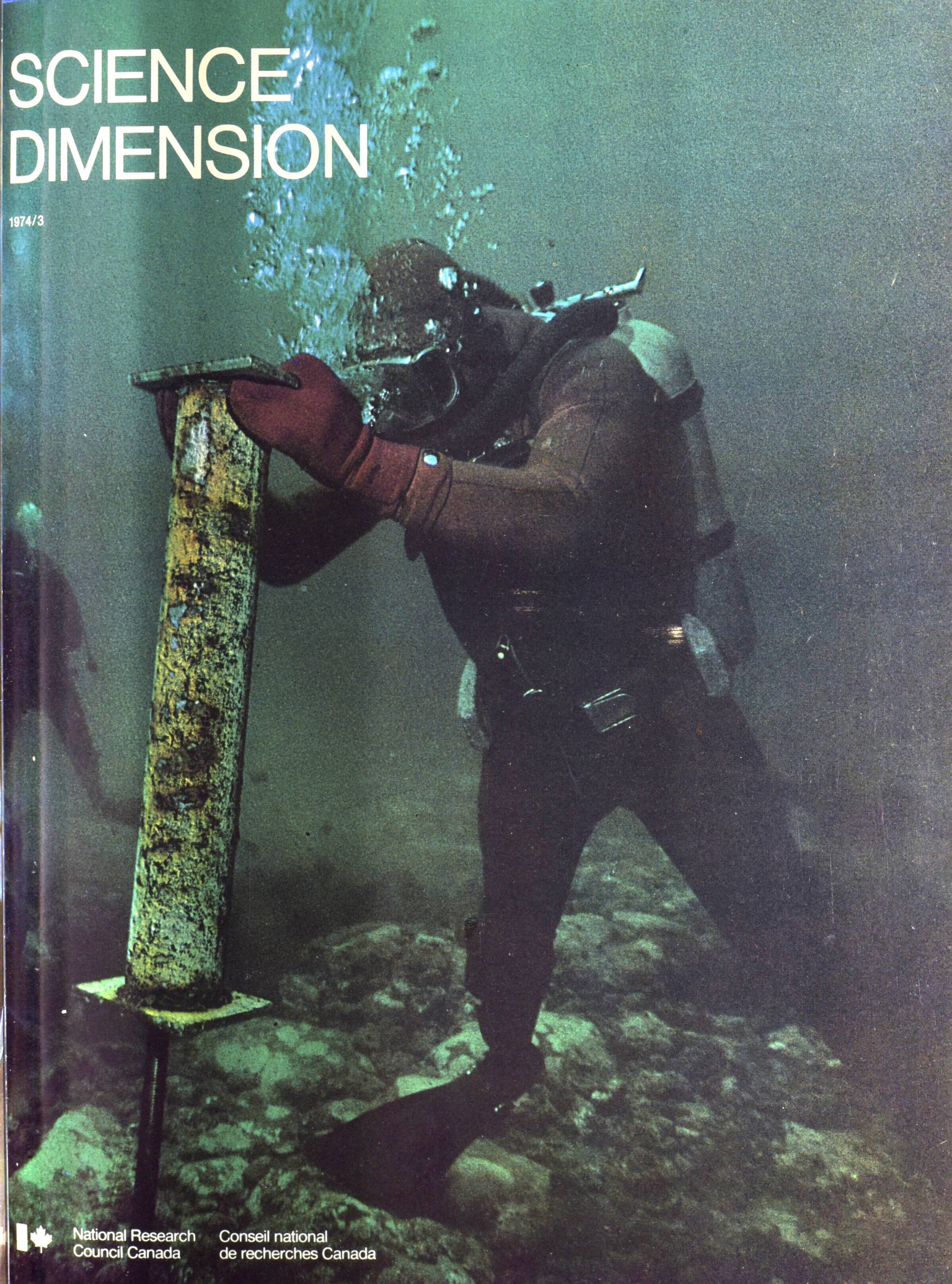


SCIENCE DIMENSION

1974/3



National Research
Council Canada

Conseil national
de recherches Canada

SCIENCE DIMENSION

Vol. 6 No. 3, 1974

Contents / Sommaire

4	A light-footed giant	
	Géant aux pattes de velours	5
10	The changing face of photogrammetry	
	Les métamorphoses de la photogrammétrie	11
16	Earthly uses for today's wind tunnels	
	Applications "terre à terre" des souffleries	17
24	The Comet Kohoutek	
	La comète de Kohoutek	25
28	Computer model of the cell	
	Modèle mathématique de la cellule	29

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.

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 à la Rédactrice-en-chef, Science Dimension, CNRC, Ottawa, Ontario, K1A 0R6, Canada. Téléphone: (613) 993-3041.

Photo credits: page 2, Canadian Government Photo Centre; pages 4-8, 19 (left), 20 (right), Division of Mechanical Engineering, NRC; page 10, Dr. K. Schirmer, Montreal; pages 12, 13 (left), 14, 15, 24, Division of Physics, NRC; pages 16-18, 19(right), 20-21 (centre), 21-23, National Aeronautical Establishment, NRC; page 20 (left), Division of Building Research, NRC; page 26, University of Toronto; page 27, Ottawa Citizen.

Photographies: page 2, du Centre de photographie du gouvernement canadien; pages 4, 8, 19 (à gauche), 20 (à droite), de la Division de génie mécanique du CNRC; page 10, du Dr. K. Schirmer, de Montréal; pages 12, 13 (à gauche), 14, 15 et 24, de la Division de physique du CNRC; pages 16, 18, 19 (à droite), 20-21 (au centre), 21 et 23, de l'Établissement aéronautique national du CNRC; page 20 (à gauche), de la Division des recherches en bâtiment du CNRC; page 26, de l'Université de Toronto; page 27, de "The Ottawa Citizen".

Managing Editor Loris Racine **Directeur**

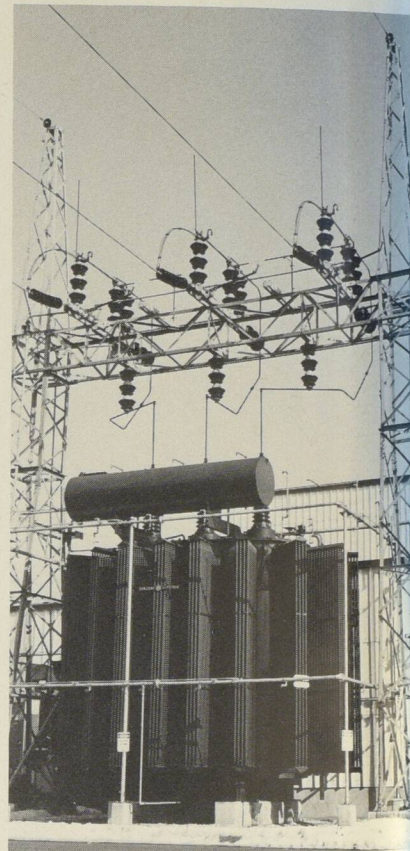
Editor Joan Powers Rickerd **Rédactrice-en-chef**

French Texts Georges Desternes, Claude Devismes **Textes français**

Graphics-Production Robert Rickerd **Arts graphiques-Production**

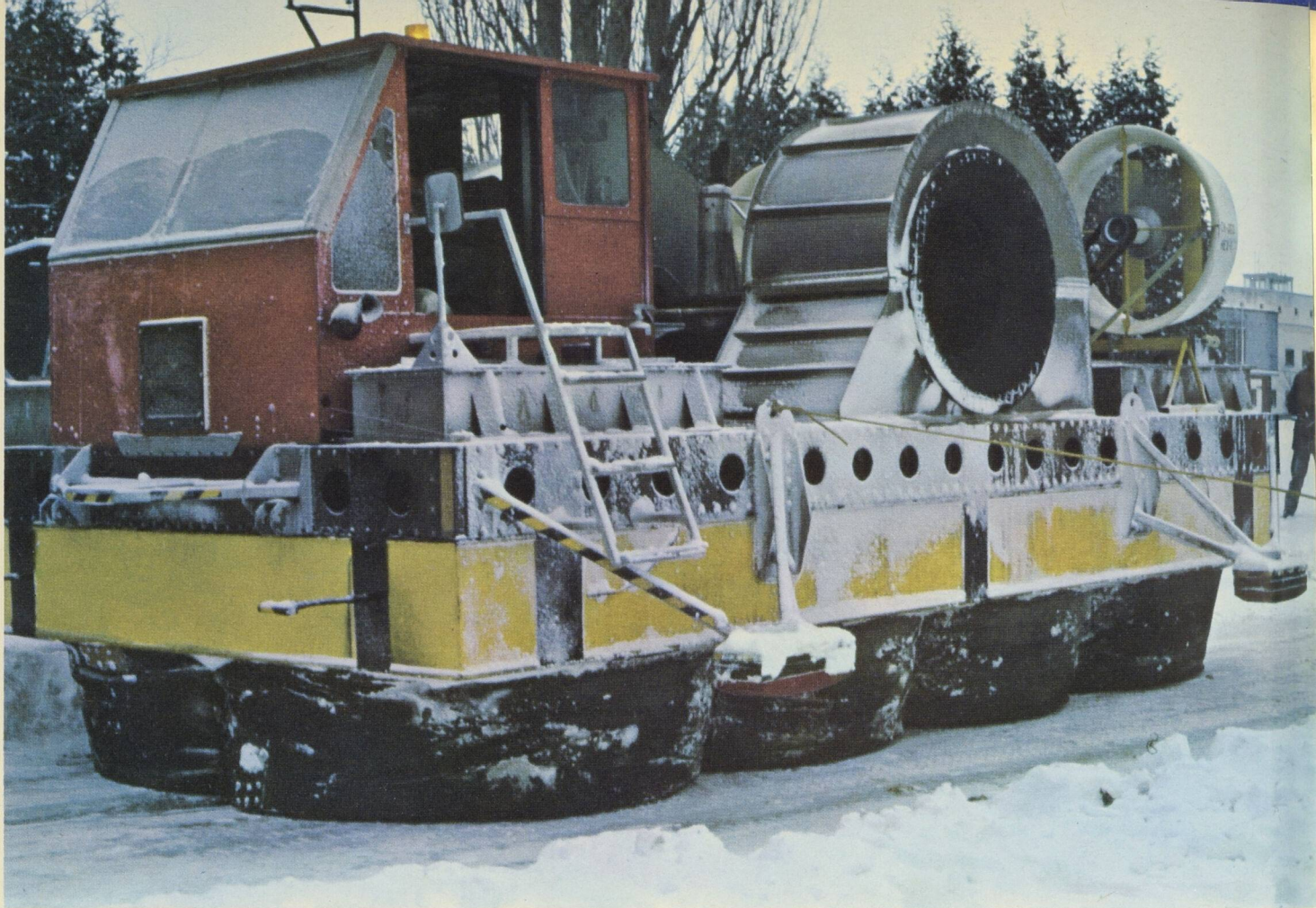
Staff photographer Bruce Kane **Photographe attaché à la Direction**

Printed by Mortimer Imprimeur



To help meet the demands of industry for precision measurement of high electrical power, NRC's Radio and Electrical Engineering Division has developed equipment for the calibration of current transformers at currents up to 60,000 amperes. This capability is the highest in North America. Here, Bernard Cassidy of the Electrical Engineering Section, works on the calibration equipment which employs the current comparator, a precise ratio standard developed at NRC. • Pour répondre à la demande industrielle, la Division de génie électrique du CNRC a mis au point des appareils de précision pour étalonner des transformateurs acceptant 60 000 ampères, valeur la plus élevée en Amérique du Nord. Sur notre photographie, M. Bernard Cassidy, travaille sur l'équipement d'étalonnage incorporant le comparateur, mis au point au CNRC, qui permet des mesures de rapports précises.





The air cushion trailer— Light-footed giant

Canada's extremes of terrain and climate, which produce conditions varying from needle-sharp ice in winter to pseudo-tropical swamps in summer, present an almost insurmountable problem for off-road transportation. Even highways and secondary roads are limited in their ability to carry heavy loads. 'Half-load' seasons are common across the country in spring. As roads begin to thaw and heave, the passage of heavy vehicles tears them to pieces, causing damage amounting to hundreds of thousands of dollars.

Ground transportation in Canada's remote regions is limited by the wheel. Despite the size and number placed beneath large bush vehicles, only a small portion of the tire is in actual contact with the ground. It is this area that carries the load of the vehicle, exerting it as downward pressure to the ground.

Climate as well as conditions of terrain play a significant role in transport in Canada's wilderness areas, where it is of great importance to travel for the exploitation of natural resources — timber, minerals and oil. In Arctic winter conditions, the frozen muskeg swamps and lakes can support heavy wheeled traffic and the secondary roads can carry the heaviest tractor-trailers. Even part of the St. Lawrence River freezes over and permits navigation only with the aid of ice-breakers during some months of the year. However, in the spring, the snow and ice melt and for a while the paved secondary roads are soft, and travel in the bushlands is impossible with wheeled vehicles carrying even the lightest loads. In the summer months, ships can navigate rivers and lakes and roads are good, although dusty. In some areas of Canada, such as Northern Ontario and Northern Quebec, log-

CASPAP (Cushion Aerodynamic System Parametric Assessment Rig) is being used for continuing studies at NRC laboratories in Ottawa on skirt-terrain interaction. Various skirts have been fitted to the test vehicle. • Le véhicule CASPAP sert à étudier l'interaction entre différentes jupes et le terrain. Ces études se font au CNRC à Ottawa.

gers can operate for only two months of the year hauling timber from cutting areas to pulp and paper mills. The loading and transport system must therefore be massive and speedy.

There are also the transportation problems faced by utility companies installing new services to remote communities or servicing far-off installations. Mining and exploration companies alike often resort to using helicopters to transport men, equipment and supplies to wilderness areas, a high but necessary expense.

What has been needed in Canada to alleviate most of the nation's awesome transportation problems in remote regions is a 'light-footed giant', capable of carrying immense loads — a load-spreading vehicle which would exert minimal downward pressure, permitting its passage many times over ecologically-fragile or hazardous terrain without causing irreparable damage.

A means of transport which started its career 15 years ago in Britain and France as a method of high-speed travel over water, has started to evolve as this 'giant'. Air cushion vehicles (ACVs) have already proved themselves capable of coping with Canada's terrains by transporting heavy loads across conditions as varied as chunks of ice to tree stumps and muskeg. The concept of the ACV has remained virtually unchanged. In simple terms, the British and French technology provided Canadian researchers with the right vehicle but the wrong 'tires'. The 'skirt', the flexible curtain surrounding ACVs which contains the air within to provide lift, had to be redesigned. Conventional skirts, as used in marine ACVs, will not operate satisfactorily on rough terrain, and early tests using marine skirts have demonstrated their susceptibility to damage from sharp objects.

L'aéroglisser remorqué

Géant aux pattes de velours

Le Canada est un immense pays très froid en hiver et très chaud en été; le terrain, varié à l'extrême, peut y être couvert de glaces à arêtes coupantes durant l'hiver et, l'été, se transformer en marais pseudo-tropicaux rendant les transports en dehors des routes presque impossibles. Même les autoroutes et les routes secondaires ne peuvent transporter que des charges limitées car les barrières de dégel sont de règle dans tous le pays au printemps. A mesure que le sol se réchauffe les véhicules lourds défoncent les routes et les réparations coûtent des centaines de milliers de dollars.

Les transports, dans les régions isolées du Canada, ont été limités par la roue qui donne toujours une pression élevée sur le sol même si l'on utilise de nombreuses roues à gros pneus sous les véhicules.

