmosphere prevents astronomers from learning much about its surface or internal conditions. In its distant past the Earth, like the other inner planets, possessed a molten crust over its cold interior. As the crust cooled the interior began to heat with the disintegration of radioactive potassium, thorium and uranium. Because of the Earth's larger size, the molten interior resulted in something far more spectacular than the volcanic activity which once existed on Mars — it gave rise to a crust floating upon a hot molten interior. Convection currents occur in the core and mantle with hot material rising to the surface and the cooler outer crust being sucked down into the interior. The result of these global



NASA

Impacted-melted breccia from the moon. The rock is evidence that the outer surface of the moon melted early in its history. The surface appearance of the planet Mercury indicates that its crust is similar.

Brèches lunaires ayant fondu sous l'action d'impacts répétés. Cette roche prouve que l'extérieur de l'écorce lunaire a fondu au début de sa formation. L'aspect de la surface de Mercure indique que sa croûte est similaire.

Les secrets du système solaire

La naissance des planètes

Depuis qu'ils les observent dans le ciel nocturne, les hommes se demandent comment ces «vagabondes» que sont les planètes du système solaire se sont formées. Grâce à l'accumulation des données transmises par les sondes spatiales, un géophysicien de l'Université de Toronto apporte peut-être un commencement de réponse à cette question.

Tout a commencé il y a environ 4,7 milliards d'années mais personne ne sait trop comment. Les savants pensent qu'aucune planète ne tournait autour de notre Soleil avant cet événement et que peu de temps après, la formation du système solaire s'est amorcée.

Pour James Usher, archevêque d'Armagh, au dix-septième siècle, la réponse était assez précise. Le monde avait commencé à 9 h du matin le 26 octobre de l'an 4004 av. J.-C. Le Professeur D. W. Strangway, de l'Université de Toronto, ne possède pas de données aussi nettes sur la création du monde mais il trouve que l'étude de la formation des planètes est, pour les géologues modernes, l'une des plus fascinantes qui soient. Tout récemment, la combinaison d'une étude géologique, d'observations astronomiques et de données transmises par des sondes planétaires l'a conduit à construire un modèle théorique de la formation des planètes intérieures de notre système solaire.

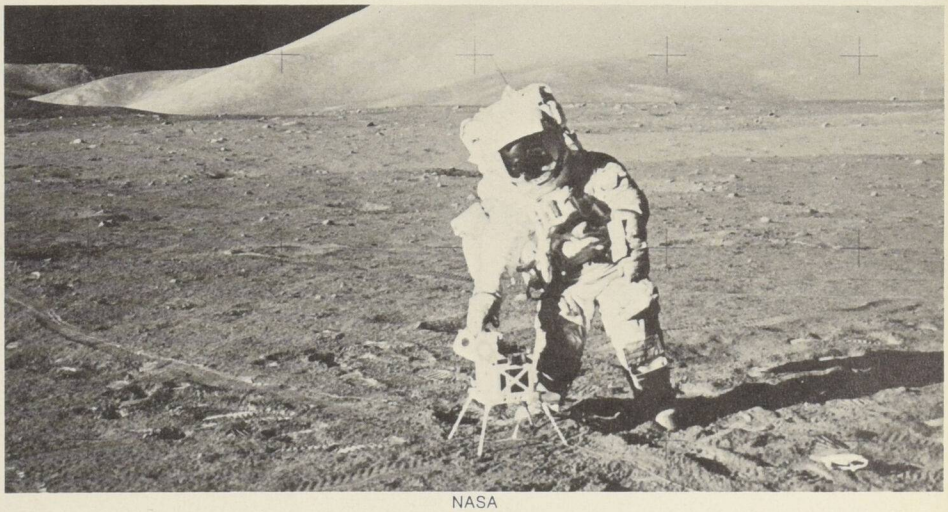
Écoutons-le: «La formation d'une planète est soumise à trois facteurs qui sont sa taille, sa température initiale et la quantité de matériaux radioactifs qu'elle renferme. Ces facteurs déterminent la façon dont son écorce et son noyau peuvent se réchauffer ou se refroidir. Avec les astéroïdes, Mercure, la Lune, Mars et la Terre, on est en présence de stades successifs d'évolution planétaire.»

Il y a environ cinq milliards d'années, une grande quantité de gaz riches en éléments nécessaires à la formation des planètes tourbillonnait autour du Soleil. En se refroidissant ces gaz devaient donner naissance à des remous et à des tourbillons qui ont ultérieurement commencé à se condenser en plusieurs endroits. L'étude des météorites et des astéroïdes permet de se faire une idée des conditions qui existaient pendant le bas âge de notre système solaire. Fragments de matière, les météorites résultent de la coagulation de petites particules et l'on pense que ces dernières se sont formées à partir du gaz primordial il y a environ 4,7 milliards d'années; leur surface porte les stigmates d'une exposition prolongée à d'intenses bombardements et à des vents solaires violents. Les conditions régnant dans la région occupée par la ceinture des astéroïdes s'opposaient à l'agglomération de morceaux ayant un diamètre supérieur à plusieurs dizaines ou centaines de kilomètres. Les astéroïdes, avec leur surface rugueuse et leur forme irrégulière, sont de bons exemples de matière planétaire absolument primitive.

Dans d'autres parties du système solaire, le processus de condensation a continué à former des corps de plus en plus gros. À mesure que les planètes intérieures augmentaient de volume, leur force gravitationnelle croissait jusqu'à ce que les gaz de condensation se précipitent sur leur surface avec des vitesses de plus en plus élevées. Les collisions de ces particules furent suffisamment violentes pour former une croûte de matière en fusion sur chaque planète. Les photographies de Mercure montrent une surface qui était en fusion pendant sa formation et qui s'est refroidie et solidifiée ensuite. Toutes les planètes intérieures sont passées par ce stade de fusion mais, dans le cas de Mercure, il y a lieu de penser que cette planète est assez primitive puisque sa formation s'est arrêtée là.

La Lune illustre parfaitement la phase suivante de la formation d'une planète. La désintégration des matériaux radioactifs présents dans le gaz primordial du système solaire a pour effet de réchauffer l'intérieur des planètes. Dans le cas de Mercure, la chaleur résultant de sa faible radioactivité a pu atteindre sa surface et se dissiper sous forme de rayonnement. La Lune, elle, étant plus radioactive, la conduction et la dissipation n'ont pas été assez rapides et sa température interne s'est accrue lentement. Les géologues mesurent la propagation des ondes de choc à l'intérieur de la Terre pour essayer de déterminer la composition de son noyau et, avec la mise en batterie par les astronautes d'instruments sur la Lune, il devenait possible de procéder à des expériences géologiques lunaires similaires. Les résultats obtenus montrent que le noyau de la Lune est en fait chaud et qu'il est même en fusion ou près du point de fusion. La Lune nous offre donc l'exemple d'une planète plus avancée sur l'échelle de l'évolution que Mercure puisqu'elle a d'une part une croûte qui a déjà été liquide et qui, jusqu'à il y a 3,2 milliards d'années, a été le siège d'une activité volcanique et, d'autre part, un noyau dont la température a été amenée près du point de fusion par un réchauffement radioactif.

Pour trouver un candidat suscep-



NASA

A transmistter used by the University of Toronto/M.I.T. team to send radio signals through the moon. The experiment showed a transition from soil to rock at 15 - 20 m depth and a further transition to solid rock at 100 m.

Émetteur utilisé par l'équipe mixte de l'Université de Toronto et du M.I.T. pour envoyer des signaux radioélectriques à travers le sol lunaire. L'expérience a montré qu'il existait une transition du sol à la roche entre 15 et 20 m de profondeur, suivie d'une nouvelle transition vers la roche mère à 100 m de profondeur.