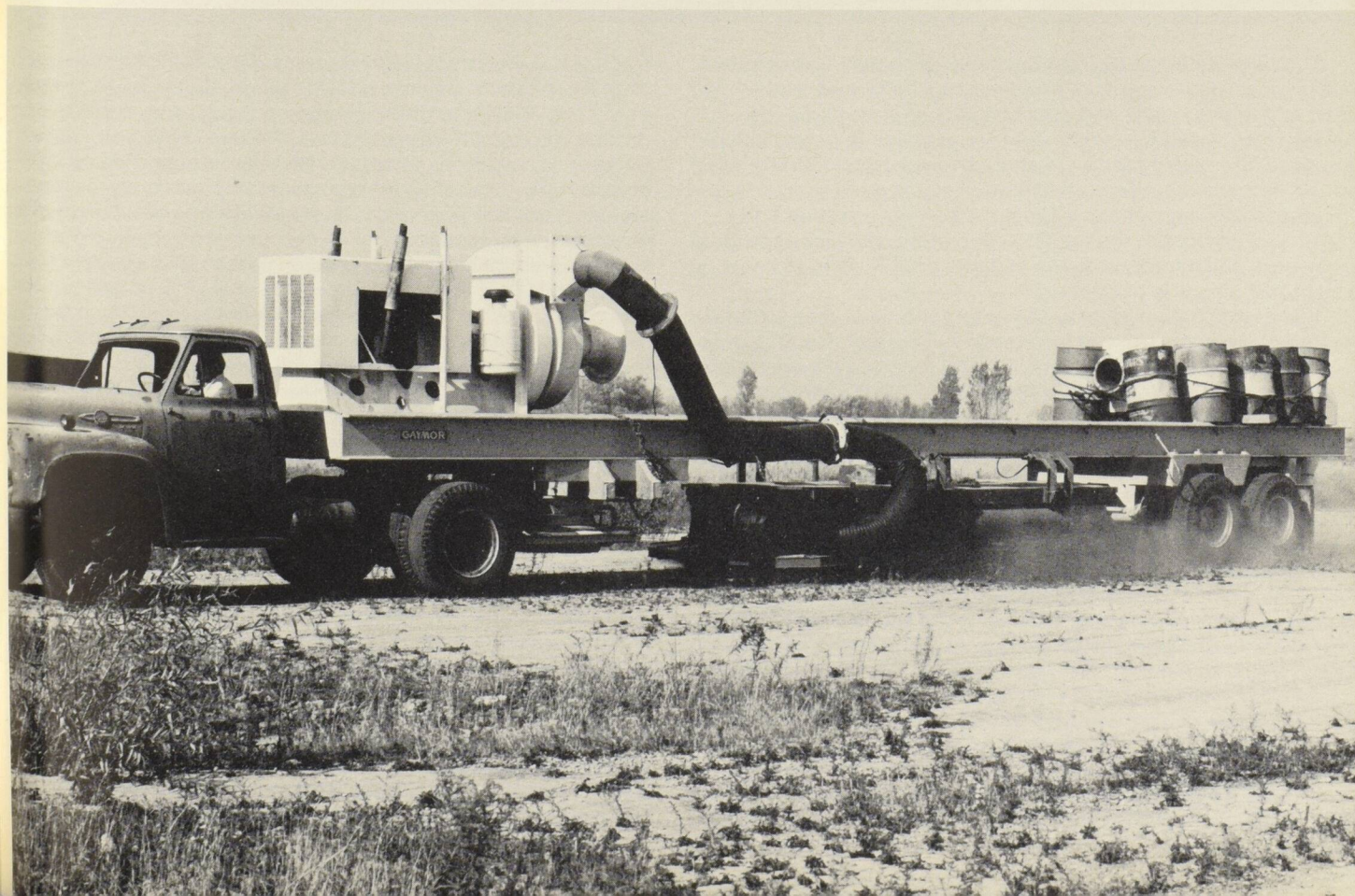
Il est toutefois très important de pouvoir se déplacer aisément en brousse, où le climat et le terrain jouent un grand rôle, si l'on veut exploiter les ressources de ces régions c'est-à-dire les bois, les minéraux et le pétrole. En hiver, dans les régions arctiques, les routes, les marais et les lacs gelés peuvent supporter de lourds véhicules montés sur roues. Au printemps, avec le dégel, les routes secondaires asphaltées deviennent fragiles et le transport en brousse à l'aide de véhicules montés sur roues devient impossible même pour les charges les moins lourdes. Durant les mois d'été, on peut se déplacer en bateau sur les rivières et les lacs; on peut aussi utiliser les routes qui sont bonnes quoique poussiéreuses. Dans certaines régions du Canada, comme dans le nord de l'Ontario et du Québec, les bûcherons ne peuvent déplacer les bois coupés et les amener aux usines de pâtes à papier que pendant deux mois de l'année. Ce qui rend nécessaire de disposer de moyens de transport et de chargement très importants et très rapides.

Les compagnies qui doivent installer de nouveaux services dans des agglomérations éloignées, ou assurer l'entretien d'installations en des coins perdus, rencontrent aussi des difficultés. Celles qui font de l'exploration ou exploitent des mines se servent souvent d'hélicoptères pour transporter les hommes, l'équipement et les approvisionnements, ce qui revient fort cher.

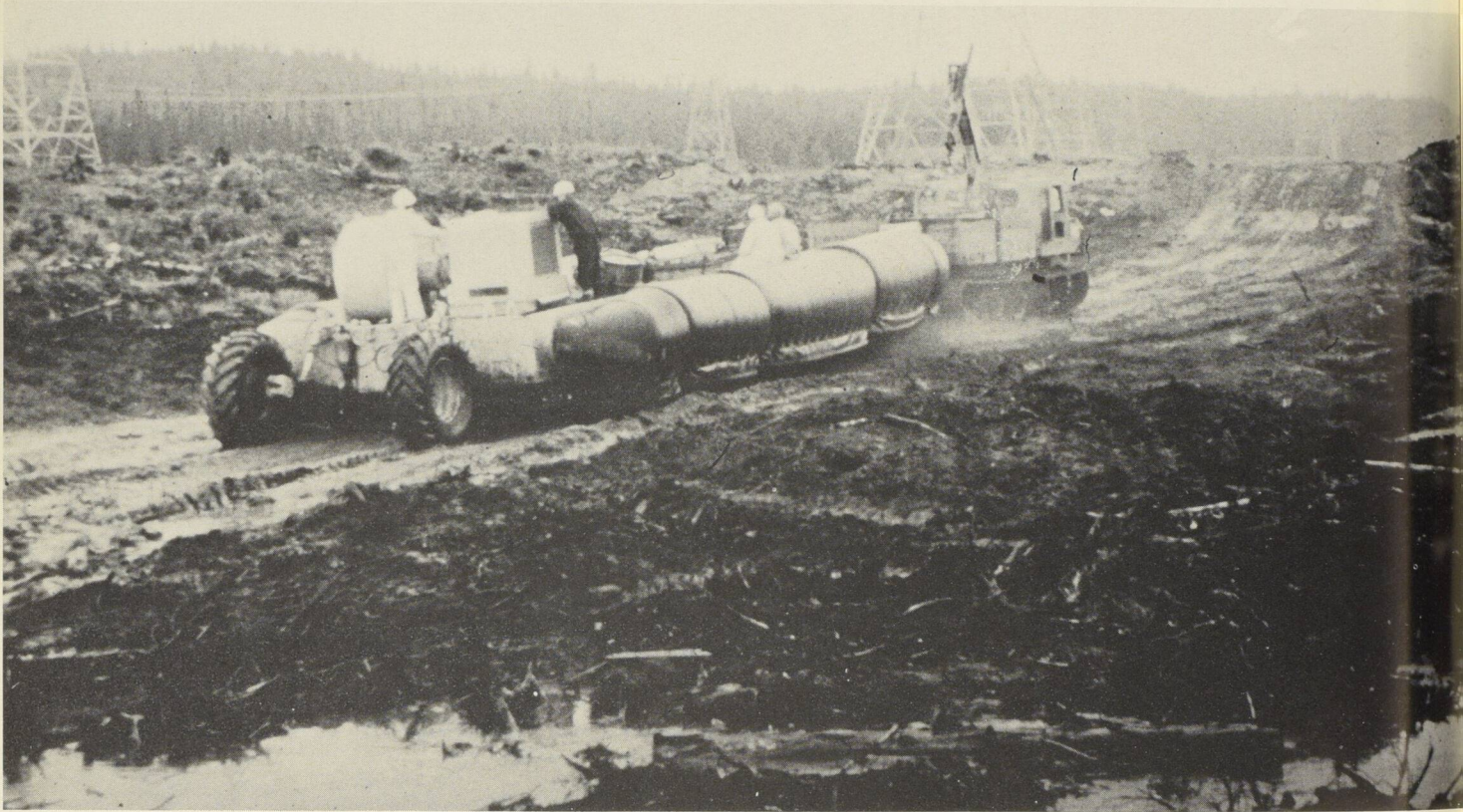
On a donc besoin, au Canada, d'un moyen de transport de surface n'exerçant qu'une faible pression sur le sol un peu comme le chameau dont les larges pieds augmentent de surface en touchant le sable du désert et, ainsi, empêchent qu'il s'enfonce et ne s'ensable. On pourrait alors, transporter de lourdes charges et assurer les transports sans dommages écologiques souvent irréversibles.

Il y a une quinzaine d'années, on a commencé en Grande-Bretagne et en France à faire des essais d'un nouveau véhicule rapide permettant de se déplacer juste au-dessus des terres et des eaux en n'exerçant qu'une faible pression tout comme le chameau. Il s'agit des aéroglisseres appelés aussi machines à coussins d'air ou machines à effet de sol. Il est maintenant démontré qu'elles peuvent être très utiles au Canada pour transporter de lourdes charges au-dessus de blocs de glace, de marais et des sols irréguliers des forêts coupées. Le principe même de l'aéroglisser n'a virtuellement pas changé. En termes simples, la technologie mise au point

This "air-cushion-assisted" tractor-trailer already has been demonstrated at 30 miles per hour, carrying a 70-ton load over unimproved roads, causing them no damage. • Remorque à coussin d'air au cours d'une démonstration sur route non asphaltée. Avec une charge de 70 tonnes elle est tirée par un tracteur à 30 miles à l'heure sans endommager la route.



An ACV trailer being towed by a relatively light tracked vehicle begins trials over muskeg at a hydro-line project on the north shore of the St. Lawrence River. • Remorque à coussins d'air, tirée par un tracteur à chenilles relativement léger, au cours d'essais sur terrain à muskeg de la côte nord du golfe du St-Laurent. Il s'agissait de transporter de lourds équipements électriques.



Such obstacles as tree stumps, ice which may form peaks and jagged pressure cracks, muskeg swamp strewn with fallen trees and debris, snow and dust conditions, must all be traversed without damage to the skirt for a design to be considered practical. The single factor of snow-covered ground has in itself numerous side-effect problems; light snow blows and obscures visibility; wet snow sinks beneath the cushion and forms a roll in front of the leading edge of the skirt; and water spray from slush freezes on the vehicle, greatly increasing its weight and clogging controls.

It is in the area of skirt-terrain interaction that researchers in the Engine Laboratory of the National Research Council of Canada's Division of Mechanical Engineering are concentrating their efforts. A test vehicle called CASPAR (Cushion Aerodynamic System Parametric Assessment Rig) has been constructed under contract to NRC. The vehicle is capable of testing any skirt design, and some already have been or will be tested under real operating conditions at NRC's Montreal Road site in Ottawa. Rugged tests over the real and simulated standardized conditions are providing engineers with vital information on the interaction between different designs and materials used for the skirts and the varying nature of the ground. It is this technology which will eventually result in the development of an off-road ACV with skirts suited to Canadian conditions of terrain and climate.

Howard Fowler is the man most closely associated with work on ACVs. His background had been in the field of centrifugal and axial fans. He explains the future role of ACVs in Canada:

"The essence of the air cushion vehicle is simply this. The total weight of a vehicle, divided by the area of its feet (tires,

track, etc.), equals the pounds per square inch of its tires, and also the pressure inflicted on the ground. So the larger the footprint area, the lighter the pressure on the ground. Some ground just can't take much pressure. Muskeg is badly broken up after a few passes at pressures of more than one pound per square inch. It costs a lot of money to improve bush roads to stand normal tire pressures. Tire pressures can be reduced by cramming a large number of wheels under a vehicle, but this reaches a limit and still only a small part of each tire is flat on the ground. So if the whole underside area of a vehicle is made into one huge tire, with no bottom to it but the ground, it has the largest footprint area possible and very little loss of air since the edge of the 'tire' or 'skirt' actually drags in the mud."

The ACV is also easy to tow on the level because neither air nor the skirt causes much friction. It is likely to be in this area of development that the ACV will become the most utilized under Canadian conditions. The load can be piled on such an air cushion trailer without destroying the ground, and the trailer can be towed with a small tractor which itself will not be heavy enough to destroy terrain or break through a weak road in a half-load season. Tests also have demonstrated the feasibility of using helicopters for towing AC trailers over extremely delicate or swampy terrain. The simplest air cushion trailer is simply a flat deck with a power unit and a blower on one end, and a flexible rubberized, fabric skirt around it to contain a cushion of air at a pressure of one pound per square inch. Large tractor wheels have been fitted to each end of AC trailers to provide traction and stability over sloping terrain, but the weight carried by each is minimal. The wheels merely provide contact with the ground to improve the controllability of the trailer. It is in the area of controllability and braking that self-

L'aéroglisser . . .

This hoverbarge or AC trailer, was towed over muskeg swamp with 12-ton loads, during a series of field trials at a hydro-line construction site in the Baie Comeau area of Quebec. • Cette remorque à coussins d'air est tirée sur terrain à muskeg durant des essais. Elle transporte 12 tonnes d'équipement électrique servant à la construction d'une ligne dans la région de Baie Comeau, au Québec.



par les Anglais et les Français a permis aux chercheurs canadiens de disposer du bon véhicule mais non pas des "pneus" adaptés au pays. Il a été en effet nécessaire de réétudier "les jupes", c'est-à-dire les parois souples placées à la périphérie de l'aéroglisser pour donner le coussin d'air assurant la portance. Les jupes traditionnelles, comme celles qui servent sur les aéroglisser marins, ne donnent pas de bons résultats sur les très mauvais terrains car elles sont percées par les objets pointus comme les premiers essais l'ont montré.

Les obstacles comme les souches d'arbres, la glace qui ne se forme pas régulièrement et ainsi cause des fissures dans la jupe et des fuites de l'enceinte sous pression, les arbres tombés dans les marais et les débris de toutes sortes, la neige et la poussière ne doivent pas endommager la jupe si l'on veut pouvoir compter sur le véhicule; même le sol couvert de neige crée de nombreux problèmes secondaires car cette neige est soufflée et réduit la visibilité; la neige mouillée s'enfonce sous le véhicule et forme un rouleau à l'avant du bord d'attaque de la jupe; enfin l'air qui s'échappe de la jupe pulvérise la boue et l'eau des rivières et des lacs en fines gouttelettes qui viennent geler sur le véhicule ce qui augmente son poids et coince les commandes.

Les ingénieurs du laboratoire des moteurs de la Division de génie mécanique du Conseil national de recherches du Canada étudient donc plus particulièrement l'interaction entre la jupe et le terrain. Un véhicule d'essais appelé CASPAR, pour "Cushion Aerodynamic System Parametric Assessment Rig", a été construit sous contrat. Grâce à lui, on a déjà essayé, ou l'on va essayer bientôt, de nombreuses sortes de jupes dans des conditions réelles d'exploitation au CNRC, chemin de

Montréal, à Ottawa. Des tests sévères dans des conditions habituelles, réelles ou simulées, ont fourni aux ingénieurs des renseignements très importants sur l'interaction entre des terrains variés et les jupes correspondant à des concepts différents et faites de matériaux différents également. On vise à obtenir une jupe adaptée aux conditions canadiennes.

C'est M. Howard Fowler, ingénieur spécialiste des ventilateurs et des compresseurs centrifuges ou axiaux, qui s'occupe le plus de ces travaux. Écoutons-le sur le rôle des aéroglisser au Canada: "Le principe de fonctionnement des aéroglisser est tout simplement le suivant: si l'on divise le poids total d'un véhicule par l'aire de ses "pieds", c'est-à-dire de ses pneus ou de ses chenilles, par exemple, on obtient la pression par unité de surface de contact avec le sol. Donc, plus l'aire des "pieds" est grande, plus la pression unitaire sur le sol est petite. Certains sols ne peuvent pas résister à une pression élevée. Ainsi le muskeg est très endommagé après quelques passages à une pression supérieure à une livre par pouce carré. Les routes de brousse coûtent fort cher si l'on veut utiliser des véhicules dont les pneus sont aux pressions habituelles. On peut réduire la pression sur le sol en augmentant le nombre de roues mais il y a une limite car, même avec un nombre maximum de roues, il est possible que la pression unitaire soit encore trop élevée pour certains sols. On a donc été amené à penser que le fond du véhicule pourrait "porter" sur toute sa surface; la pression unitaire serait alors très faible et le véhicule serait, somme toute, porté par une sorte d'énorme pneu sans fond et à basse pression. Les jupes en seraient les flancs mais il faudrait compenser en permanence la fuite due au manque de fond. Toutefois, on perdrait assez peu d'air si le bord du "pneu", c'est-à-dire de la jupe, traîne dans la boue".

propelled ACVs have encountered major problems. Yawing, sliding and an inability to stop quickly are problems which still remain to be solved.

Mr. Fowler refers to 1973 as Year One for Canada and the ACV. A high-speed ferry ACV owned by a transport corporation has been doing charter freight work in the MacKenzie and Yukon areas; a drill rig on an AC barge has been drilling for oil in the Arctic Ocean with an AC tender assisting as a crew ferry; two AC trailers have been transporting 10-ton loads of gravel and steel over muskeg on a hydro-line construction contract on the north shore of the St. Lawrence River; and a mining company has been using two AC trailers on the eastern Arctic coast to carry freight from offshore ships over the beaches and inshore to the worksite. Two more AC trailers will be used later to transport ore from the mines to a concentrator plant.

There remain six areas in which the thrust of research is being concentrated under the guidance of the National Research Council's Associate Committee on Air Cushion Technology, formed almost three years ago. Its 20 members from government, industry and university are guiding research into the off-road transportation possibilities for ACVs; on-road use, for lumbering applications in remote areas; as a means of rapid transit between Canadian cities; as an icebreaking device; and for light vehicles for exploration and personal use. The major part of the fundamental research involved is being conducted in universities, with financial assistance given by NRC through its Office of Grants and Scholarships. The CASPAR project and its peripheral design and testing has been conducted both at NRC laboratories in Ottawa and by industries supported in this work by NRC's Industrial Research Assistance Program.

Off-road transport heads the priority list, with Mr. Fowler's CASPAR and skirt-terrain interactions forming the basis. Data has already been gathered on roll stability, tow load and lift requirements. Towed AC barges and tug vehicles are being studied at the present time. Mere size is no problem, says Mr. Fowler, with a 125-ton payload unit already in production and a 3,000-ton unit in the design stages. Operating techniques for optimum economics are being studied, and consideration is being given to the cost effectiveness of bulldozing flat but unsurfaced 'hoverways' to give three and four times the speed of present-day equipment under all types of terrain and climate conditions.

For on-road use, the concept of a tractor-trailer with an air cushion beneath the float is a proven possibility for use on soft roads. Enough load is left on the wheels of the vehicle for it to qualify as a road vehicle, but enough load is taken off them to allow 70-ton loads to be driven over weak roads without causing damage. A research rig already has been demonstrated at 30 miles per hour, and the Prairie provinces are watching this development with keen interest for possible use in northern areas. A grid of cheap, unimproved roads could support such equipment, connecting isolated communities without the prohibitive cost of good, surfaced roads.

Insofar as lumbering applications of ACV technology are concerned, a series of experiments is being conducted by industry using AC trailers which can carry logs from the cutting point and float them out over 18-inch stumps down soft forest trails to the mill. Mr. Fowler sees no reason why the tree-harvesting machines themselves could not be mounted on AC floats.

The use of the ACVs for rapid transit systems is among



This large air cushion vehicle worked as an effective icebreaker during recent winter trials. Towed by a tractor, it broke a 70-foot-wide path through 27-inch thick ice, travelling at four miles per hour. • Essais récents en hiver d'une grande remorque à coussins d'air pour briser la glace. Elle est tirée par un tracteur à 4 miles à l'heure et brise une couche de glace de 27 pouces d'épaisseur sur 70 pieds de largeur.

several proposals for alleviating Canada's interurban transport problems. Air cushion trains are being considered and NRC researchers are currently studying snow build-up on tracks to gather data for the design of high-speed ice- and snow-clearing devices.

One of the most surprising uses of the ACV is as an icebreaker. The reasons for its ability to break ice are not fully understood and researchers are continuing to investigate the process. An ACV was towed by a tractor and broke a 70-foot-wide path through 27-inch-thick ice at four miles per hour. The vehicle used a total of 2,000 horsepower and two men.

It is believed that either a 'whip' action is created by the air cushion as the vehicle moves over the ice, or air is forced beneath the ice, leaving it no support from water and causing it to collapse. The Canadian Coast Guard and the Air Cushion Vehicles Division of the Ministry of Transport are conducting further research into this new-found ability of AC vehicles.

The final research area being investigated involves the development of self-propelled ACVs in the half-ton or personnel carrier category. Mr. Fowler concludes that such vehicles are the most difficult to build. To be economically feasible, such a vehicle must be powered by a car engine or a light diesel motor, and the problems of combining ruggedness with lightness and reasonable cost are presenting an immense challenge to engineers.

Says Mr. Fowler: "There is no doubt that air cushion vehicles, in their various forms, will within five years have a major impact upon transport in Canada. Industries such as lumbering and mining could well be revolutionized by developments in the ACV field. Their applications for heavy transport over weak ground is the main area of interest." □

David Smithers

L'aéroglisser . . .

L'aéroglisser remorqué est facile à tirer car la jupe ne donne pas un grand frottement. Il est probable que ce sera dans ce domaine que ce véhicule sera le plus utilisé au Canada. Il serait ainsi possible de transporter de lourdes charges sans détruire le sol "survolé"; la traction serait assurée par un petit tracteur qui ne serait pas lui-même assez lourd pour défoncer le terrain, ou les routes au moment du dégel. Des essais ont également démontré que l'on pourrait tirer ces remorques à l'aide d'hélicoptères lorsque le terrain est un marais ou que sa croûte est extrêmement fragile. Le plus simple des aéroglis-seurs remorqués est un plateau muni d'un moteur et d'une soufflante à une extrémité et équipé d'une jupe de toile caoutchoutée très souple tout autour pour que le coussin d'air ne soit qu'à une pression de une livre par pouce carré. De grosses roues de tracteurs sont montées à chaque extrémité pour avoir une bonne traction et une bonne stabilité sur les terrains en pente mais la charge supportée par chacune de ces roues est réduite au minimum. Il s'agit tout simplement d'assurer un contact avec le sol pour mieux diriger le véhicule. Les principaux problèmes des aéroglis-seurs automoteurs résident dans le pilotage et le freinage. Il reste encore à résoudre les problèmes du lacet, du glissement et de l'arrêt rapide.

Pour M. Fowler l'année 1973 est l'An I des aéroglis-seurs au Canada. L'un d'eux, appartenant à une compagnie, a servi à faire du transport rapide et nolisé de marchandises dans les régions du MacKenzie et du Yukon; une plate-forme à coussins d'air pour le forage de puits de pétrole a été utilisée dans l'Océan Arctique et elle était complétée par un "tender", à coussins d'air lui-même jouant le rôle de chaland pour les mouvements de personnel; deux remorques à coussins d'air ont transporté des charges de 10 tonnes de gravier et d'acier sur un terrain à muskeg lors de la construction d'une ligne électrique sur la côte nord du golfe du St-Laurent; une compagnie minière s'est servie de deux remorques à coussins d'air sur la côte est de l'Arctique pour transporter des marchandises déchargées d'un bateau au large jusqu'à des plages et même jusqu'à l'intérieur sur les sites de travail. Deux autres remorques à coussins d'air ont servi plus tard à transporter des minerais jusqu'à l'usine d'enrichissement.

Il reste six domaines de recherches poussées sous la direction du Comité associé de la technologie des coussins d'air, du Conseil national de recherches, formé il y a près de trois ans. Ses 20 membres représentent le gouvernement, l'industrie et les universités et ils dirigent la recherche sur les possibilités du transport en tous terrains, sur l'utilisation routière des aéroglis-seurs dans des régions éloignées pour transporter les grumes, sur l'emploi de ces véhicules comme moyens de transport rapide entre les villes canadiennes, comme brise-glace et comme véhicules légers d'exploration et pour les particuliers. La plus grande partie de la recherche fondamentale se fait dans les universités avec l'aide financière du CNRC, par l'intermédiaire de son Bureau des subventions et bourses. Le véhicule CASPAR et, plus particulièrement, ses jupes, sa motorisation et ses essais sont le résultat des études faites dans les laboratoires du CNRC, à Ottawa, et du travail des industriels bénéficiant du Programme d'aide à la recherche industrielle du CNRC.

Les transports en tous terrains ont la priorité et c'est la raison pour laquelle on étudie particulièrement les interactions entre les jupes et le terrain à l'aide du véhicule CASPAR de M. Fowler. On a déjà obtenu des données sur les conditions à remplir pour avoir une bonne stabilité en roulis, et une traction

et une portance appropriées. Actuellement on étudie des chalands remorqués à coussins d'air et leurs remorqueurs. Les dimensions des véhicules ne constituent pas un problème, nous a dit M. Fowler, puisque l'on construit déjà un véhicule à charge utile de 125 tonnes et que l'on étudie un véhicule de 3 000 tonnes. Les techniques d'utilisation en service pour une exploitation économique optimale et les coûts d'aplanissement des terrains sont à l'étude; il s'agirait de construire des "routes" non asphaltées pour véhicules à coussins d'air ce qui permettrait des vitesses de trois à quatre fois celles des équipements actuels sur tous les terrains et par tous les temps.

On sait qu'une remorque et son tracteur, tous les deux à coussins d'air, peuvent utiliser des routes ne supportant que de faibles pressions mais acceptant toutefois des roues suffisamment chargées pour pouvoir diriger le véhicule de sorte que même des charges de 70 tonnes peuvent être transportées sur ces routes sans causer de dommages. Un banc d'essais a permis de le démontrer à 30 miles à l'heure et les provinces des Prairies surveillent de près le développement de ces véhicules car on pense s'en servir pour le Grand Nord.

Pour les bûcherons, ces aéroglis-seurs remorqués peuvent être également très intéressants et l'on fait actuellement des essais avec des remorques permettant d'amener les troncs d'arbres jusqu'aux scieries en "survolant" des souches hautes de 18 pouces. M. Fowler ne voit aucune raison pour que les arbres eux-mêmes ne soient pas manutentionnés à l'aide de remorques à coussins d'air.

Ces temps-ci, on envisage beaucoup de se servir d'aéroglis-seurs pour relier les villes canadiennes entre elles et le CNRC étudie le déblaiement de la neige et de la glace sur les voies à grande vitesse pour trains à coussins d'air.

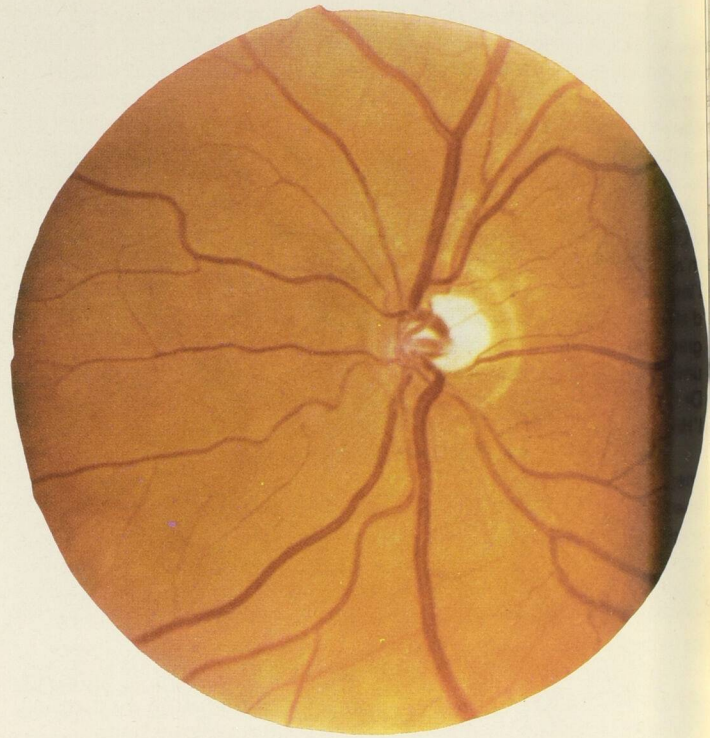
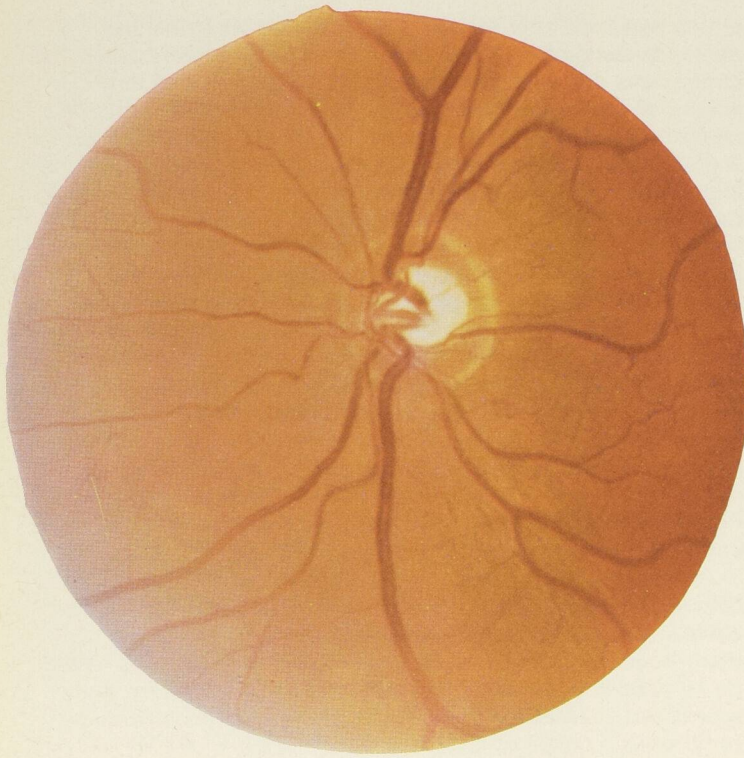
L'une des applications les plus surprenantes des aéroglis-seurs est le brise-glace. On ne comprend pas encore très bien comment ce véhicule peut casser la glace et l'on continue d'en étudier le mécanisme. Un aéroglis-seur tiré par un tracteur a cassé des couches de glace de 27 pouces d'épaisseur sur une largeur de 70 pieds à une vitesse de 4 miles à l'heure. Le véhicule utilisé était conduit par deux personnes et sa puissance était de 2 000 chevaux.

On pense qu'un "coup de fouet" est donné par le coussin d'air du véhicule au fur et à mesure qu'il avance sur la glace ou que de l'air est forcé sous la glace qui n'étant plus soutenue par l'eau, ne peut que se briser et tomber dans l'eau. La Défense littorale canadienne et la Division des véhicules à coussins d'air du Ministère des transports font des recherches pour essayer d'expliquer cette nouvelle application des aéroglis-seurs.

Les autres recherches se rapportent à des aéroglis-seurs automoteurs d'une demi-tonne ou pour le transport du personnel. M. Fowler pense que c'est là le type de véhicule le plus difficile à construire. Pour être économique, il faut pouvoir utiliser un moteur de voiture, ou un petit moteur diesel, et aboutir à un véhicule léger, très robuste et peu coûteux ce qui constitue un gros problème pour les ingénieurs.

Et M. Fowler a terminé en disant: "Il n'y a aucun doute que les véhicules à coussins d'air sous leurs diverses formes auront dans les cinq ans un impact majeur sur le transport au Canada. Les industries, comme celles des exploitations forestières et minières, pourraient bien être révolutionnées par les développements dans les aéroglis-seurs. Les applications pour le transport de très lourdes charges sur des terrains n'acceptant qu'une faible pression constituent le domaine d'intérêt principal". □

From mapping to medicine— The changing face of photogrammetry



"In collaboration with a group from the National Research Council of Canada's Division of Mechanical Engineering, we developed a modified system of rods to be used in the surgical correction of spine deformation," says Dr. Gordon W.D. Armstrong of the Orthopaedic Department, Ottawa Civic Hospital. "After reading a Science Dimension article on the use of photogrammetry to record, with all the geometric finesse, the interior of an Ottawa convent, I began to think this method also could be used in my work. Since the insertion of correcting rods in the human body requires numerous careful considerations, we asked photogrammetric experts in NRC's Division of Physics to help us in precise evaluation of this technique."

In the joint project which followed, the performance of the rod system and the corrective spinal operation was successfully analyzed by using photogrammetric techniques.

Photogrammetry — the science of making reliable measurements from photographs — has traditionally been linked to the fields of surveying and mapping. However, it is now receiving widespread application in other diverse and, at first, seemingly incompatible fields. Photogrammetry is earning acceptance in medicine and various scientific and engineering disciplines including transportation safety, manufacturing processes, environmental and pollution studies.

The Photogrammetric Research Section of NRC's Division of Physics is currently investigating these and many other photogrammetric utilizations and is developing new techniques.

"The photogrammetric technique most widely used consists of photographing an object from two locations," says Dr. T.J. Blachut, Head of NRC's Photogrammetric Research Section. "From these photographs taken by special cameras, a physical (optical) or mathematical model of the photographed object is formed, which is then submitted to precise measurements or which can be graphically plotted in the form of drawings or plans."

In medicine, for example, a physician can precisely determine the size and rates of change of the eye interior by using special photographic techniques for proper diagnosis and possible surgical intervention. There is close cooperation in this field between Dr. K. Schirmer at St. Mary's Hospital in Montreal and NRC scientists.

Another development is the NRC brain scanner in which ultrasonic waves are used as a diagnostic tool to penetrate the skull painlessly to produce a map of the internal structures, depicting possible disorders such as tumors. Montreal's Maisonneuve Hospital is using this equipment extensively on an experimental basis and the equipment has been credited by expert physicians as the most advanced of its kind in the world.