Zigi Kucharski

Artist's impression of our sun's inner planets. Top to bottom: Mars, Earth, Venus and Mercury.

Représentation artistique des planètes intérieures de notre système solaire. De haut en bas: Mars, la Terre, Vénus et Mercure.

convection currents is that the contents are rather like the scum which floats on a heated pan of milk. New material is continually being forced up ridges to move across the Earth's surface while the cold surface is sucked down into trenches. As the continents drift across our planet's surface their material changes, consequently rocks found on Earth are young compared to those observed on other planets. A location such as the Canadian Shield, formed only three billion years ago, is comparatively old for Earth. Recently, however, rocks similar to those brought back from the Moon have been discovered in Greenland, Labrador and the Minnesota river valley — they are the chance survivors of a continual upheaval in the Earth's crust and reflect the time at which the planets were still being heavily bombarded.

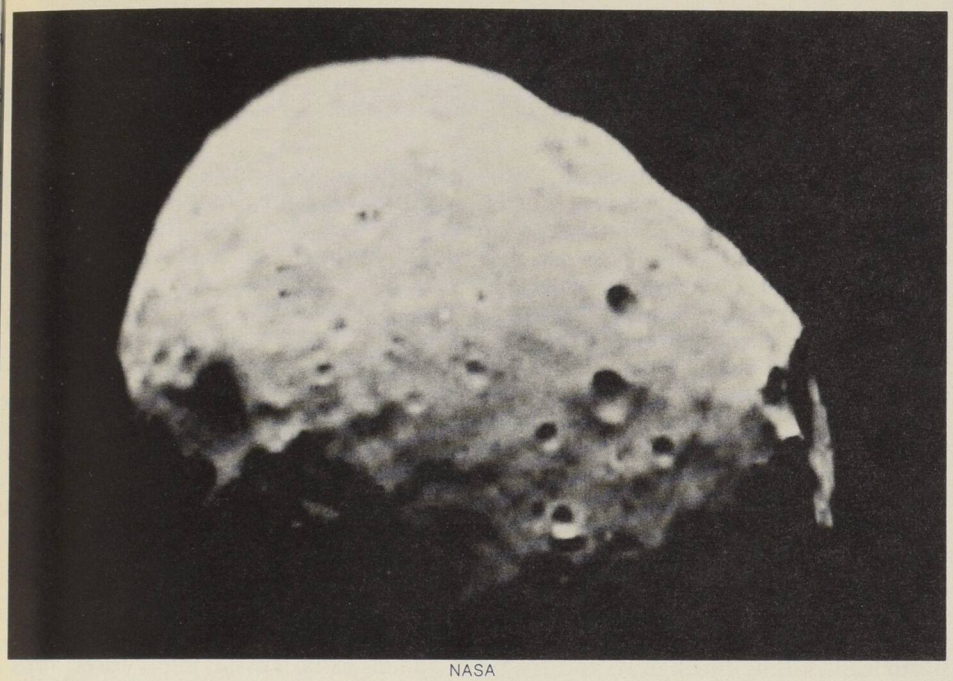
A model of evolution speaks of the future as well as the past and it is natural to enquire what lies ahead for our planet. Already most of the radioactive potassium in the core has decayed and, within three to four billion years, stores of thorium and uranium will be depleted. The Earth's interior will cool and our descendants will never see an active volcano or inhabit a drifting continent four billion years into the future. Earth will have settled down into late middle age.

As space exploration continues, with probes visiting the planets and moons of our solar system, Professor Strangway hopes to see his model receive further confirmation and refinement. The gigantic planets Jupiter and Saturn are dominated in their evolution by deep atmospheres and do not fall within the compass of Professor Strangway's theory, but he awaits with considerable interest information on the moons of Jupiter, some of which are similar in size to the Moon. And, who knows, one day the scientific descendant of Professor Strangway will be testing the theory of planetary evolution upon some strange planet in a new solar system. □

David Peat

THE SUN'S COMPANIONS

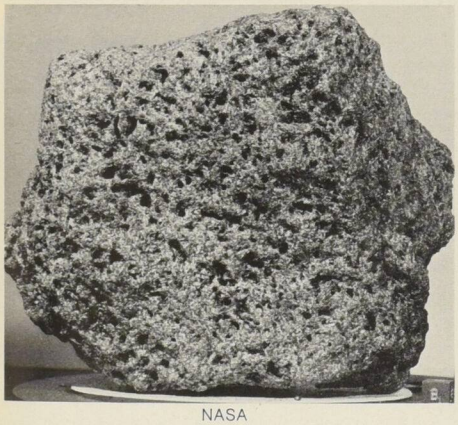
Planet	Radius (Earth = 1)	Mass (Earth = 1)	Average distance from the Sun. (Earth = 1)
Mercury	0.382	0.055	0.387
Venus	0.95	0.815	0.723
Earth	1.00	1.00	1.00
Moon	0.27	0.0123	1.00
Mars	0.53	0.108	1.524
Jupiter	11.18	217.8	5.203
Saturn	9.42	95.15	9.539
Uranus	3.84	14.54	19.182
Neptune	3.93	17.23	30.058
Pluto	0.5	0.17	39.439



NASA

Mars' satellite Phobos photographed on the Viking mission. The satellite, only 22 km across, is an example of primitive planetary material which never underwent evolution.

Phobos, l'un des satellites de Mars, photographié lors de la mission Viking. Ce satellite, qui n'a que 22 km de diamètre, nous offre un parfait exemple de matériau planétaire primitif n'ayant jamais été soumis à un processus évolutif.



NASA

Roche basaltique recueillie par la mission Apollo 17. La lave a coulé à flots dans la vallée de Taurus Littrow il y a 3,8 milliards d'années et a été depuis soumise à un bombardement permanent de météorites qui ont fait de sa surface une couche de roches et de matériau pulvérulent.

Basaltic rock collected on the Apollo 17 mission. Lava flows poured into the Taurus Littrow valley 3.8 billion years ago and have since been subjected to a steady stream of meteorites which ground the surface into a layer of rock and soil.

tible d'occuper la place de planète intermédiaire sur l'échelle du Professeur Strangway, il suffit de viser la taille au-dessus, c'est-à-dire Mars. De récentes photos de cette planète nous montrent un relief parsemé de cratères peu profonds et de jeunes volcans. Le volcanisme, dont les manifestations ne remontent qu'à un milliard d'années, est la preuve d'un réchauffement continu de l'intérieur de la planète.

On n'aura pas grande difficulté à trouver une planète à la maturité rassurante puisqu'elle est à la portée de la main: c'est la Terre. Ceux qui sont animés d'un esprit plus aventureux pourraient souhaiter se rendre sur Vénus mais sa lourde atmosphère interdit aux astronomes d'apprendre beaucoup de choses sur sa surface ou sur les conditions qui règnent dans ses entrailles. Dans son lointain passé la Terre, comme les planètes intérieures, avait un noyau froid recouvert d'une croûte en fusion. À mesure que la croûte se refroidissait, l'intérieur de la planète commençait à se réchauffer sous l'effet de la désintégration du potassium, du thorium et de l'uranium radioactifs. La Terre étant plus grosse, son noyau en fusion a donné naissance à quelque chose de beaucoup plus spectaculaire que l'activité volcanique dont Mars a été le siège dans le passé, c'est-à-dire à une croûte flottant sur un intérieur liquide et incandescent. Les courants de convection qui se produisent dans le noyau et dans le manteau amènent de la matière brûlante à la surface alors que celle constituant la croûte externe, plus froide, se trouve aspirée à l'intérieur. Étant donné la nature de ces courants de convection, l'aspect de la matière qu'ils véhiculent rappelle la mousse qui apparaît à la surface d'une casserole de lait bouillant. Les dorsales sont alimentées en permanence par de la matière issue de l'intérieur et qui se propage à la surface de la Terre alors que la croûte froide est aspirée dans les fosses. Au cours de la dérive des continents à la surface du globe, leur matière constitutive change de sorte que les roches rencontrées sur Terre sont jeunes comparées à celles que l'on peut trouver sur d'autres planètes. Du point de vue terrestre, une formation comme le Bouclier canadien, qui ne date que de trois milliards d'années, est comparativement vieille. On a toutefois découvert récemment au Groënland, au Labrador et dans la vallée de la Minnesota des roches semblables à celles rapportées de la Lune. Il s'agit de rescapées des convulsions permanentes de l'écorce terrestre, témoins d'un temps où les planètes étaient encore soumises à d'intenses bombardements.