NRC laboratories are studying the possibility of the use of photogrammetric methods in the production of artificial limbs. At present a custom made artificial limb is formed manually and subjective judgment determines whether it is identical to the remaining healthy limb. The process is lengthy and

Above: stereophotographs of the rear portion of the eye taken simultaneously by a modified ophthalmologic camera are used for the precise photogrammetric measurement of the spatial structure of the retina.

• **Ci-dessus:** avec ces stéréo-photographies de la partie postérieure de l'oeil la structure spatiale de la rétine peut être mesurée avec précision. Elles ont été prises simultanément avec un appareil de photographie ophtalmologique modifié.

De la cartographie à la médecine

Les métamorphoses de la photogrammétrie

"En collaboration avec un groupe de chercheurs de la Division de génie mécanique du Conseil national de recherches, nous avons mis au point un nouvel ensemble de tiges métalliques qui, après mise en place par un chirurgien, permettent de corriger les déformations de la colonne vertébrale. C'est après avoir lu un article de Science Dimension sur l'utilisation de la photogrammétrie pour photographier, sans rien perdre de sa finesse géométrique, l'intérieur d'un couvent d'Ottawa, que j'ai pensé que cette méthode pourrait aussi m'apporter une aide précieuse dans mon travail mais comme l'insertion de ces tiges dans le corps humain exige beaucoup d'attention j'ai demandé l'assistance des experts en photogrammétrie de la Division de physique du CNRC pour obtenir une évaluation précise de cette technique", nous a déclaré le Dr Gordon W.D. Armstrong, du Département d'orthopédie de l'Hôpital municipal d'Ottawa.

La photogrammétrie, technique qui permet de faire des mesures précises en partant de photographies, est habituellement associée à la cartographie et à la topographie mais on y a recours aujourd'hui dans de très nombreux domaines qui, initialement, semblaient ne pas s'y prêter comme, par exemple, la médecine, la sécurité dans les transports, les processus de fabrication, l'environnement et la pollution et diverses autres spécialités scientifiques et techniques.

La section de photogrammétrie de la Division de physique du CNRC essaie de trouver de nouveaux domaines d'application tout en perfectionnant la technique elle-même.

Son chef, le Dr T.J. Blachut, nous a dit: "La méthode la plus courante consiste à photographier un objet à partir de deux emplacements différents avec des appareils photographiques spéciaux. Avec les photographies obtenues on construit ensuite un modèle physique (optique ou mathématique) de l'objet photographié que l'on mesure ensuite avec précision ou que l'on peut reproduire graphiquement, c'est-à-dire sous forme de dessins ou de plans".

En médecine, par exemple, le médecin peut déterminer avec précision l'amplitude et la fréquence des changements qui interviennent à l'intérieur de l'oeil d'un malade en se servant de photographies spéciales pour établir un diagnostic précis en vue d'une éventuelle intervention chirurgicale. Une collaboration étroite s'est d'ailleurs établie dans ce domaine entre le Dr K. Schirmer, de l'Hôpital Ste-Marie, à Montréal, et les chercheurs du CNRC.

Le CNRC a également mis au point un échoencéphalogramme permettant, grâce aux ultra-sons, une exploration sans douleur de la boîte crânienne et de tracer un schéma de ses structures pour mettre en évidence des anomalies comme les tumeurs. L'Hôpital Maisonneuve, de Montréal, expérimente intensivement cet appareil que les spécialistes considèrent comme le plus perfectionné du monde dans ce domaine. Les laboratoires du CNRC étudient les possibilités d'application des méthodes photogrammétriques à la fabrication de membres artificiels. Actuellement, les membres artificiels sont fabriqués à la main sans autre référence qu'une observation visuelle objective pour s'assurer qu'ils sont identiques aux membres sains. Il s'agit là d'une méthode de fabrication longue et coûteuse alors que la photogrammétrie nous offre un moyen de faire des mesures extrêmement précises et rapides du membre sain grâce auxquelles le membre artificiel peut être exécuté avec précision et automatiquement à l'aide de machines-outils à commandes numériques.

La photogrammétrie fournit les coordonnées X, Y et Z

indispensables aux fraiseuses à commandes numériques. Le modèle de la pièce devant être fabriquée en grande série est photographié et sa forme précise est déterminée photogrammétriquement. Ce procédé offre plusieurs avantages, dont la possibilité de faire des mesures en des points choisis aléatoirement et de conserver des références permanentes de l'objet photographié sous la forme de stéréophotographies qui peuvent être mesurées à nouveau n'importe quand, même après modification ou destruction de l'original du modèle. Les données photogrammétriques sont peut affectées par la complexité de la surface à mesurer, ce qui n'est généralement pas le cas avec les systèmes de mesure mécaniques.

Cette technique est utilisée occasionnellement par les constructeurs d'automobiles pour dessiner et vérifier les châssis des prototypes. On y fait également appel en recherche aéronautique pour obtenir des mesures précises des maquettes d'aéronefs essayées en soufflerie. Des scientifiques du CNRC ont d'ailleurs mis au point pour ces travaux une caméra permettant d'obtenir des vues en gros plan dont les caractéristiques optiques et géométriques répondent à des conditions bien précises.

Un des autres avantages de la photogrammétrie par rapport aux systèmes de mesure mécaniques ou électriques est qu'elle permet de déterminer les formes et les déformations de corps fragiles, étant donné qu'il n'est pas nécessaire d'appliquer des capteurs mécaniques ou électriques sur l'objet à mesurer.

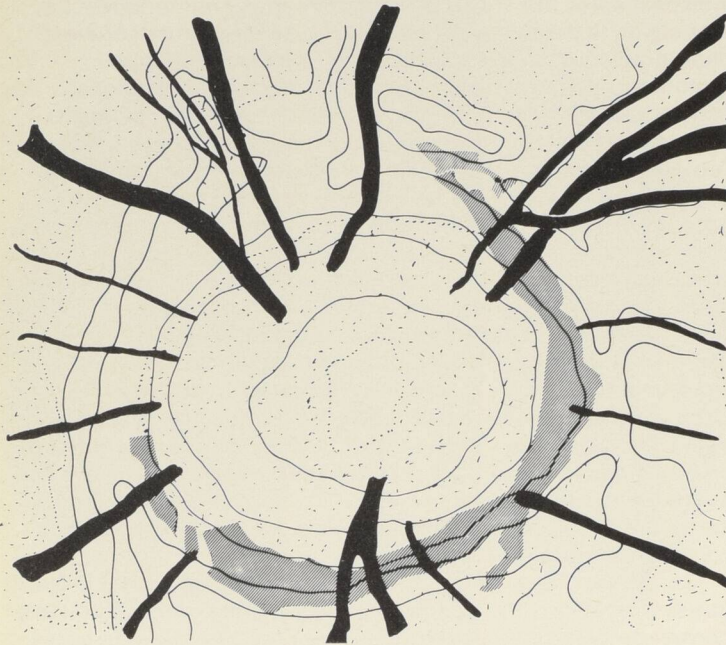
En Amérique du Nord, comme dans les autres pays, les problèmes à résoudre en matière de sécurité routière sont considérables et là encore la photogrammétrie appliquée aux études de mobiles se déplaçant rapidement dans des conditions à évolution rapide est un outil précieux pour l'analyse des variables entrant dans l'étude des collisions. Le déclenchement de l'obturateur de la caméra est si rapide qu'il permet d'obtenir un instantané d'un véhicule en mouvement en n'importe quel point de sa trajectoire tant sous conditions expérimentales que réelles. Toutes les données précises nécessaires à l'évaluation de l'essai ou à l'étude de la cause de l'accident peuvent être déterminées à l'aide d'instruments de mesure spéciaux et d'un ordinateur.

Le CNRC étudie actuellement, par exemple, les glissières d'autoroutes à l'aide de photographies données par des caméras à cadence de prises de vues élevée, et analysées par ordinateur. L'objet de cette étude est de déterminer exactement ce qui se passe lorsqu'un véhicule heurte une glissière et rebondit. Chacune des 130 images prises en une seconde peut être examinée séparément pour localiser avec précision tous les points du véhicule et déterminer les vitesses de rotation en tangage, en roulis et en lacet. On peut donc reconstituer avec une précision de quelques pouces la totalité de la trajectoire tridimensionnelle du véhicule. Il est également possible d'obtenir une représentation graphique des variations d'assiette tous les centièmes de seconde avant, durant et après l'impact.

Des méthodes semblables ont été mises au point au CNRC pour faciliter les enquêtes sur les accidents d'avions. Malheureusement, dans ce cas, les accidents ne peuvent être photographiés que par hasard, généralement par des photographes amateurs et il n'en est que plus difficile d'obtenir des mesures précises de haute qualité et il faut donc avoir recours à des procédés spéciaux.

Les photographies consécutives des configurations en vol conduisant à une perte de contrôle ou à une rupture structurale et, ainsi, à l'écrasement au sol d'un aéronef, permettent

photogrammetry



Photogrammetric plot yielding positional details and contour lines of the rear portion of the eye. • Restitution photogrammétrique donnant la localisation des détails et les courbes de niveaux de la partie postérieure de l'oeil.

expensive. However, photogrammetry can provide precise and rapid measurement of the healthy limb from which the artificial limb can be exactly and automatically produced by using modern, numerically-controlled machine tools.

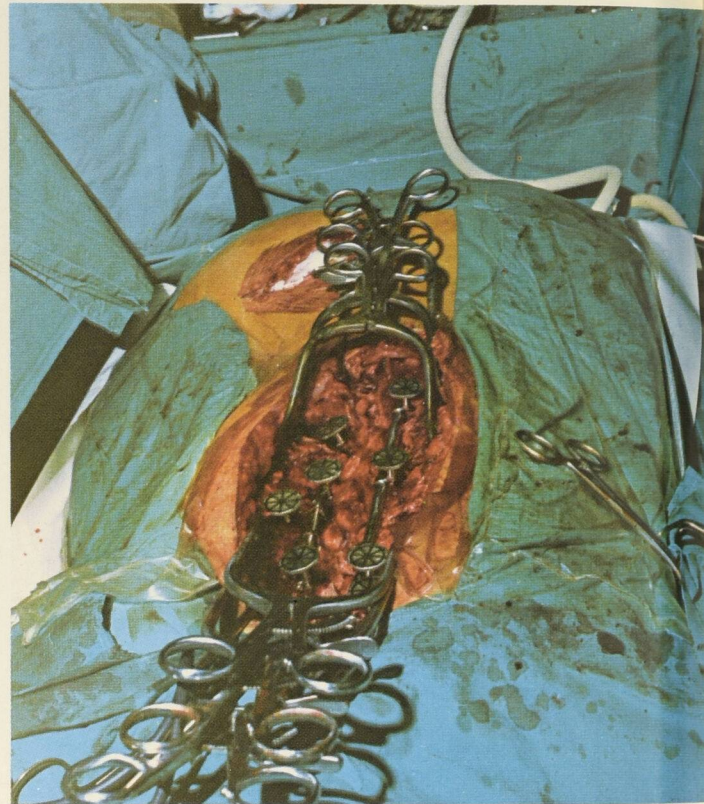
In mass manufacturing processes, such as the production of artificial limbs or mechanical parts for various types of machinery, photogrammetry provides the X, Y and Z coordinates required as input for digitally controlled milling machines. A master model of the part which is to be manufactured is photographed and its precise shape is photogrammetrically determined. This offers several advantages to manufacturers. Measurements can be taken at random, or if so required, at predetermined intervals. A permanent record of the photographed object is obtained by means of stereophotographs, which can be remeasured at any time, even after the original model has been altered or destroyed. Photogrammetric results are little affected by the complexity of the surface to be measured, which often is not the case in mechanical measuring techniques.

This technique is occasionally used by car manufacturers to design and check prototype automobile bodies. In aeronautical research, precise measurements of aircraft models tested in wind tunnels can be obtained by photogrammetric means. For this purpose, NRC scientists developed a camera permitting close-up photographs with specific optical and geometric characteristics.

Another advantage of photogrammetry over mechanical or electrical measuring systems is that it can be used for determination of shapes or deformations of fragile bodies since it does not require attaching mechanical or electrical sensors on the object to be measured and no mechanical contact between the object and the measuring tool is involved.

Transportation in North America, as in other countries, is

Photogrammetry was used during surgical correction of spinal deformation to determine the performance of the Transverse Loading System. Photograph shows photogrammetric targets temporarily attached to the Transverse Loading System. • On s'est servi de la photogrammétrie au cours d'une opération visant à corriger une déformation de la colonne vertébrale pour déterminer la valeur du Système de mise en charge transversale. La photographie montre les cibles photogrammétriques fixées temporairement au système.



plagued by safety problems. Photogrammetry, applied in studies of rapidly moving objects and fast varying situations, is an invaluable tool in the evaluation of variables in vehicular collision studies. The camera's shutter speed can "freeze" any momentary position of a moving vehicle both in special experiments or in accident situations. All the precise measurements necessary to evaluate the test or assess the cause of an accident can be extracted with the use of special instruments and a computer.

As an example, high-frequency motion pictures are used with the aid of a computer in a study of highway safety barriers currently under way at NRC. The study is designed to help determine exactly what occurs when a motor vehicle collides with a barrier and bounces back. Each of the 130 frames per second can be separately examined to determine the accurate location of any point of the car and any corresponding attitude changes expressed by pitch, roll and yaw. Thus, the complete three-dimensional path of the vehicle can be reconstructed within an accuracy of a few inches. Smooth curves also can be plotted giving attitude variations every hundredth of a second before, during and after the moment of impact.

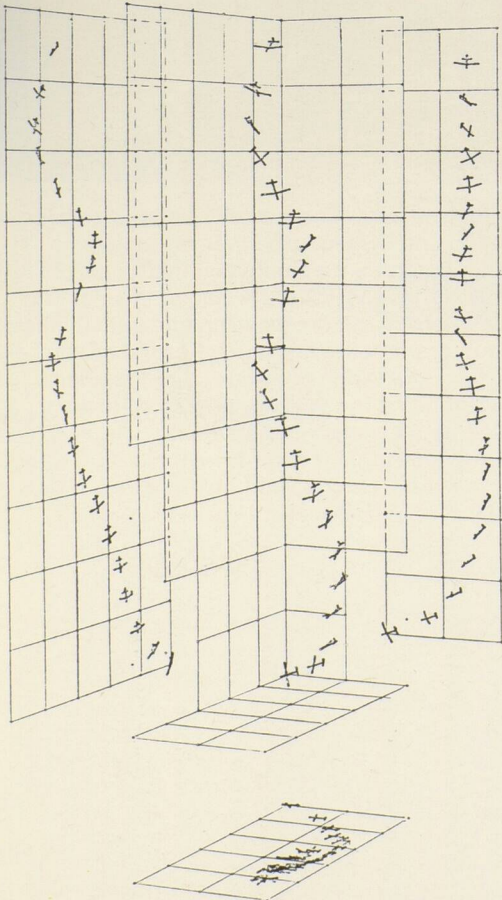
Similar methods have been developed at NRC to support aircraft accident investigations. But in this case, only photographs taken incidentally by onlookers may be available. As a result it is much more difficult to extract precise measurements of high quality and very special procedures must be used.

Consecutive single photographs of events leading to loss of control or structural failure, and the subsequent crashing of aircraft permit the determination of the spatial position of the airplane if its dimensions are known. A sequence of photographs where available, makes possible the determination not

... la photogrammétrie

de déterminer sa position spatiale si ses dimensions sont connues. Grâce à une séquence de photographies il est non seulement possible de déterminer un certain nombre de positions mais également de connaître les vitesses angulaires et linéaires. Connaissant les vitesses et les positions, on pourra éventuellement déterminer la cause de l'accident et éliminer les fausses hypothèses. Cette méthode a été utilisée dans différentes occasions par le Ministère des transports lorsque l'on s'est trouvé à disposer de films ou de photographies comportant des données cruciales.

Les quelques exemples que nous venons de citer montrent que la photogrammétrie, conçue à l'origine pour la production de cartes et de relevés topographiques, est en passe d'être universellement adoptée comme une méthode de mesure et d'enregistrement des données qui se distingue par son originalité et sa souplesse d'emploi. Elle est basée sur la physique et les mathématiques, et la photographie dont la photographie aux rayons X, la télémessure, l'optique, l'électronique et la mécanique de haute précision très spéciale ne sont que quelques-uns des nombreux domaines auxquels elle fait appel.

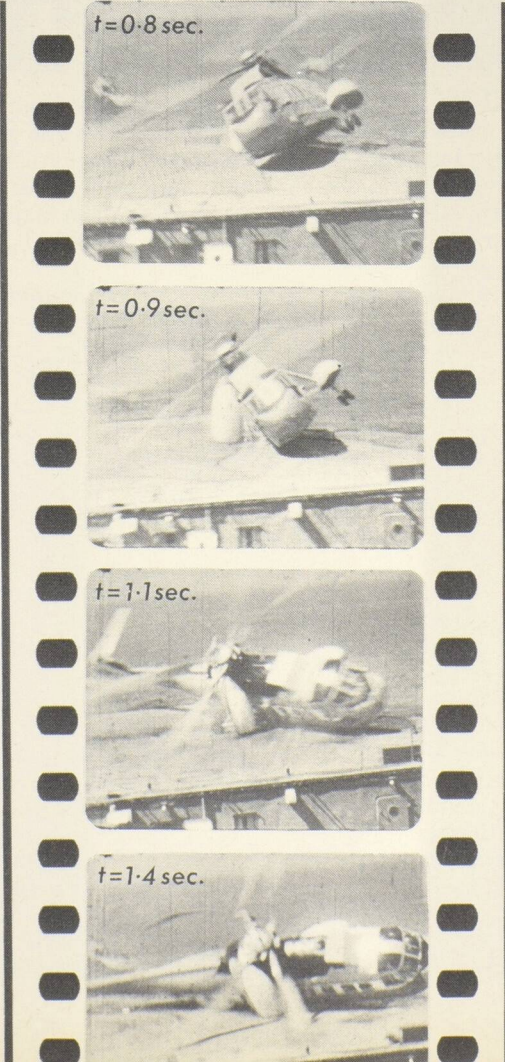


Photogrammetrically produced three-dimensional presentation of the path of an aircraft which failed to recover from a spiral. Respective orientation of the aircraft is depicted as well. • Représentation tridimensionnelle et photogramétrique de la trajectoire d'un avion qui n'a pas pu se sortir d'une vrille. On peut observer les positions successives de l'avion durant sa chute.

S'ajoutant aux nombreuses théories fondamentales et aux perfectionnements techniques qui ont marqué l'avènement de nouvelles méthodes dans le domaine de la cartographie et des relevés topographiques, plusieurs concepts originaux ont vu le jour dans la section de photogrammétrie du CNRC. Parmi ceux-ci, nous mentionnerons la cartographie stéréo-orthophotographique qui pourrait provoquer une révolution dans la façon de résoudre certains problèmes cartographiques courants. Ses applications sont encore plus importantes lorsqu'il s'agit de domaines sortant de la cartographie courante, comme l'agriculture, la sylviculture, la géologie, l'environnement, la géographie, l'urbanisation et l'administration, nécessitant une grande quantité de cartes spéciales et d'informations particulières issues de photographies aériennes et pour laquelle les méthodes photogramétriques traditionnelles sont souvent trop complexes. Au contraire, la méthode stéréo-orthophotographique est simple et précise et c'est pour cette raison que des spécialistes de domaines étrangers peuvent l'utiliser.

Il y a quelques années, on a entrepris la fabrication du

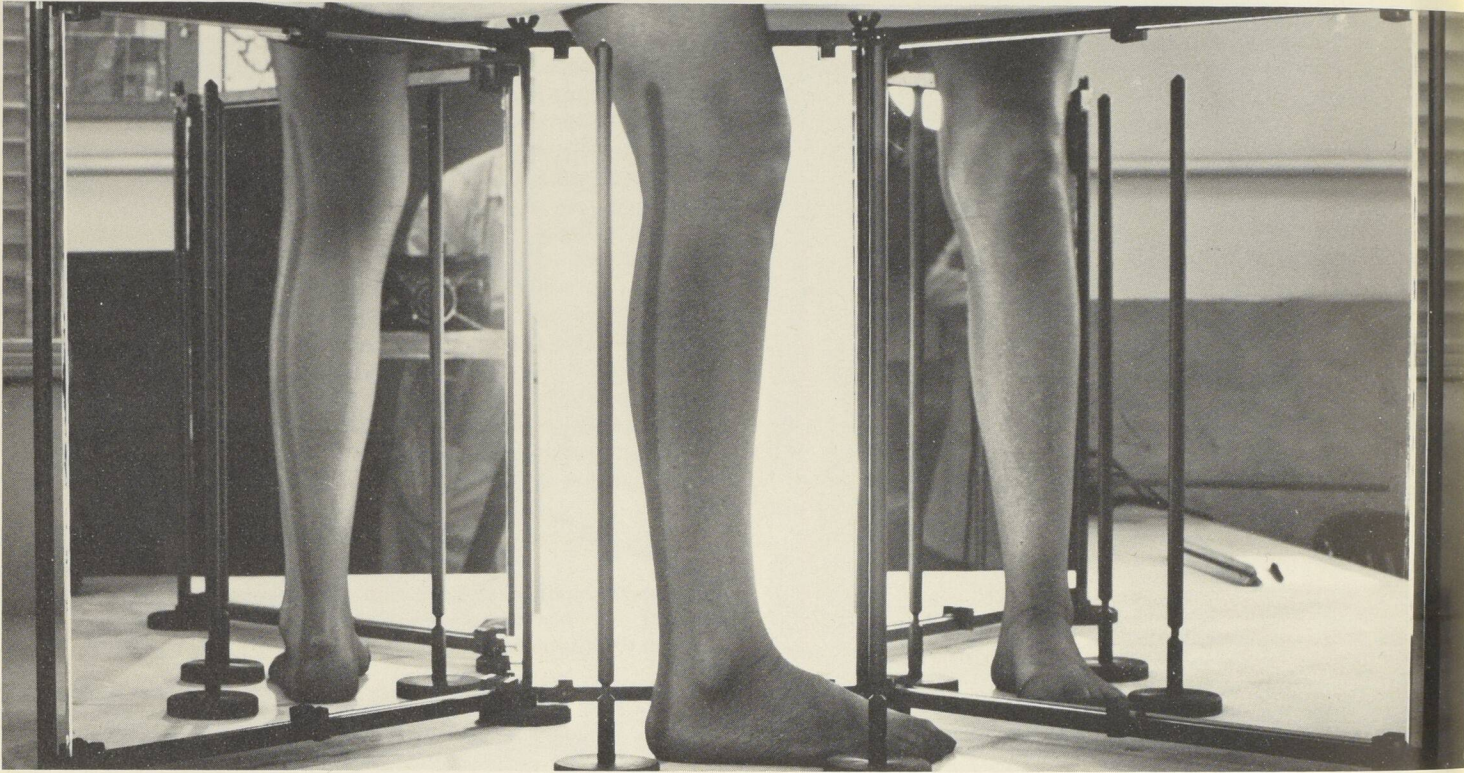
Movie photographs taken by chance of a helicopter involved in a fatal accident. • Photographies extraites d'un film, pris par hasard, d'un accident d'hélicoptère.



photogrammetry

Simultaneous and complete view of a leg is obtained in orthopaedics with the use of two mirrors and a stereocamera. Three-dimensional, digital model reconstructed by analytical photogrammetry provides data for an automatic numerically controlled production of prostheses.

- Grâce à deux miroirs et à un appareil stéréoscopique on a pu réaliser, pour un orthopédiste, cette vue simultanée et complète d'une jambe. Un modèle numérique tridimensionnel construit à l'aide de la photogrammétrie analytique fournit les données nécessaires à la production automatique de prothèses par une machine à commandes numériques.



only of a number of positions, but also the angular and linear velocities. Knowledge of velocities and positions can contribute to determining the cause of an accident and aid in ruling out false hypotheses. This was the case in accident investigations carried out on several occasions by the Canadian Ministry of Transport, when film or photographs taken by chance provided vital data.

These are just a few examples how photogrammetry, conceived initially as a mapping and surveying technique, is becoming a universally accepted recording and measuring method of unique character and versatility. It is based on physics and mathematics and to its storehouse of tools belong photography (including X-ray), remote sensing media, optics, electronics and very special, fine mechanics.

In addition to the many basic theories and development of techniques which have pioneered new approaches in the field of mapping and surveying, several novel instrument concepts have originated in NRC's Photogrammetric Research Section, among them, a new concept in mapping based on so-called stereo-orthophotos which could revolutionize the approach to many conventional mapping problems. Even more significant is its application in the mapping and photo interpretation fields outside conventional cartography — agriculture, forestry, geology, environmental studies, geography, general planning, administration — which normally require large volumes of special maps and information to be ascertained from aerial photographs and for which conventional photogrammetric methods are often too complex; in contrast, the stereo-orthophoto approach is simple but precise. Because of its simplicity, experts in fields unfamiliar with the intricate photogrammetric technique can use it.

A few years ago, manufacturing of the NRC-Monocomparator was begun and it is being marketed throughout the world.

Two basic instruments for precise linear and angular measurements, Lincap and Circap, are other examples.

Recently, an agreement between Instronics Ltd. of Stittsville, Ontario and NRC's Division of Physics was announced whereby Instronics will begin to manufacture still another photogrammetric instrument called an Analytical Stereorestitutor, following the original concept invented and further developed by the Photogrammetric Research Section. It represents an advanced and efficient photogrammetric system of high performance surpassing existing analogue plotters. It is the only plotter that can handle all kinds of images produced by sophisticated systems used in airplanes or satellites and unconventional photogrammetric images used in fields other than mapping, in addition to the usual aerial photographs.

"Photogrammetry is rapidly becoming an indispensable, general measuring technique outside surveying and mapping and is on the threshold of further development offering exciting possibilities in scientific research with broad cultural, social and economic implications," says Dr. Blachut.

Manufacturing of photogrammetric instruments — some of them costing hundreds of thousands of dollars a unit — requires the mastering of complex and specialized technologies in fine mechanics, optics and electronics.

"We would like to hope," says Dr. Blachut, "that our work will eventually induce the domestic industry to become acquainted with these sophisticated technologies and help to establish manufacturing activities in new areas of opportunity. The initial difficulties are great and we are not lacking our moments of discouragement. However, some promising signs already mark the beginning of this new phase in our effort, and as the ancients used to say: The beginning is half the battle." □ Joan Powers Rickerd

... la photogrammétrie

monocomparateur mis au point par le CNRC et il est maintenant vendu dans le monde entier. Deux instruments de base pour les mesures linéaires et angulaires de précision, le lincap et le circap, sont deux autres exemples que nous pouvons citer. Un accord a été récemment conclu entre la compagnie Instronics Limited, de Stittsville, dans l'Ontario, et la Division de physique du CNRC, aux termes duquel la compagnie Instronics commencera la fabrication d'un autre instrument de photogrammétrie appelé stéréorestituteur analytique, qui a été inventé et perfectionné par la section de photogrammétrie. Cet instrument représente un système photogramétrique perfectionné et efficace à rendement élevé surpassant les restituteurs analogues actuellement utilisés. C'est le seul restituteur pouvant traiter toutes sortes d'images produites par le matériel perfectionné utilisé à bord des avions ou des satellites et les images photogramétriques non conventionnelles utilisées en dehors de la cartographie, en plus des photographies aériennes habituelles.

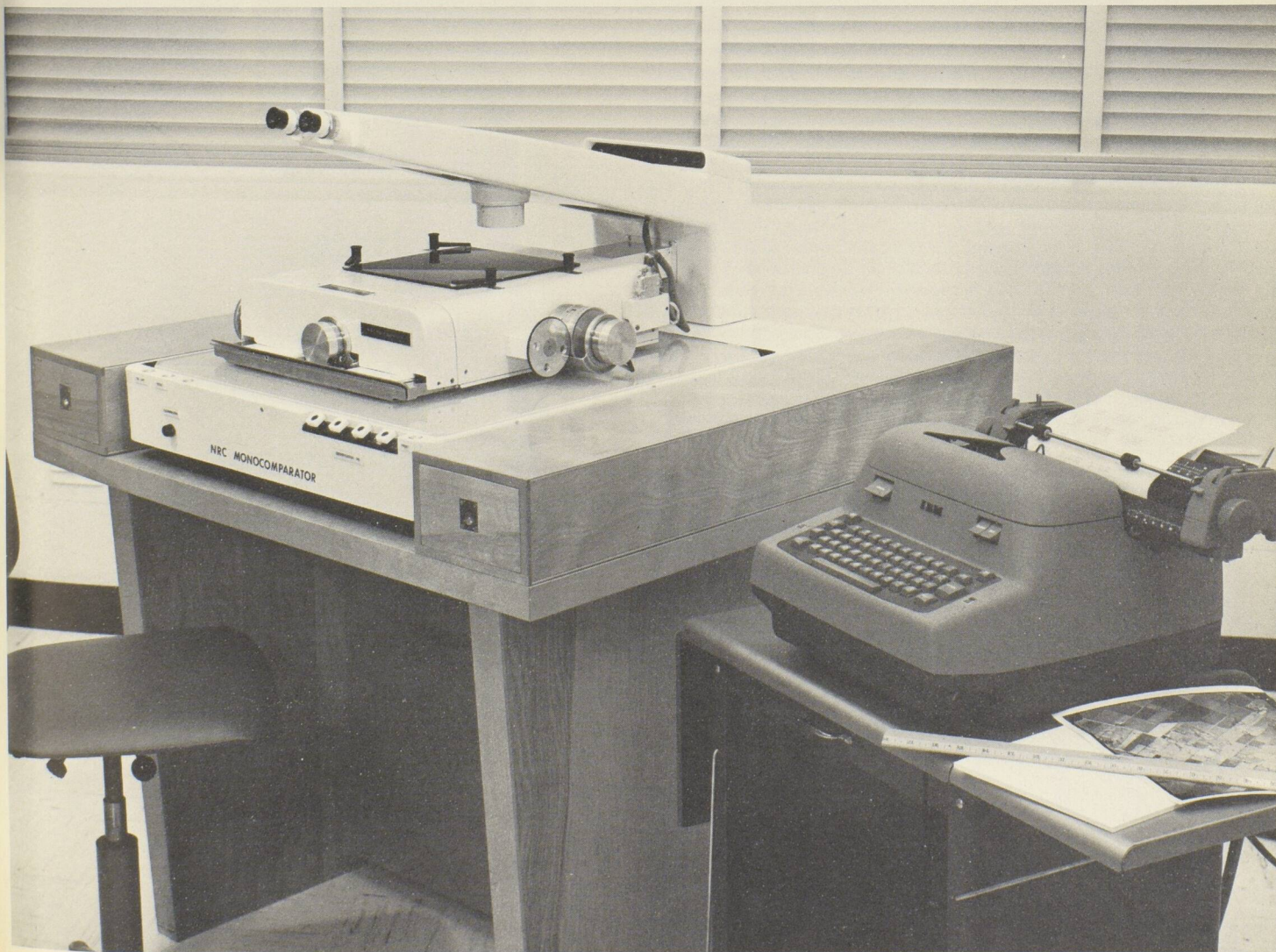
La photogrammétrie gagne de plus en plus de terrain en dehors des méthodes utilisées en cartographie et en topo-

graphie et elle est à la veille de devenir une technique de mesure offrant des possibilités très intéressantes dans la recherche scientifique avec de vastes implications sociales, culturelles et économiques", nous a dit le Dr Blachut.

La fabrication d'instruments de photogrammétrie dont certains coûtent plusieurs centaines de milliers de dollars exige la maîtrise de techniques spéciales et complexes en mécanique de haute précision, en optique et en électronique.

"Nous espérons que nos travaux inciteront notre industrie à s'intéresser à ces techniques de pointe et contribueront à la création de nouvelles activités industrielles. Les débuts sont difficiles et nous connaissons des moments de découragement mais, déjà, des signes prometteurs apparaissent et, comme disaient les anciens, "il n'y a que le premier pas qui coûte", de conclure le Dr Blachut. □

NRC Monocomparator, a precise measuring instrument used in aerial triangulation, invented in the Division of Physics and manufactured commercially in Canada. • Instrument de mesure de précision inventé à la Division de physique du CNRC et fabriqué au Canada, le monocomparateur est utilisé en triangulation aérienne.



**Buildings, bridges,
stacks and towers—**

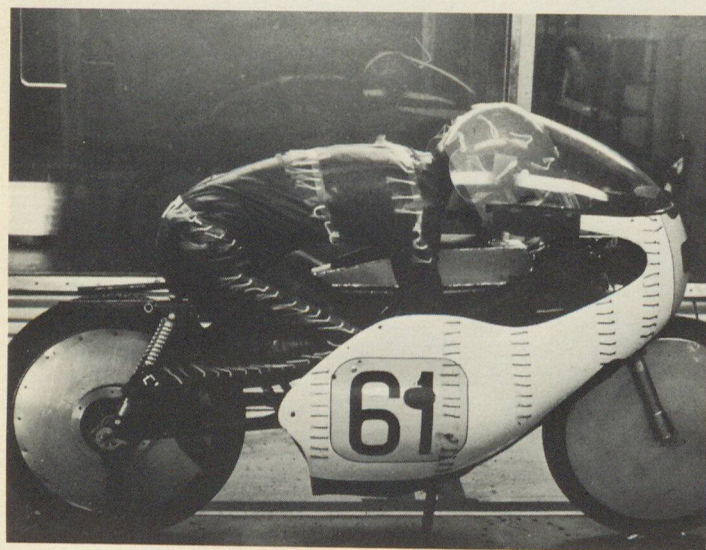
Earthly uses for today's wind tunnels

A research and development tool of the National Research Council of Canada which has left an indelible imprint on the Canadian aircraft industry is now being turned to more earthly applications. The extensive wind tunnel facilities of the National Aeronautical Establishment of NRC have for several decades been used to study the aerodynamic characteristics of aeroplanes and they continue to play an important role in aeronautical research. But the facilities are being used more and more in other engineering fields.