Un modèle d'évolution nous renseigne autant sur l'avenir que sur le passé et il est donc naturel de s'interroger sur celui de notre planète. Déjà, la majeure partie du potassium radioactif de son noyau s'est désintégrée et d'ici trois à quatre milliards d'années, ses réserves de thorium et d'uranium étant épuisées, elle se refroidira, de sorte que nos lointains descendants n'auront pas l'occasion d'observer un volcan en activité ou d'habiter un continent en dérive. La Terre aura atteint la dernière phase de sa maturité. Le Professeur Strangway espère qu'avec la poursuite de l'exploration spatiale et le lancement de sondes vers les planètes et les lunes de notre système solaire, son modèle se verra confirmé et amélioré. L'évolution des gigantesques planètes Jupiter et Saturne est dominée par leur épaisse atmosphère et n'entre pas dans le cadre de la théorie du Professeur Strangway, mais cela ne l'empêche pas de manifester un vif intérêt pour les données qui doivent lui parvenir sur les lunes de Jupiter, dont certaines sont de la taille de la Lune. Et qui pourrait dire qu'un jour un descendant du Professeur Strangway ne vérifiera pas la théorie de l'évolution planétaire sur quelque étrange planète d'un autre système solaire? □

Texte français: **Claude Devismes**

LES COMPAGNONS DU SOLEIL

Planète	Rayon (Terre = 1)	Masse (Terre = 1)	Distance moyenne du soleil (Terre = 1)
Mercure	0,382	0,055	0,387
Vénus	0,95	0,815	0,723
Terre	1,00	1,00	1,000
Lune	0,27	0,0123	1,00
Mars	0,53	0,108	1,524
Jupiter	11,18	217,8	5,203
Saturne	9,42	95,15	9,539
Uranus	3,84	14,54	19,182
Neptune	3,93	17,23	30,058
Pluton	0,5	0,17	39,439

Cloud seeding—
Taking science into the sky

A Canadian research team is finding out if rain, induced by seeding clouds, can be used to douse large forest fires.

Yellowknife, North West Territories.

Early on a summer morning cumulus clouds can be seen building in the sky. At the airport briefing, good conditions for cloud growth are predicted over the landlocked ponds and scrubby forest surrounding Great Slave Lake. The Twin Otter takes off, a flying laboratory crammed with sophisticated instruments, and the Beechcraft follows. After an hour of searching a suitable cloud is located: one that is isolated, growing vigorously, thick and fairly cold at the top, but unlikely to rain naturally. From the Twin Otter the T-33 is radioed to take off and rendezvous at the chosen cloud, but by the time the jet arrives, the cloud has decayed. Soon, however, another candidate is found. Following an X-shaped path, the Twin Otter penetrates it, measuring its physical properties, while the Beechcraft takes position below the cloud base. Then the T-33 streaks through the top of the cloud, recording its turbulent structure, while from the flares burning under the jet's wings, a plume of smoke containing quadrillions of tiny crystals of silver iodide is dispersed. As the seeded cloud drifts downwind the aircraft follow, monitoring its changes. Within twenty minutes, the turrets at cloud top have become hazy, a burst of large ice particles is falling through it, and from below, the pilot of the Beechcraft reports his windshield streaked with rain.

An encouraging day in the field for the research team from the NRC's National Aeronautical Establishment, Environment Canada's Atmospheric Environment Service, and the Canadian Forestry Service. They are cooperating in an attempt to find out whether it is possible to control forest fires by seeding clouds.

The project began in 1973 when a Canadian delegation was touring Russia to learn how our neighbors combat forest fires. High over Siberia, the Russians demonstrated a cloud seeding technique which they claimed could induce rain, drenching forests below and thus suppressing forest fires. In Canada, as in Russia, many forest fires grow beyond controllable size every

NRC's T-33 jet on a test cloud seeding run. Note the flares burning under the wings, scattering quadrillions of tiny crystals through the sky.

Le T-33 du CNRC au cours d'une mission d'ensemencement. On remarquera la traînée lumineuse laissée par les milliards de particules enflammées d'iodure d'argent contenues dans la fumée sortant des cartouches montées sous les ailes de l'appareil.

National Aeronautical Establishment, NRC
Établissement aéronautique national, CNRC

L'ensemencement des nuages
La science dans les nues

Un groupe de chercheurs canadiens étudie la possibilité d'ensemencer les nuages pour éteindre les grands incendies de forêts.

Yellowknife, Territoires du Nord-Ouest.

À l'aube d'un matin d'été, des cumulus s'accumulent dans le ciel. À l'aéroport, les météorologistes prévoient que toutes les conditions seront réunies pour l'apparition de formations nuageuses au-dessus des étangs et de la forêt rabougrie entourant le Grand Lac des Esclaves. Laboratoire volant bourré d'instruments perfectionnés, le Twin Otter décolle suivi du Beechcraft. Après une heure de recherche on repère un nuage réunissant les caractéristiques recherchées, c'est-à-dire qui soit isolé, qui se développe rapidement et qui soit suffisamment épais et froid dans sa partie supérieure sans toutefois paraître apte à engendrer une précipitation spontanée. Le Twin Otter demande par radio au T-33 de décoller et de le rejoindre mais, malheureusement, lorsque l'avion arrive au rendez-vous le nuage s'est déjà dissipé. Par chance, un autre candidat se présente peu de temps après. Suivant une trajectoire rappelant la forme d'un X, le Twin Otter y pénètre, mesurant ses propriétés physiques, tandis que le Beechcraft prend position en dessous de la base du nuage. C'est maintenant au tour du T-33 qui en traverse de part en part le sommet, tout en enregistrant les caractéristiques de sa structure turbulente et en l'ensemençant de milliards de cristaux d'iodure d'argent contenus dans le panache de fumée qui s'échappe de cartouches fixées sous les ailes de l'appareil. Poussé par le vent, le nuage traité s'éloigne, suivi des avions qui en surveillent l'évolution. En l'espace de vingt minutes, les petites tours qui en constituent le sommet deviennent brumeuses, des particules de glace en jaillissent et, en dessous, le pilote du Beechcraft signale que la pluie commence à ruisseler sur son pare-brise.

C'est ainsi que commençait une intéressante journée de travail pour l'équipe composée de chercheurs de l'Établissement aéronautique national du CNRC, du Service de l'environnement atmosphérique d'Environnement Canada et du Service canadien des forêts. Ils collaborent pour étudier la

An NRC jet pilot aims at the growing turret of a cumulus cloud which he is about to seed.

Un pilote du CNRC se dirige sur la petite tour en cours de développement d'un cumulus qu'ils s'apprête à ensemencer.

Établissement aéronautique national, CNRC
National Aeronautical Establishment, NRC

year. Despite costly attempts to contain them, they burn over huge tracts for weeks at a time until their destructive rampage is halted, not by human effort, but by rain. A single modest rain shower can dump ten thousand times more water onto the ground than can a large airborne water bomber.

Though the idea of fighting fire with rain was attractive, the Russian technique could not simply be exported to Canada, for clouds differ according to the environment, and scientists elsewhere have had difficulty reproducing the successful results reported by Russian weather engineers. So it was decided to mount a Canadian research project to evaluate cloud seeding as a tool for fighting forest fires.

Each summer for the past three years, aircraft from the National Aeronautical Establishment (NAE) have taken this experiment into the sky. Mr. Ian MacPherson of the Flight Research Laboratory explains NRC's involvement: "we're doing experiments with aircraft and in aircraft all the time, and we helped fly previous weather modification experiments in Canada. So we have been able to provide the base on which this project's measuring capability has been built."

The questions being asked by the scientists are not easy to answer. Though they have plausible theories on the life cycle of a cloud, the details are vague and verification is difficult. "We know roughly how a cumulus cloud comes to be," explains Dr. George Isaac of Environment Canada's Cloud Physics Research Division. (Cumulus clouds look like heaped cauliflowers and are the subject of this experiment because they are a common source of rain.) "It begins as a bubble of warm air which climbs rapidly and turbulently through the atmosphere. The rising air expands and cools until the water vapor within it condenses into a multitude of liquid droplets." Though each is too small to be seen by the naked eye, the droplets swarming in the updraft are so numerous that a cloud appears, often assuming beautiful shifting shapes. The cloud can keep growing up to regions where temperatures are well below freezing, but the water will not freeze unless some minute solid particles are present to serve as nuclei, or "seeds", on which ice crystals can form. Once started, ice crystals grow rapidly, taking water from vapor and droplets, and falling through the cloud. If the cloud is sufficiently thick, each ice particle captures thousands of droplets as it falls until it drops out of the cloud as snow or hail — or, if it has melted while passing through warm layers, as a raindrop. Eventually, with its energy dissipated and temperature reduced to that of its surroundings, the cloud dies.

Large, "high energy" forest fires are virtually uncontrollable; they rage until they are extinguished by rain.

Il est pratiquement impossible d'arrêter la propagation des grands incendies de forêts; ils font rage jusqu'à ce que la pluie les éteigne.

Canadian Forestry Service/Service canadien des forêts

National Aeronautical Establishment, NRC/Établissement aéronautique national, CNRC

A rainbow, evidence of rain falling, photographed below cloud base 20 minutes after an experimental seeding run.

Un arc-en-ciel, prouvant qu'il pleut, est photographié en dessous de la base du nuage vingt minutes après une mission expérimentale d'ensemencement.

possibilité de combattre les incendies de forêts en ensemençant les nuages.

Le projet a vu le jour en 1973 alors qu'une délégation canadienne s'était rendue en Russie pour voir comment nos voisins les combattent. Très haut au-dessus de la Sibérie, les Russes leur firent la démonstration d'une technique d'ensemencement qui, d'après eux, pouvait déclencher une pluie suffisante pour noyer les forêts se trouvant en dessous et, par conséquent, éteindre les incendies qui pourraient y faire rage. Au Canada, tout comme en Russie, chaque année de nombreux incendies de forêts prennent des proportions qui en rendent le contrôle impossible. En dépit d'efforts coûteux pour en arrêter la propagation, ils consument d'énormes étendues pendant des semaines d'affilée jusqu'à ce que leur action destructive soit stoppée, non pas par l'effort humain, mais par la pluie. Une simple averse de faible intensité peut déverser dix mille fois plus d'eau sur le sol qu'un gros bombardier à eau.

Bien que l'idée de combattre l'incendie par la pluie apparaisse séduisante, la technique russe ne pouvait tout simplement pas être exportée au Canada parce que les nuages varient en fonction de l'environnement et aussi parce que d'autres scientifiques ont eu de la difficulté à reproduire les résultats encourageants mentionnés par les ingénieurs météorologistes russes. C'est ce qui a conduit les Canadiens à lancer un projet de recherche pour déterminer le potentiel de l'ensemencement des nuages pour combattre les incendies de forêts. Depuis trois ans, chaque été, des appareils de l'Établissement aéronautique national (ÉAN) prennent l'air pour expérimenter cette technique. Écoutons M. Ian MacPherson, du Laboratoire des recherches en vol, nous expliquer les travaux du CNRC: «Nous travaillons avec et sur les aéronefs à la journée longue et nous avions déjà participé à la préparation d'expériences de modifications météorologiques au Canada. C'est dire que nous avons donc pu fournir la base nécessaire à la mise sur pied de ce programme d'essais.»

Il n'est pas facile de trouver des réponses aux questions que posent les scientifiques. Bien qu'il existe des théories plausibles sur le cycle évolutif d'un nuage, les détails sont vagues et la vérification difficile. «Nous connaissons assez bien le processus de formation d'un cumulus», nous précise le Dr George Isaac, de la Division de la recherche sur la physique des nuages d'Environnement Canada, (les cumulus ressemblent à des choux-fleurs empilés les uns sur les autres et ils sont utilisés pour cette expérience car ils sont généralement générateurs de pluie). «S'amorçant, le nuage a l'aspect d'une bulle d'air chaud qui s'élève rapidement et tumultueusement dans l'atmosphère. L'air se dilate et se refroidit jusqu'à ce que la vapeur d'eau qu'il contient se condense en une multitude de gouttelettes.» Bien que ces gouttelettes soient trop petites pour être vues à l'œil nu, elles se précipitent en telles quantités dans le courant ascendant qu'elles donnent naissance à un nuage qui passe souvent par de magnifiques configurations évolutives au cours du processus. Le nuage peut continuer à se développer pour atteindre des régions où les températures sont bien inférieures au point de congélation mais l'eau ne gèlera pas avant qu'elle ne rencontre d'infinitésimales particules solides qui serviront de noyaux ou «semences», sur lesquels des cristaux de glace peuvent se former. Une fois amorcés, les cristaux de glace

The idea of seeding a cloud is to boost the number of nuclei on which ice crystals can form and thus induce precipitation. It's an old idea, first suggested in the late 1940's. It has been tried many times, usually with silver iodide, a chemical whose tiny crystals are shaped remarkably like those of ice, though other seeding agents are used. But after years of research, only a few experiments are accepted by the scientific community as having proved that seeding actually produced rain.

The problems have been practical ones. Many cloud seeding experiments (including one carried out in Canada in the 1960's) have been inconclusive because of statistical difficulties in distinguishing effects that might be due to seeding from the random variations of climate that occur in nature. "To get hard evidence of causes and effects," says Dr. Isaac, "we need to make detailed observations of a particular cloud before and after seeding it. But until recently, such observations have been very difficult to make; after all, clouds involve complex, unstable and transient processes occurring high in the sky."

What makes the current experiment possible are powerful research tools which have been developed over the last decade, and are now packed into NAE aircraft. In the Twin Otter there are: laser probes which count and sort ice particles and cloud droplets by size; devices which trap particles so they can be studied on the ground; a very sophisticated navigation system which locates and records the position of both cloud and aircraft, and more. The T-33 jet is equipped for atmospheric research; it can monitor temperature and turbulence at the top of the cloud both before and after seeding it, and to track the cloud it has a duplicate of the Twin Otter's navigation system. The Beechcraft records conditions at cloud base with a laser probe which can measure the number and size of rain drops.