The effects of wind on civil engineering structures — buildings, bridges, chimney stacks and towers — is one area that has received considerable attention. Scale models of these structures can be tested in the wind tunnels. Model sizes may vary from one-and-half feet to six feet for a 600-foot high building, depending on the size of the wind tunnel used. Techniques have been developed to reproduce the gustiness of the natural wind and to duplicate the increase of wind speed with height.

With the use of high strength steel, increased use of welding and other advances in engineering, modern buildings have become significantly lighter, more flexible, and therefore more likely to sway as a result of wind action. Modern construction techniques have also reduced the capacity of structures to damp out the motion. By using flexible models, movements of

The 6-foot by 9-foot wind tunnel and the flow visualization water tunnel have been used to study some aerodynamic aspects of snowmobiles and motorcycles that are being manufactured by Bombardier Ltd. Large reductions of air resistance have been achieved for racing motorcycles. For snowmobiles the air intake for engine cooling and the windscreen design have been improved. • On s'est servi de la soufflerie de 6 x 9 pieds et du tunnel hydrodynamique pour étudier certains aspects aérodynamiques des motoneiges et des motocyclettes construites par la compagnie Bombardier Limitée. Ces essais ont permis de réduire la résistance aérodynamique des motocyclettes de course. En ce qui concerne les motoneiges, on a amélioré les formes des pare-brise et des prises d'air de refroidissement des moteurs.



**De l'aéronautique
au génie civil**

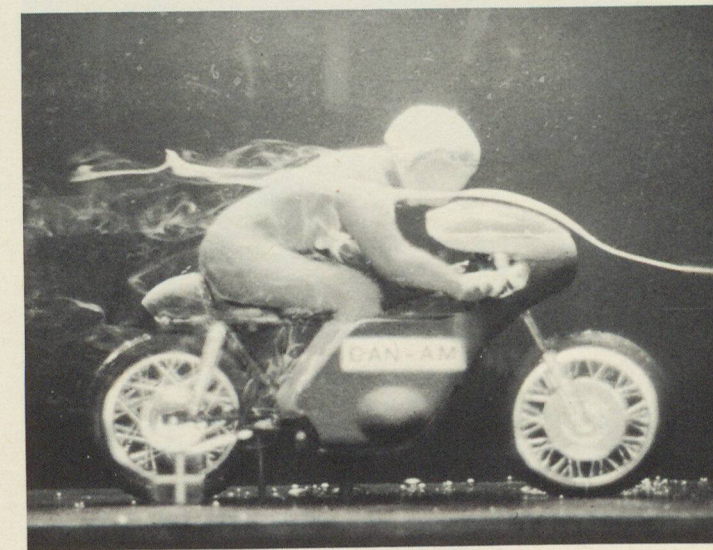
Nouveaux rôles pour les souffleries

Des installations de recherche et de développement du Conseil national de recherches du Canada, qui ont laissé une trace indélébile sur l'industrie aéronautique canadienne, sont maintenant utilisées pour des travaux plus "terre à terre". Il s'agit des grandes installations d'essais de l'Établissement aéronautique national du CNRC et surtout des souffleries qui, pendant des décennies, ont servi à étudier les caractéristiques des écoulements autour d'aéronefs et qui sont d'ailleurs toujours utilisées pour des recherches aéronautiques.

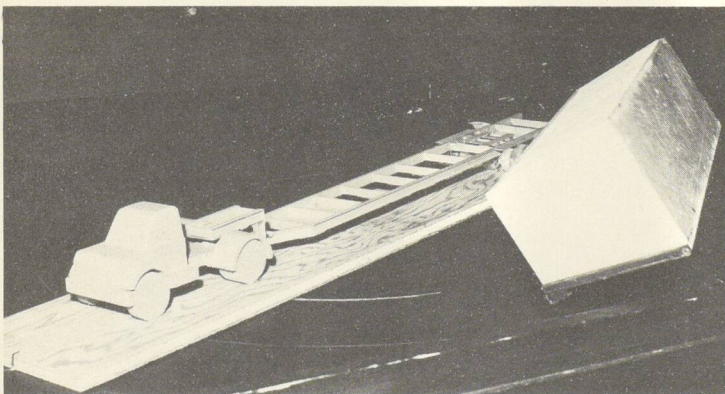
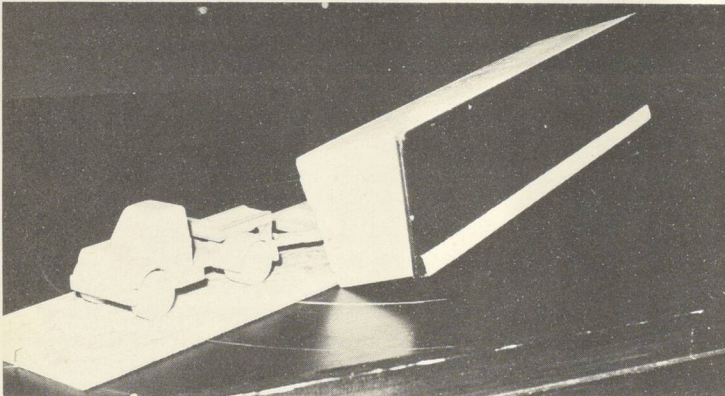
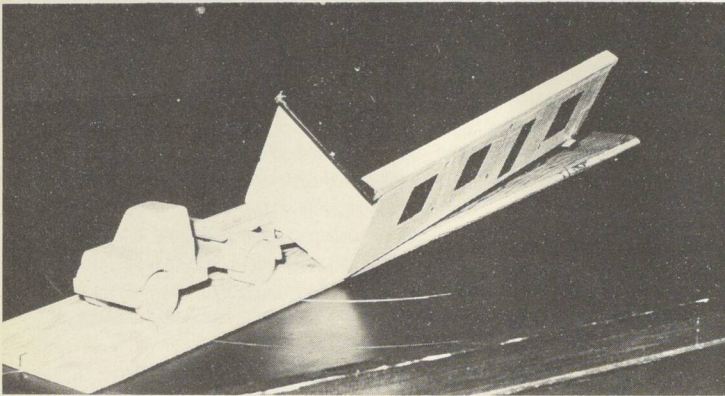
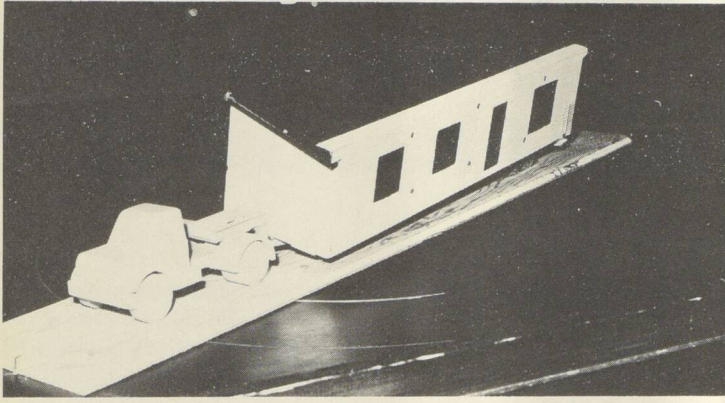
Ces souffleries, toutefois, servent de plus en plus dans d'autres domaines comme celui de l'étude, à l'aide de maquettes, de l'action des vents sur des structures telles que les ponts, les grands édifices, les cheminées d'usines et les tours. La dimension de ces maquettes varie avec la structure étudiée et la soufflerie utilisée, allant de 1½ pied pour atteindre 6 pieds dans le cas d'édifices de 600 pieds de hauteur. On a mis au point des techniques qui permettent de simuler les rafales et le profil des vitesses du vent en fonction de l'altitude.

Avec l'apparition des aciers à haute résistance et de la soudure dans la construction, les bâtiments modernes sont devenus beaucoup plus légers, plus souples et, de ce fait, ils peuvent osciller sous l'action du vent. Les techniques modernes de construction ont également conduit à une diminution de l'amortissement structural des ossatures. Grâce à des maquettes aéroélastiques, il est possible de prévoir les mouvements des bâtiments alors que les charges globales et les pressions locales sont déterminées à l'aide de maquettes rigides. Les architectes se servent également des souffleries pour étudier la configuration des vents au sol car les piétons pourraient être gênés si les vents augmentaient de vitesse du fait de la présence de ces grands bâtiments.

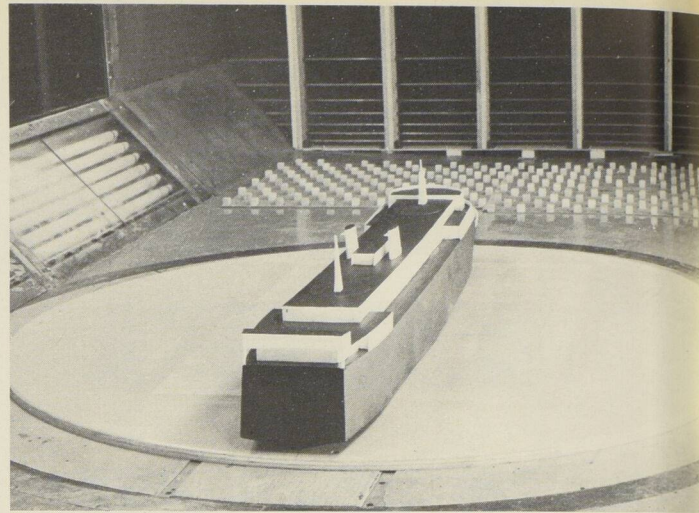
Le vent peut parfois causer des dommages sérieux et même des catastrophes lorsqu'il s'agit de tabliers de ponts suspendus. Comme exemple le plus remarquable on pourrait citer celui du pont suspendu de Tacoma, aux États-Unis, détruit par le vent il y a un peu plus de 30 ans. Depuis cette époque on a mis au



wind tunnels



Concern about the possibility of half-house transportation units overturning led to wind tunnel studies to determine safe operating conditions. Photograph shows an overturning sequence when the half-house was not rigidly tied to the trailer. • La possibilité qu'une demi-maison transportée sur une grande remorque puisse verser sous l'action du vent a été étudiée en soufflerie. Ces photos mettent en évidence ce qui peut arriver lorsque la maison n'est pas attachée rigidement sur la remorque.



The wind forces for a proposed Port aux Basques / North Sydney ferry were determined using a model in NAE's 6-foot by 9-foot wind tunnel.

• La soufflerie de 6 x 9 pieds de l'ÉAN a été utilisée pour mesurer la force du vent s'exerçant sur la maquette d'un bac, ou traversier, devant assurer la liaison entre Port aux Basques et North Sydney.

full-scale buildings can be predicted. Rigid models can be used to determine wind loads and surface pressures. Architects also are using wind tunnels to study street-level wind conditions around tall buildings in order to avoid unpleasant pedestrian environments.

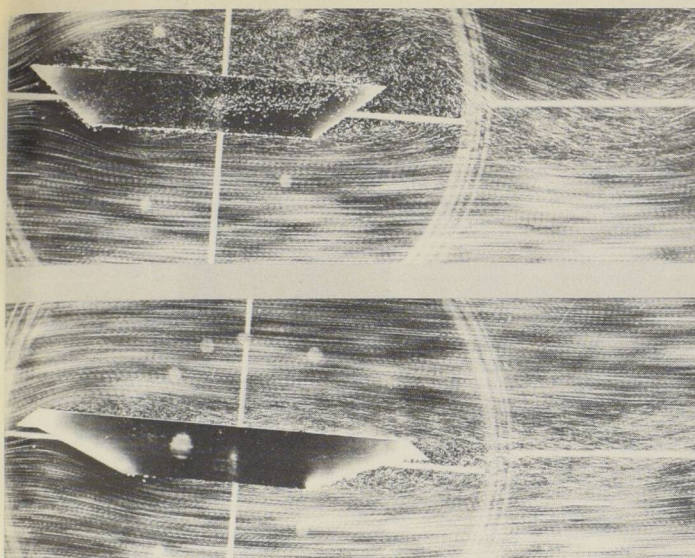
Wind action can cause damaging and sometimes catastrophic vibrations to the road decks of suspension bridges. Probably the most dramatic example was the failure more than thirty years ago of the Tacoma Narrows Bridge. Since then, wind tunnel techniques have been developed to investigate the aerodynamic stability of such decks and to determine their response to wind turbulence. The oscillations of the model road deck that are observed in the tunnel duplicate motion produced by wind on the actual bridge structure. The extent of motion may be limited, but it may also grow to destructive proportions, depending on the particular aerodynamic phenomenon involved. From wind tunnel studies, the wind speeds at which motion will occur and the rate at which they develop can be determined. Such studies have resulted in the evolution of aerodynamically-stable box section road decks, for example, the Longs Creek Bridge on the Trans-Canada Highway near Fredericton.

Cables and other components of bridges are also susceptible to serious wind-induced motion. Wind tunnels again can be used to determine the critical wind speeds at which motion occurs and often corrective measures are based upon data obtained from these studies.

Hydro-electric transmission lines throughout Canada must be protected against damaging vibrations that may be caused by a variety of aerodynamic factors. Acceptable control of conductor vibration is an important consideration in the design of transmission lines, as in the James Bay power development project in Quebec. NAE's Low Speed Aerodynamics Laboratory is currently studying oscillations within the bundles of parallel conductors which have proved to be effective in modern, high-voltage transmission lines.

The wind tunnels are often used to determine the effectiveness of ships' smoke stacks. An effective ship stack must lift all smoke clear of the ship under all wind conditions because of the dangers of polluting ventilation systems or causing corrosion damage to equipment.

In addition, NRC's wind tunnel facilities have been used for determining wind effects on transit system vehicles, snowmobiles, motorcycles, and even members of Canada's National Ski Team, who want to cut that all-important, split-second from their downhill run time. □



A stable box section road deck was developed in the wind tunnel for a proposed crossing of the Burrard Inlet. The flow over the deck is shown in the lower photograph from the flow visualization water tunnel. The upper photograph shows flow separation over the upper surface of a less stable trapezoidal section. • Grâce à des souffleries on a pu mettre au point un profil de tablier stable pour le pont de Burrard Inlet. Ces deux photographies prises au tunnel hydrodynamique pour visualiser l'écoulement se rapportent à deux formes de profil, l'une trapézoïdale (en haut) donnant un décollement à l'extrados et l'autre (en bas) de forme trapézoïdale modifiée ne donnant aucun décollement.

point des techniques d'essais en souffleries conduisant à des tabliers de ponts stables après en avoir étudié la réponse à l'action du vent et des rafales. Les oscillations du tablier de la maquette reproduisent celles du pont réel. Selon le phénomène aérodynamique particulier, l'amplitude du mouvement va de valeurs limitées à des valeurs telles que la structure ne peut plus résister et se brise. Les études en souffleries permettent de prévoir ces oscillations et la manière dont elles augmentent d'amplitude. C'est à la suite de ces essais que l'on a pu mettre au point un type de tablier caissonné stable aérodynamiquement tel que celui de Longs Creek sur la route transcanadienne, près de Fredericton.