The researchers are seeding clouds again this summer and the experiment will continue for some years. Though it is too early to draw any conclusions on the possibility of fighting fire by inducing rain, results have been encouraging. During the summer of 1976, for example, 11 clouds were seeded and, on at least three occasions, rain fell from them within 20 minutes.

Cloud seeding is a technology in its infancy. If it matures, it could be useful not only in preventing fire destruction and saving fire fighting costs, but in other applications as well. It may well be that a decade from now large fires raging in any part of Canada will be extinguished when a cloud, about to drift over them, is seeded from a single, fast jet. "We'll soon know if it is possible to use cloud seeding to fight forest fires," says Dr. Isaac. And, possible or not, the rainmaking experiments are now blowing away some of the uncertainties in which clouds have been shrouded. □

Sean McCutcheon

A shower of rain falls from a cumulus cloud. Can such showers be induced by seeding and used to fight forest fires?

Une averse tombe d'un cumulus. Peut-on produire de telles averses en ensemençant les nuages et les utiliser pour combattre les incendies de forêts?

National Aeronautical Establishment, NRC
Établissement aéronautique national, CNRC

se développent rapidement à partir de la vapeur et des gouttelettes d'eau et tombent à l'intérieur du nuage. Si le nuage est suffisamment épais, chaque particule de glace capte des milliers de gouttelettes pendant sa chute jusqu'à ce qu'elle se précipite hors du nuage sous forme de neige ou de grêlon, ou encore, si elle a fondu en traversant des couches chaudes, sous forme de gouttelette de pluie. Finalement, son énergie s'étant dissipée et sa température étant tombée au niveau de celle de son environnement, le nuage meurt.

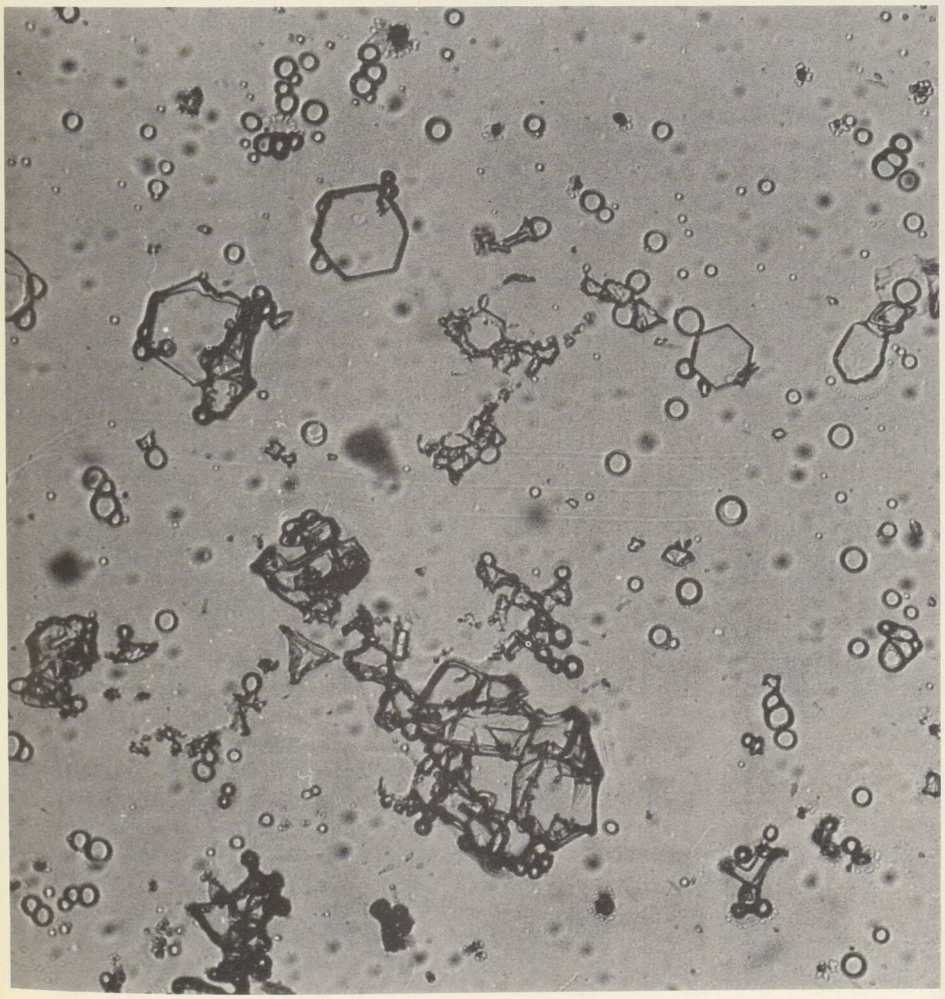
L'objectif de l'ensemencement est donc d'augmenter le nombre de noyaux sur lesquels les cristaux de glace peuvent se former et de provoquer ainsi une précipitation. L'idée n'est pas nouvelle puisqu'elle a été lancée pour la première fois vers la fin des années quarante. On l'a mise de nombreuses fois à l'épreuve en utilisant habituellement de l'iodure d'argent (produit chimique dont les minuscules cristaux ont une forme remarquablement similaire à celle des cristaux de glace) mais d'autres agents d'ensemencement sont également utilisés. Toutefois, malgré bien des années de recherche, la communauté scientifique internationale n'accepte comme probantes qu'un très petit nombre des expériences qui ont été exécutées jusqu'à maintenant. Les problèmes rencontrés sont d'ordre pratique. Dans de nombreux cas, incluant une expérience faite au Canada au cours des années soixante, il n'a pas été possible de tirer de conclusions en raison de difficultés statistiques qui empêchent de faire la distinction entre les effets pouvant être dus à l'ensemencement et les variations climatiques aléatoires observées dans la nature. Redonnons la parole au Dr Isaac: «Pour obtenir des preuves irréfutables de cause à effet, nous devons étudier minutieusement un nuage donné avant et après l'opération. Mais jusqu'à tout récemment, de telles observations se sont avérées très difficiles à faire car, après tout, la formation des nuages fait intervenir des processus complexes, instables et transitoires qui ont lieu dans la haute atmosphère.»

Ce qui rend les expériences actuelles possibles ce sont les puissants outils de recherche qui ont été mis au point au cours de la dernière décennie et que l'on a entassés dans les avions de l'ÉAN. L'instrumentation du Twin Otter est notamment constituée de sondes laser qui comptent et trient les particules de glace et les gouttelettes de nuage en fonction de leur grosseur, de dispositifs qui prélèvent des particules qui seront étudiées au sol, d'un système de navigation très élaboré qui détermine et enregistre à la fois la position du nuage et de l'avion. Le T-33 est équipé pour la recherche atmosphérique; il est en mesure d'enregistrer la température et la turbulence au sommet du nuage avant et après l'ensemencement et, pour suivre le nuage, il se sert du même système de navigation que le Twin Otter. Le Beechcraft, quant à lui, relève les conditions existant à la base du nuage à l'aide d'une sonde laser permettant de mesurer le nombre et la grosseur des gouttelettes de pluie.

Les chercheurs ont repris leurs opérations d'ensemencement cet été et ce travail continuera pendant plusieurs années. Bien qu'il soit encore trop tôt pour tirer des conclusions sur la possibilité d'éteindre les incendies de forêts avec une pluie artificielle, les résultats obtenus jusqu'ici sont encourageants. Pour citer un exemple, mentionnons que l'on a ensemencé onze nuages au cours de l'été de 1976 et, qu'à au moins trois reprises, la pluie s'est mise à tomber dans les 20 minutes qui ont suivi.

Cette technique en est encore à ses premiers balbutiements. Atteignant l'âge adulte, elle pourrait s'avérer utile non seulement pour prévenir les ravages occasionnés par le feu et épargner les frais engagés pour le combattre, mais également pour d'autres applications. Il n'est pas interdit de penser que d'ici une décennie les grands incendies pourront être éteint n'importe où au Canada lorsqu'un nuage, s'apprêtant à passer à leur verticale, aura été traité par un seul avion rapide. «Nous saurons bientôt si, grâce à l'ensemencement des nuages, nous serons en mesure de combattre les incendies de forêts», nous a dit le Dr Isaac. Concluantes ou pas, les expériences entreprises pour provoquer une pluie artificielle ont permis de lever un coin du voile qui recouvre encore les phénomènes atmosphériques. □

Texte français: **Claude Devismes**



Grossissement de particules de nuage recueillies après une mission d'ensemencement. Les petits cercles sont des traces laissées par des gouttelettes de nuage. Les grosses plaquettes hexagonales sont des ébauches de cristaux en cours de croissance.

A magnified picture of cloud particles captured after a seeding run. The small circles are the trace left by liquid cloud droplets. The larger hexagonal plates outline growing ice crystals.

Service de l'environnement atmosphérique
Atmospheric Environment Service

Black holes — Where physical law ends

Black holes, the final stage of collapse for many stars in which space and time become so contorted that neither matter nor light can escape their grasp, were first predicted by the theoretician Albert Einstein. A University of Toronto astronomy professor, sifting through apparently anomalous observations from a double star system, may have discovered the existence of one of these unusual astronomical objects.

Professor Tom Bolton of the University of Toronto's David Dunlop Observatory is an astronomer in the time-honored sense of the title. While he draws on the work of colleagues who use such modern tools as X-ray satellites and radiotelescopes, much of his working day is taken up with observations and astronomical photography using the University's 74-inch (2 m) reflecting telescope.

The properties of a star can be deduced by breaking down its light into spectral components which reveal secrets of the processes taking place within that star's atmosphere. Tom Bolton's particular interest is double or binary stars, and week after week he examines a particular system until he is able to construct a picture of its special behavior. As precise observations accumulate, the data enable Dr. Bolton to compose answers to such questions as: how one member of a double star system emits gas which is absorbed by its companion; or how it is that a stellar atmosphere can change in a matter of days or even hours. It was within this framework of precise observation and interpretation that Professor Bolton made a discovery which has excited astronomers and physicsts.

Several years ago, considerable interest was generated within the astronomical community by the announcement that the radio source Cygnus XI occupied the same position in the sky as a star known at HDE 226868 and suspected to be a binary. This discovery was the first hint that a binary star could also be a source of radio signals and, not surprisingly, Tom Bolton set his telescope to the required coordinates and began an observation on HDE 226868. At that time, he supposed that the double system would consist of an ordinary visible star and its invisible companion, in all probability a neutron star. The visible star provides the point of light identified on star maps as HDE 226868 and he

Palomar Observatory Sky Survey

A star field which may contain a Black Hole; the binary system Cygnus XI is located in the center of the picture.

Cet espace stellaire contient peut-être un trou noir; l'étoile double Cygni XI se trouve au centre de la photo.

Stars — time changes the twinkle

In numbers which far exceed the expanding population of our planet, Stars are born and eventually die. Created from swirling masses of interstellar hydrogen, their internal furnaces are powered by a nuclear reaction — the fusion of two atoms of hydrogen to form helium.

After an outpouring of heat and light which lasts for millions, even billions of years, a star begins to age and passes through several stages toward eventual death. The first premonition is the development of a "middle aged spread" as its interior furnaces burn out and energy-producing reactions are confined to the hydrogen-rich outer atmosphere. This Red Giant phase does not last long and, with all the star's hydrogen converted to helium, the stellar atmosphere collapses so swiftly that the internal temperature is boosted to over 100 million degrees. This ignites new nuclear reactions, giving the star a temporary lease on life as a White Dwarf.

Death's shadow ends the star's Indian Summer with the final extinction of its nuclear fires; the ever present gravitational attraction now becomes dominant and the star undergoes a sudden violent collapse. In fact, the gravitational forces are so intense that atoms themselves collapse — protons and electrons fusing to form neutrons. The resulting body — only a few kilometres across — is an incredibly dense Neutron Star.

This epitaph to a star holds a final surprise, for in death it becomes a lighthouse in space. Its remaining energy is directed outward as a gigantic laser beam, and as the star rotates rapidly the beam sweeps across the universe, to be detected by radio astronomers on earth as regular pulses — the Neutron Star has become a Pulsar.

For many stars, this is the final stage of their evolution, but for others — those heavier than five times the mass of our sun — an even more dramatic end is possible. For them the gravitational force is so strong that not only nuclear matter is distorted but the very fabric of space and time itself. The result is a Black Hole, a turbulent region of space-time that acts as a "plug hole" for matter and energy.

Many scientists see the Black Hole as particularly dramatic, for within its grasp the laws of physics are transcended — matter and light that pass its horizon are trapped for eternity — never to escape.

In the ordinary sense, a Black Hole cannot be seen, but when present as an invisible twin of a Binary Star system its gravitational influence on the orbit of the visible companion can be detected by careful observations. In addition, radiation emitted by stray matter before it finally spirals into the Black Hole can be detected.

The confirmation of the existence of Black Holes stands as a monument to man's creative imagination — for many years they existed simply as a theoretical prediction of Einstein's General Theory of Relativity. □

Les trous noirs
Nouveau mystère cosmique

L'hypothèse de l'existence de trous noirs, où l'espace et le temps sont à ce point affectés que ni la matière ni la lumière ne peuvent échapper à leur emprise, a été émise pour la première fois par Albert Einstein; ils représentent l'étape finale de l'effondrement gravitationnel de nombreuses étoiles. Un professeur d'astronomie de l'Université de Toronto, intrigué par le comportement apparemment anormal d'une étoile double, a peut-être découvert un de ces curieux objets astronomiques.

Le Professeur Tom Bolton, de l'Observatoire David Dunlap de l'Université de Toronto, est un astronome dans le bon vieux sens du terme. Tout en s'inspirant des travaux de ses collègues qui utilisent des outils modernes comme les satellites détecteurs de rayons X et les radiotélescopes, il consacre la majeure partie de sa journée de travail aux observations et à la photographie astronomiques avec le télescope de 74 pouces (2 m) de l'université.

Il est possible de déduire les propriétés d'une étoile en décomposant sa lumière en ses éléments spectraux qui sont susceptibles de révéler les secrets des processus se déroulant dans l'atmosphère de l'étoile. Tom Bolton s'intéresse tout particulièrement aux étoiles doubles, ou si l'on préfère binaires et, semaine après semaine, il étudie un système particulier jusqu'à ce qu'il soit en mesure de déterminer les caractéristiques de son comportement. À mesure que les observations s'accumulent, les données permettent au Dr Bolton de répondre à des questions comme celle-ci: de quelle façon

Tom Bolton, David Dunlap Observatory
l'Observatoire David Dunlap

Tom Bolton devant le miroir primaire du télescope de 74 pouces (2 m) de l'Observatoire David Dunlap.

Tom Bolton stands in front of the primary mirror of the 74-inch (2 m) telescope at the David Dunlap Observatory.

l'une des deux étoiles d'un système binaire émet-elle les gaz qui sont absorbés par son compagnon? Ou encore, comment se fait-il qu'une atmosphère stellaire puisse changer en quelques jours ou même en quelques heures? C'est dans ce contexte d'observations et d'interprétations précises que le Professeur Bolton a fait une découverte qui a enthousiasmé les astronomes et les physiciens.