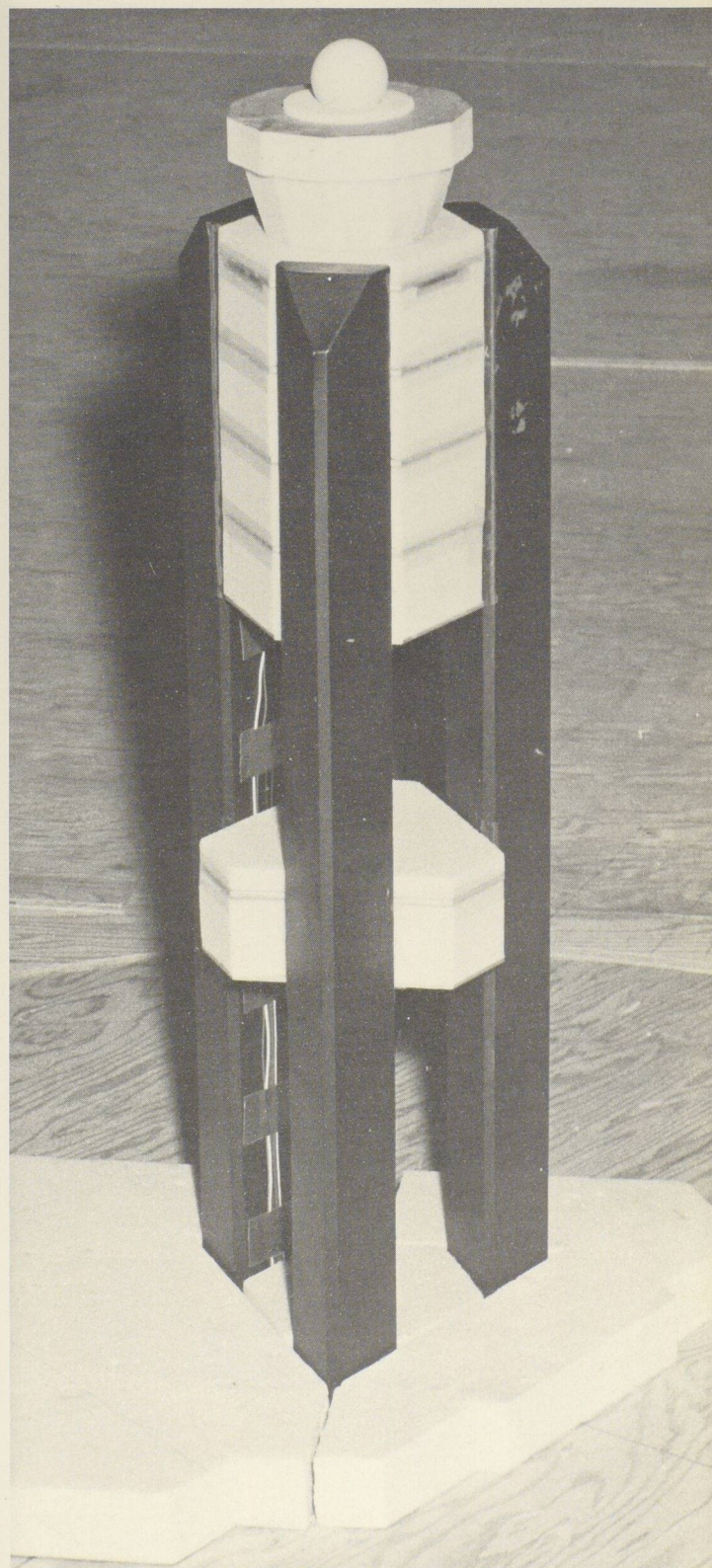
Les composantes de structures comme les câbles de suspension des tabliers de ponts peuvent aussi subir de violentes oscillations sous l'action du vent. Grâce à des essais en souffleries, on peut déterminer les vitesses critiques de déclenchement de ces perturbations dangereuses et les solutions adoptées sont souvent basées sur les données obtenues.

Les lignes à haute tension qui s'étendent d'un bout à l'autre du Canada subissent également des vibrations dangereuses d'origine aérodynamique et il est essentiel lorsque l'on doit en construire de nouvelles, comme dans le cas du projet de la Baie James, de s'assurer que le vent ne les rompra pas.

Le Laboratoire de l'aérodynamique des faibles vitesses de l'ÉAN étudie actuellement les oscillations subies par des faisceaux de câbles parallèles très intéressants pour les lignes modernes à très haute tension.

Les souffleries du CNRC servent souvent à étudier l'écoulement des fumées émanant de cheminées de navires dont la raison d'être est d'assurer que les fumées ne seront pas recirculées dans les systèmes de ventilation du bateau ou ne causeront pas de dommages aux équipements par corrosion.

Ajoutons pour terminer que ces souffleries ont aussi permis d'étudier l'action du vent sur les véhicules de transport urbain et interurbain de masse, les motoneiges, les motocyclettes de course et même sur les skieurs membres de l'équipe nationale canadienne qui cherchaient à réduire au minimum leur résistance aérodynamique pour gagner quelques fractions de seconde. □

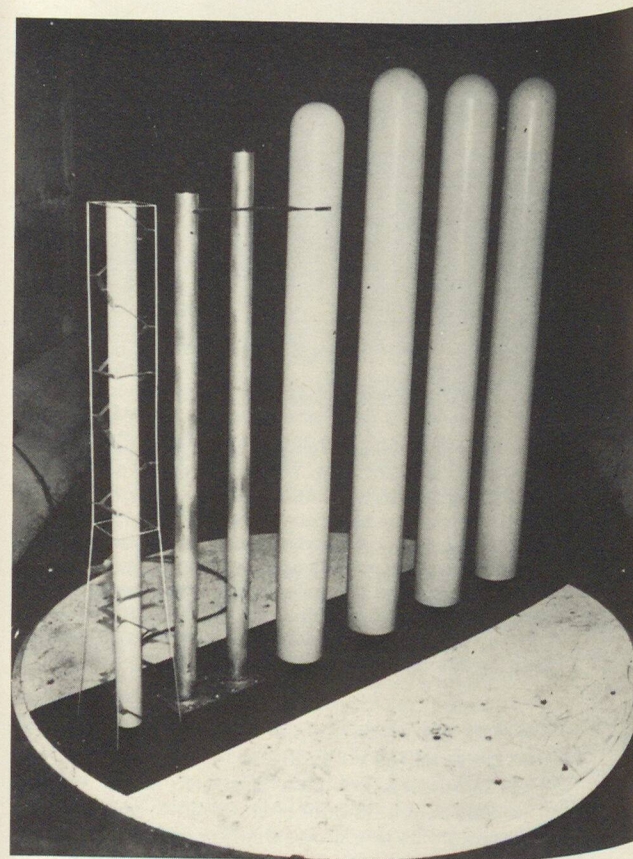


The control tower of the new international airport, north-west of Montreal at Ste. Scholastique, Quebec, is now under construction. A 1:100 aeroelastic scale model of the novel structure was investigated in simulated natural wind conditions in NAE's 30-foot wind tunnel. • On construit maintenant la tour de contrôle du nouvel aéroport international de Sainte-Scholastique, au nord-ouest de Montréal. Une maquette aéroélastique au centième a été étudiée dans la soufflerie de 30 pieds de l'ÉAN avec simulation des vents.

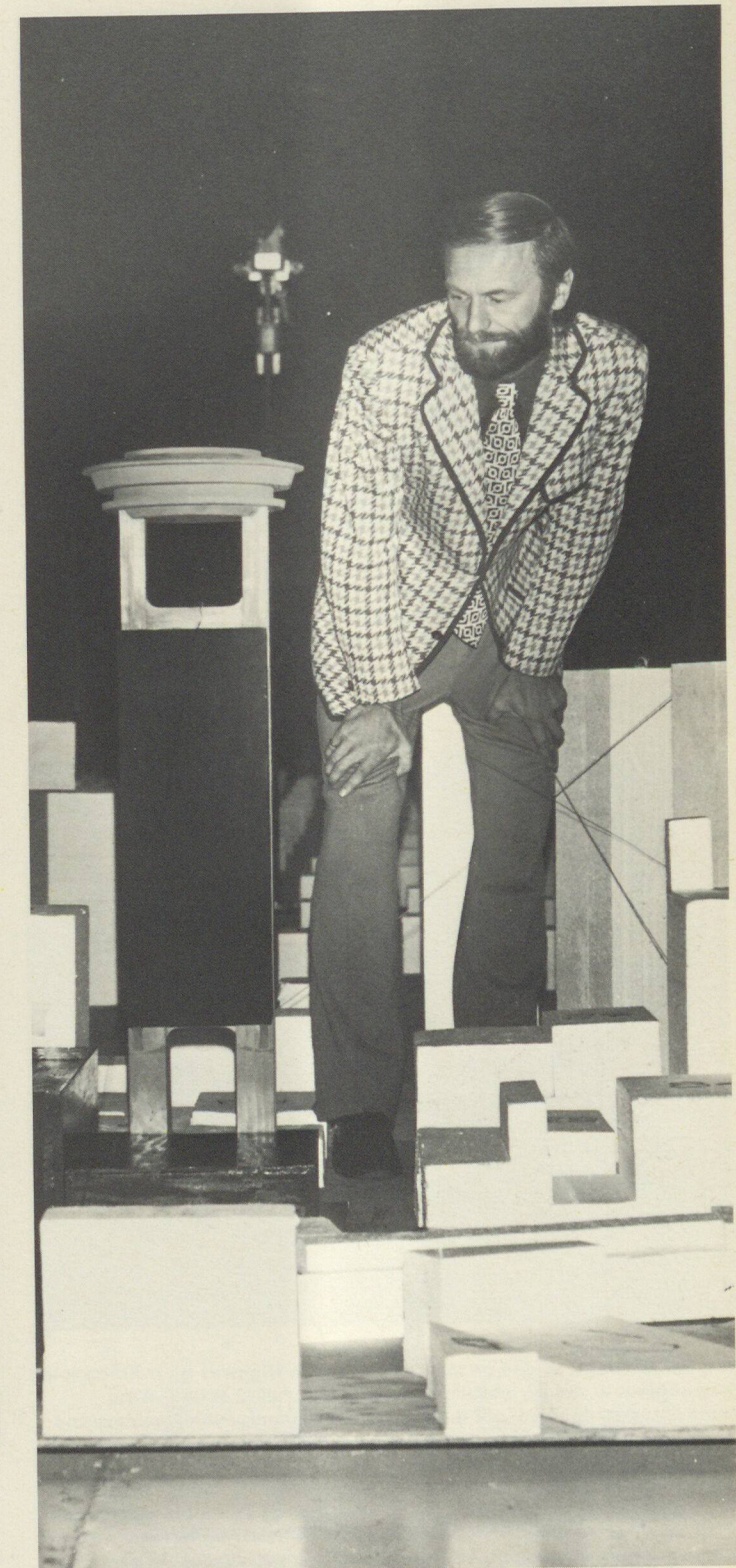
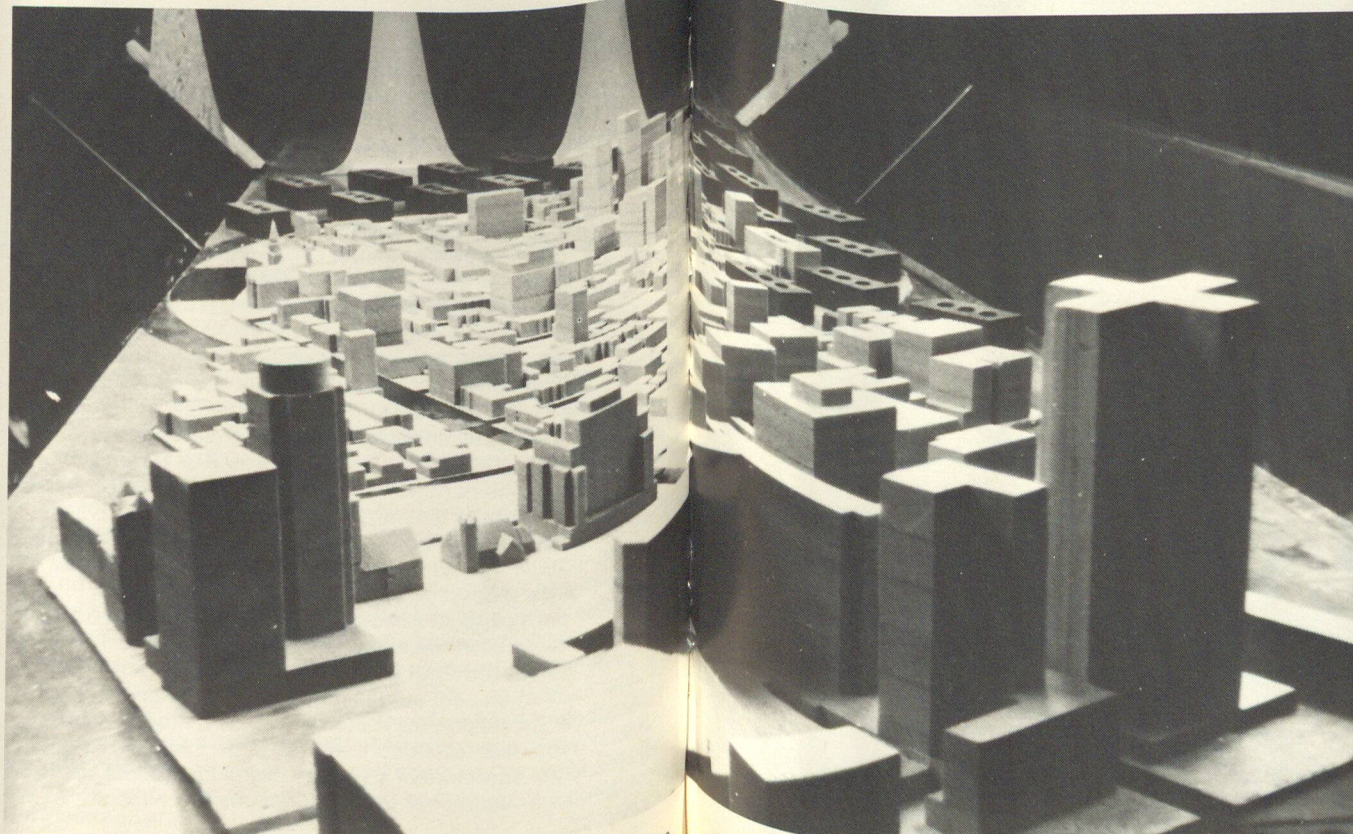
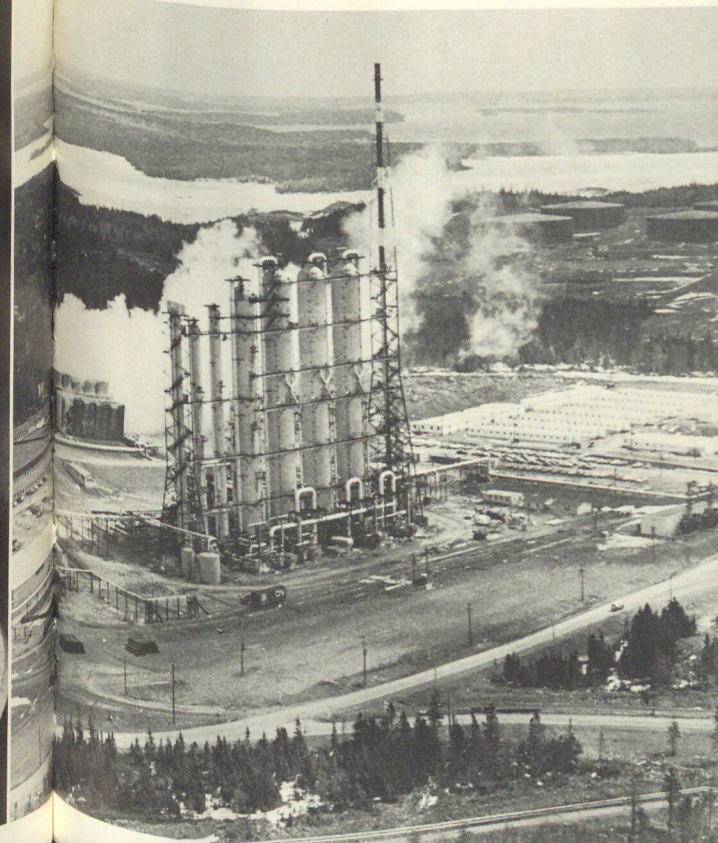


The Division of Building Research has done an extensive series of full-scale wind pressure measurements on the Canadian Imperial Bank of Commerce Building in downtown Montreal. As part of a collaborative research program, NAE's Low Speed Aerodynamics Laboratory has made comparative model scale pressure measurements in their 6-foot by 9-foot and 30-foot wind tunnels. • La Division des recherches en bâtiment a fait beaucoup de mesures de la pression exercée par le vent sur l'édifice de la Banque de commerce canadienne impériale à Montréal. En collaboration avec la Division, l'Établissement aéronautique national a fait des essais comparatifs dans les deux souffleries de 6 x 9 pieds et de 30 pieds du Laboratoire de l'aérodynamique des faibles vitesses.

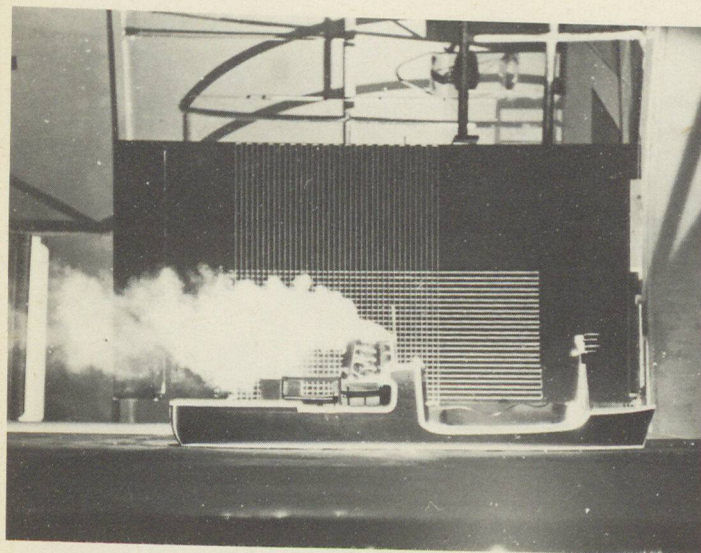
Two of the slender towers of the Canadian General Electric Company heavy water plant at Port Hawkesbury on Cape Breton Island were found to vibrate severely under some wind conditions. Means of suppressing the motion were developed in model tests using the Division of Mechanical Engineering's 10-foot by 20-foot wind tunnel.