Il y a plusieurs années, l'annonce que la radio-source Cygni XI occupait la même position dans le ciel qu'une étoile identifiée HDE 226868 et soupçonnée d'être une étoile binaire avait suscité un intérêt considérable parmi les astronomes. Cette découverte était la première indication qu'une étoile binaire pouvait être également une source de signaux radio et, comme il fallait s'y attendre, Tom Bolton s'empressa de caler son télescope sur les coordonnées indiquées et d'étudier HDE 226868. Il supposait à l'époque que ce système double serait composé d'une étoile visible ordinaire et de son compagnon invisible, en toute probabilité une étoile à neutrons. L'étoile visible est un point lumineux identifié sur les cartes stellaires par le code HDE 226868 et Tom Bolton soupçonnait cette étoile à neutrons d'être la source des signaux décelés par les radioastro-

Étoiles, le temps ternit votre éclat!

En nombre dépassant incommensurablement l'explosion démographique mondiale, les étoiles naissent et meurent. La fournaise interne de ces corps célestes, issus de masses tourbillonnantes d'hydrogène interstellaire, est alimentée par une réaction nucléaire (la fusion de deux atomes d'hydrogène) qui transforme l'hydrogène en hélium.

Après avoir dispensé chaleur et lumière pendant des millions, voire des milliards d'années, une étoile commence à vieillir et franchit plusieurs étapes qui la conduisent éventuellement à la mort. Le premier indice est une augmentation de volume résultant de l'épuisement de son combustible interne et de réactions énergétiques confinées à l'atmosphère extérieure riche en hydrogène.

Cette étape, par laquelle passent toutes les géantes rouges, ne dure pas longtemps et dès que tout l'hydrogène de l'étoile a été converti en hélium, son atmosphère s'effondre si rapidement que sa température interne est soudainement portée à plus de 100 millions de degrés. De telles températures amorcent de nouvelles réactions nucléaires qui donnent à l'étoile un sursaut de vie temporaire qui en fera une naine blanche. L'extinction finale de ses feux nucléaires met enfin un terme à cette sorte de «second souffle» stellaire; l'incessante attraction gravitationnelle prenant alors le dessus, l'étoile s'effondre aussi soudainement que violemment. Les forces gravitationnelles sont si intenses que les atomes s'effondrent à leur tour en libérant des protons et des électrons dont la fusion donnera naissance à des neutrons. L'objet qui en résulte, de quelques km de diamètre, est une étoile à neutrons incroyablement dense.

Cette épitaphe stellaire nous réserve une dernière surprise car, en mourant, l'étoile se transforme en phare spatial. Son énergie résiduelle s'élance vers l'extérieur à la manière d'un gigantesque faisceau laser et comme elle tourne rapidement sur elle-même, ce faisceau balaye le cosmos et des radioastronomes terrestres le détectent sous forme d'impulsions régulières; l'étoile à neutrons devient un pulsar.

Pour beaucoup d'étoiles c'est l'étape évolutive finale. Une fin plus dramatique encore attend certaines étoiles dont la masse est cinq fois supérieure à celle du Soleil. Leur gravité est en effet si puissante qu'elle affecte non seulement la matière nucléaire mais aussi l'essence même de l'espace et du temps. Le résultat? Un trou noir, c'est-à-dire une région turbulente d'espace-temps jouant le rôle de «puits sans fond» pour la matière et l'énergie.

Pour de nombreux scientifiques, le trou noir constitue un phénomène particulièrement troublant qui transcende les lois de la physique; la lumière et la matière qui franchissent son horizon y sont en effet emprisonnées pour l'éternité.

On ne peut, à proprement parler, voir un trou noir, mais des observations minutieuses permettent de déceler sa présence aux côtés d'une étoile visible par l'influence gravitationnelle qu'il exerce sur son orbite. On peut aussi détecter le rayonnement émis par la matière avant qu'elle ne s'y engloutisse en tourbillons. □

suspected that the neutron star would be responsible for signals detected by radio astronomers as coming from Cygnus XI. (A neutron star is the highly condensed end-point in the life of many stars; with its thermonuclear furnaces exhausted the star suddenly contracts and radiates its remaining energy as heat and radio waves.)

As his observations continued, Tom Bolton accumulated sufficient data to estimate the mass of the invisible companion, which he supposed to be a neutron star. To his surprise, the results indicated that the mass was far too large. Whatever the radio source proved to be, it was certainly not a neutron star. But what else could it be? Professor Bolton reviewed his findings and was forced to a surprising conclusion — the heavy invisible companion to the visible star could be only one thing — a Black Hole.

A Black Hole is an astronomical object which had been predicted on the basis of Einstein's General Theory of Relativity and is the final state of collapse for many stars, where space and time have become so contorted that neither matter nor even light can escape from their grasp. (The existence of such objects had been hotly debated by astronomers and physicists until Tom Bolton published his findings on the binary system Cygnus XI). Dr. Bolton's tentative conclusion was that the binary system consists of a Black Hole with a visible star companion.

Following his preliminary publication in the magazine "Nature", Dr. Bolton made further observations which gave a more precise value for the Black Hole's mass and indicated that tidal distortions were being produced in the visible companion's atmosphere by the Black Hole's intense gravitational field. In addition, he discovered faint emissions of light from the region of the Black Hole — although this astronomical sink cannot give off light, radiation is emitted by gas as it spirals inward toward the Black Hole before it is trapped for an eternity.

Thus, a fortuitous observation was an important step in the general acceptance of a new astronomical object — the Black Hole — and Dr. Tom Bolton returns to his study of other binary systems. But questions remain: are there other Black Holes which await discovery? Dr. Bolton comments, "theory suggests that there should be many Black Holes in the universe but up to now there is no other candidate with the same strong evidence as that for Cygnus XI. The centers of many globular clusters do, however, remain a mystery. One theory has it that their cores are single objects with masses 1000 times larger than that of our sun which emit X-rays. Possibly the centers of these clusters are large Black Holes. At present, however, we are only certain about Cygnus XI being a Black Hole — the others need more detailed investigation."

Now that Dr. Bolton has returned to his first love — the study of binary star systems and their evolution, he looks back on his discovery of the Black Hole. "I must confess that I don't find Black Holes as exciting as some physicists and astronomers do. But then, I'm prejudiced because I'm intrigued by the many problems posed by binary systems, such as the way mass is transferred between the two stars — in this respect Cygnus XI is interesting in its own right." □

David Peat

Artist's impression of the binary system Cygnus XI.

Représentation artistique de l'étoile double Cygni XI.

Lois Cohen, Griffith Observatory

nomes et attribués à Cygni XI (une étoile à neutrons représente la phase finale, superdense, de la vie de nombreuses étoiles; son combustible nucléaire étant épuisé, l'étoile se contracte soudainement et diffuse son énergie résiduelle sous forme de chaleur et d'ondes radio).

En poursuivant ses observations, Tom Bolton a pu accumuler suffisamment de données pour évaluer la masse du compagnon invisible qui, pensait-il, devait être une étoile à neutrons. À sa grande surprise, les résultats indiquèrent que la masse de l'étoile était beaucoup trop importante. Quelle que fut la radiosource, ce ne pouvait certainement pas être une étoile à neutrons. Mais alors de quoi pouvait-il bien s'agir? Le Professeur Bolton procéda à un nouvel examen de ses données et dut conclure que le lourd compagnon invisible de l'étoile visible ne pouvait être qu'un trou noir.

Pour les astronomes, un trou noir est un objet dont l'existence avait été prévue par la théorie de la relativité générale d'Einstein et représente l'état final d'effondrement de nombreuses étoiles, état dans lequel l'espace et le temps sont à ce point affectés que ni la matière ni la lumière ne peuvent échapper à leur emprise (l'existence de tels objets a suscité des débats passionnés parmi les astronomes et les physiciens jusqu'à ce que Tom Bolton publie ses découvertes sur l'étoile double Cygni XI). Le Dr Bolton avait d'abord émis l'hypothèse que ce système binaire était constitué d'un trou noir et d'un compagnon stellaire visible.

Après une publication préliminaire dans «Nature», le Dr Bolton devait faire d'autres observations qui ont permis de préciser la masse du trou noir et de montrer que son intense champ gravitationnel provoquait des distortions périodiques dans l'atmosphère du compagnon visible. Il devait d'autre part déceler de faibles émissions de lumière provenant de la région du trou noir (bien qu'aucune lumière ne puisse sortir de ce «puisard» cosmique, les gaz qui s'y précipitent en tourbillons pour y être happés pour l'éternité émettent un rayonnement).

C'est ainsi qu'une observation fortuite a permis de faire gagner beaucoup de terrain à l'idée de l'existence de ce nouvel objet astronomique qu'est le trou noir et le Dr Tom Bolton repart maintenant étudier d'autres systèmes binaires. Mais la question demeure: reste-t-il d'autres trous noirs à découvrir? Laissons la parole au Dr Bolton: «Théoriquement il devrait y avoir de nombreux trous noirs dans l'univers mais jusqu'à présent aucun candidat n'a autant d'éléments en sa faveur que Cygni XI. Il y a cependant lieu de souligner que le centre de nombreux amas globulaires demeure un mystère. Selon certaines théories, leur noyau serait constitué d'un objet unique émettant des rayons X et ayant une masse mille fois supérieure à celle de notre Soleil. Il n'est pas impossible que les centres de ces amas soient de grands trous noirs et bien que nous soyons aujourd'hui certains que Cygni XI en est un, il nous faudra accumuler plus de données sur les autres objets cosmiques avant de pouvoir nous prononcer sur leur nature.»

Maintenant que le Dr Bolton est retourné à ses premières amours, c'est-à-dire à l'étude des étoiles doubles et de leur évolution, il nous livre quelques réflexions rétrospectives sur sa découverte: «Je dois vous avouer que les trous noirs ne suscitent pas chez moi le même enthousiasme que chez certains physiciens et astronomes mais c'est bien sûr du parti pris car les nombreux problèmes que posent les systèmes binaires, comme par exemple le mécanisme du transfert de masse entre les deux étoiles, m'intriguent énormément et, à cet égard, Cygni XI est tout à fait digne d'intérêt.» □

Texte français: **Claude Devismes**

Business Reply Mail Correspondance - réponse d'affaires
No postage necessary in Canada — Se poste sans timbre au Canada

Postes Canada Canada Post
NRC CNRC

National Research Council Canada
Conseil national de recherches Canada

OTTAWA
CANADA
K1A 0R6

Public Information - Information publique

ADDRESS CHANGE 1977/3 **CHANGEMENT D'ADRESSE**

- ☐ Name / address printed wrongly - corrected below — Nom / adresse comportant une erreur - correction ci-dessous ☐
- ☐ Mailing label is a duplicate - please delete from list — L'adresse est un duplicata - Rayez-la de la liste ☐
- ☐ Please continue my mailing and add new person listed below — Gardez mon nom sur votre liste d'envoi et ajoutez-y celui du nouvel abonné ci-dessous ☐
- ☐ Name below should replace that shown on label — Remplacez le nom figurant dans l'adresse par celui indiqué ci-dessous ☐
- Discontinue sending: ☐ all publications ☐ this publication — Ne plus envoyer vos publications ☐ cette publication ☐

NAME - NOM

TITLE - TITRE

ORGANIZATION - ORGANISME

STREET - RUE

CITY - VILLE

PROVINCE POSTAL CODE POSTAL COUNTRY - PAYS

FASTEN HERE - SCELLER ICI

NATIONAL SCIENCE FILM LIBRARY

Over 3,000 films on science are available to any educational institution or group in Canada, through the National Science Film Library, a division of the Canadian Film Institute.

Films are made available on a rental basis, at the lowest possible service charge. They are deposited by producers, embassies, scientific groups, and U.S. and Canadian government agencies, and catalogued by subject. Catalogue lists are available free of charge, though a minimal charge is made for catalogues.

There are films to help you illustrate, teach, learn and enjoy many branches of science, and the Library can help you use them constructively, through direct programming assistance from its staff. The development of specialized subjects, as a result of comprehensive sponsored film surveys, has allowed the NSFL international recognition in major disciplines such as Earth Sciences and the Health Sciences.

Films are available on: Agriculture, Anthropology, Behavioral Sciences, Biology, Earth Sciences, Engineering, Forestry, Medical Sciences, Physics, NASA documentaries on space research, single concept teaching films . . . and many more.

For more information, contact the National Science Film Library, 303 Richmond Road, Ottawa, K1A 6X3.

LA FILMOTHÈQUE SCIENTIFIQUE NATIONALE

Par l'intermédiaire de la Filmothèque scientifique nationale (FSN), l'Institut canadien du film offre plus de 3 000 films scientifiques aux maisons d'enseignement canadiennes, moyennant des frais de location très modiques.

Ces films émanent de réalisateurs, d'ambassades, de groupes scientifiques ainsi que d'agences gouvernementales américaines et canadiennes et sont classés par sujet. On demande une somme minime pour les catalogues mais leur liste est gratuite.

Ces films vous aideront à illustrer, à enseigner, à apprendre de nombreux sujets scientifiques, ou tout simplement à vous divertir, et le personnel de la FSN vous aidera à en tirer profit. Les sujets spécialisés qu'elle a pu traiter grâce à des sondages exhaustifs ont valu à la FSN une réputation internationale dans des domaines comme les sciences de la Terre et les sciences de la santé.

On offre des films sur l'agriculture, l'anthropologie, les sciences du comportement, la biologie, les sciences de la Terre, la technologie, les sciences forestières, les sciences médicales, la physique ainsi que des documentaires de la NASA sur la recherche spatiale, des films pédagogiques spécialisés . . . et bien d'autres encore.

Pour plus de renseignements, contacter la FSN, 303, chemin de Richmond, Ottawa, K1A 6X3.

CUT - DÉCOUPEZ

National Research Council Canada
Ottawa, Canada
K1A 0R6

Conseil national de recherches Canada
Ottawa, Canada
K1A 0R6

- PLIEZ VERS L'INTÉRIEUR

FOLD IN

Canada Post / Postes Canada

Bulk Third Class / En nombre Troisième classe

K1A 0R6 Canada

DR J E BROWN 013305 01
NAT SC LIBRARIAN
CISTI
M 55

IS YOUR ADDRESS LABEL CORRECT?

Please make any needed corrections on form overleaf, clip along the dotted line, fold, fasten and return to us.

If you prefer to use a separate sheet, please *ensure that all the information on the label is included* to permit us to retrieve your address record from the computer.

VOS NOM ET ADRESSE COMPORTENT-ILS UNE ERREUR?

Veuillez procéder aux corrections éventuelles sur le formulaire se trouvant au verso, le découper en suivant le pointillé, le plier, le sceller et nous l'envoyer.

Si vous préférez utiliser une feuille séparée, *assurez-vous de n'omettre aucun des renseignements figurant dans le bloc-adresse* pour que nous puissions extraire de l'ordinateur les données relatives à votre adresse.

CUT - DÉCOUPEZ