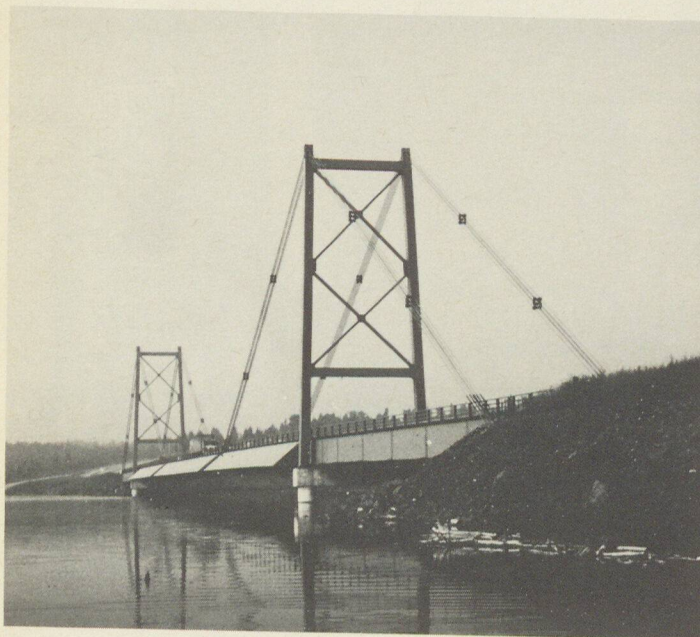
• Deux des tours élancées de l'usine d'eau lourde de la Canadian General Electric Company, de Port Hawkesbury, dans l'île du Cap Breton, vibraient sévèrement sous l'action du vent. Grâce à des essais exécutés sur une maquette dans la soufflerie de 10 x 20 pieds de la Division de génie mécanique on a pu trouver le moyen de supprimer ces vibrations.



A 1:150 scale aeroelastic model of the Vancouver Square Project in NAE's 30-foot wind tunnel. Wind loads, building motion and street level wind environment were investigated. • Maquette aérodynamique au 150^e du projet du Square de Vancouver dans la soufflerie de 30 pieds de l'ÉAN. On étudie les charges dues au vent, les mouvements vibratoires des bâtiments et les configurations du vent au niveau du sol.



The stack performance of the Canadian Coast Guard Ship Norman McLeod Rogers was studied in NAE's 15-foot wind tunnel. • L'influence de la cheminée du garde-côte canadien Norman McLeod Rogers sur l'écoulement des fumées a été étudiée dans la soufflerie de 15 pieds de l'ÉAN.

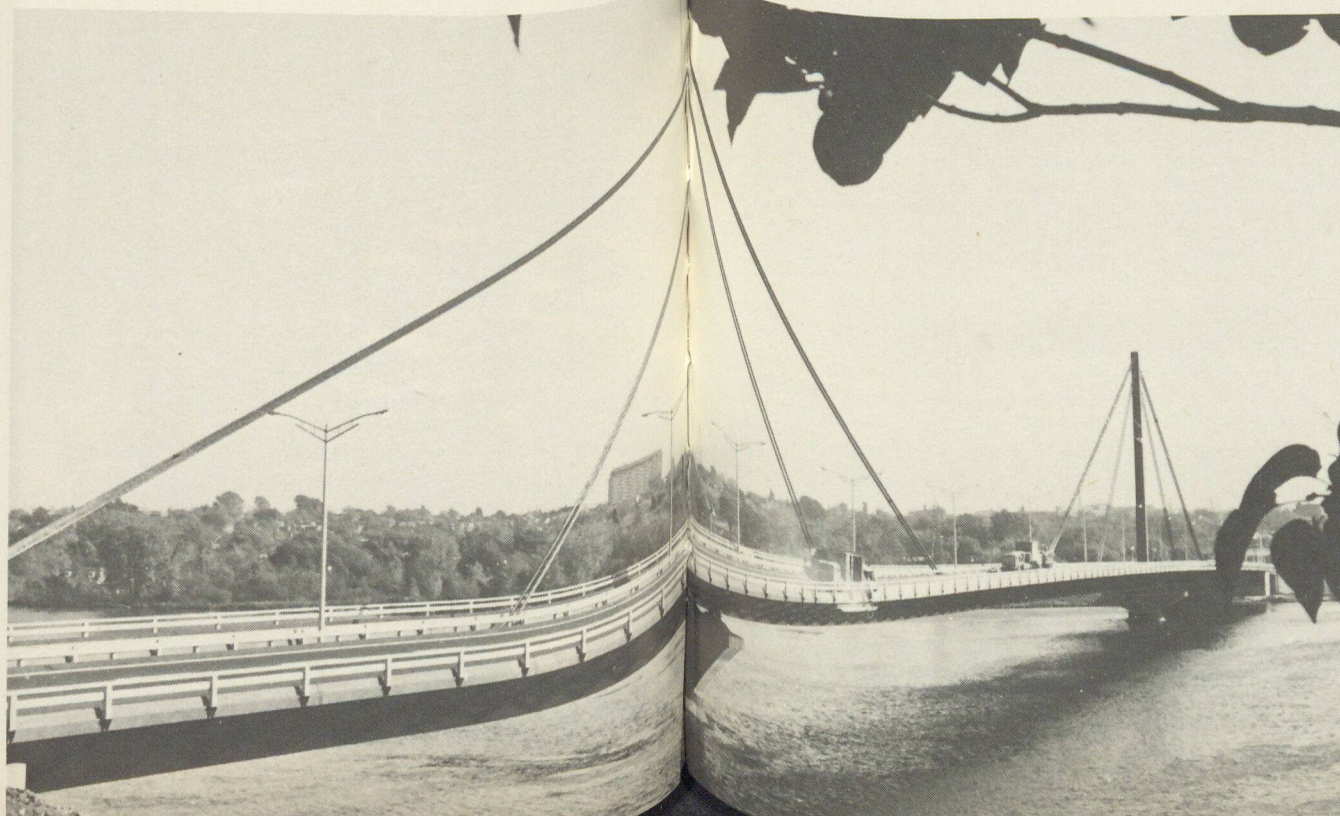
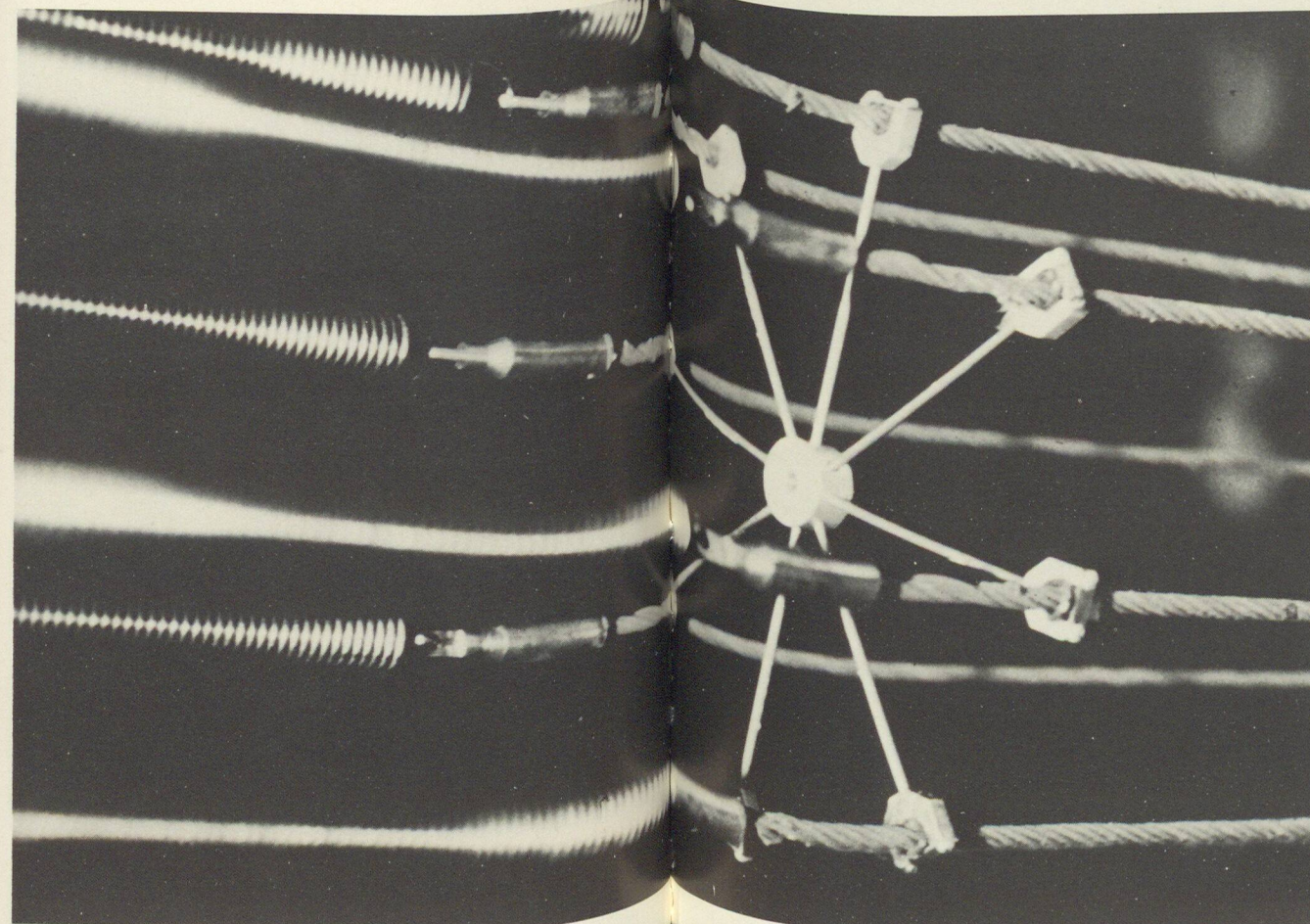


The Longs Creek Bridge on the Trans-Canada Highway near Fredericton was subject to severe vibrations as a result of wind action. Wind tunnel studies showed that the addition of triangular side sections and plating across the bottom of the bridge would eliminate any significant motion. • Le pont de Longs Creek sur la route transcanadienne, près de Fredericton, subissait des vibrations sévères sous l'action du vent. Des essais en soufflerie ont montré que si l'on ajoute des "bords d'attaque" de section triangulaire au tablier et que l'on ferme complètement le dessous à l'aide de plaques métalliques, le pont ne vibrerait pratiquement plus.

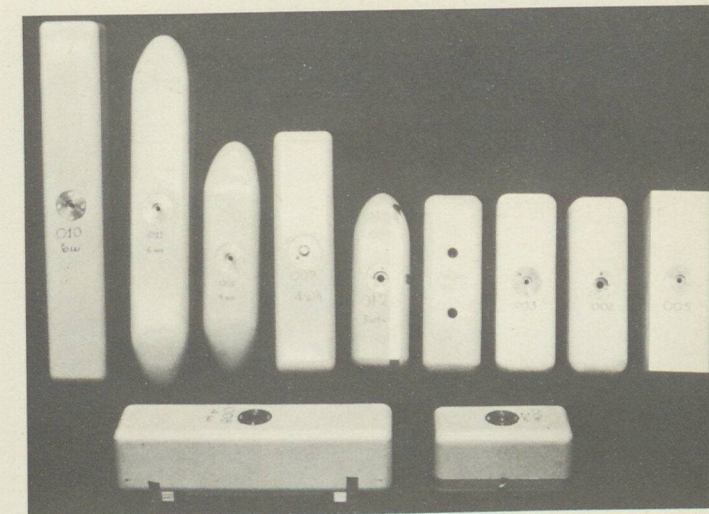
Right / à droite

The Papineau-Leblanc Bridge crosses the Rivière des Prairies from Montreal Island. A seven-foot long two-dimensional model was investigated in a 7-foot by 10-foot wind tunnel test section. • Le pont Papineau-Leblanc relie les deux bords de la Rivière des Prairies bordant l'île de Montréal. Une maquette bidimensionnelle de sept pieds de long a été essayée dans la soufflerie de 7 x 10 pieds.

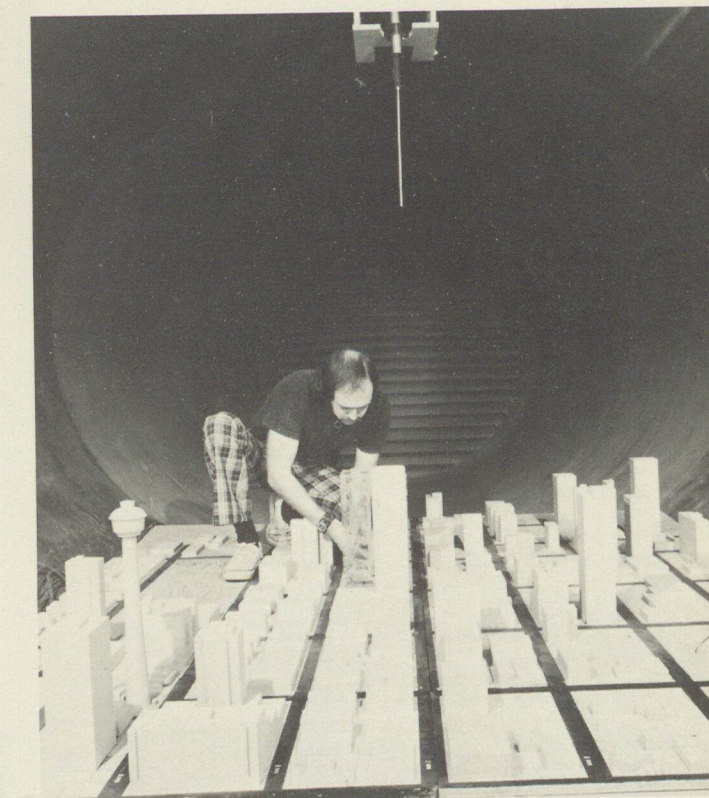
Reduced scale models of the 1.38-inch diameter cables for the James Bay Power Project used in NAE's 30-foot wind tunnel for studying wind vibration problems. Photo shows a model spacer used to maintain the geometry of the bundle of conductors. • Maquette à échelle réduite des câbles de 1.38 pouce de diamètre devant servir



pour le projet de la Baie James et utilisée dans la soufflerie de 30 pieds de l'ÉAN pour étudier les vibrations dues au vent. Cette photo illustre un faisceau de câbles séparés les uns des autres par un dispositif spécial.



The Low Speed Aerodynamics Laboratory is cooperating with the Ontario Ministry of Transportation and Communications in a program of wind tunnel measurements of the wind forces on transit system vehicles. • Le Laboratoire de l'aérodynamique des faibles vitesses coopère avec le Ministère ontarien des transports et des communications pour mesurer en soufflerie les forces dues au vent sur les véhicules des systèmes de transit.



A model of a downtown section of Calgary is shown in the 6-foot by 9-foot wind tunnel. The wind pressures on a building of the Oxford Square Development are being measured and the effect of the building on the local wind conditions at street level is being investigated. • Maquette d'une partie centrale de Calgary dans la soufflerie de 6 x 9 pieds. On mesure les pressions dues au vent sur un bâtiment devant être construit dans le Square Oxford; on étudie également l'influence du bâtiment sur les configurations locales du vent au niveau de la rue.

The Comet Kohoutek— H_2O^+ in "Christmas Comet"

During the approach of the Comet Kohoutek in the autumn of 1973 stories abounded describing the elaborate scientific preparations in progress to study this newcomer to the solar system. The National Aeronautics and Space Administration (NASA) organized "Operation Kohoutek" to use the special observational advantages of Skylab, the Mariner — Venus probe, the infrared air borne observatory, and many of the orbiting satellites, while major radio and optical observatories geared their viewing schedules to the comet's passage.

Kohoutek, unfortunately, did not cooperate. Instead of blooming into the "comet of the century" as expected, it was the cosmic disappointment of the seventies, barely discernable in the evening skies of January 1974 when it had attained maximum brightness. Astronomers pronounced it a dusty comet, congealing in toffee-apple fashion on the surface, thus preventing the vaporization necessary to the formation of a visually spectacular tail.

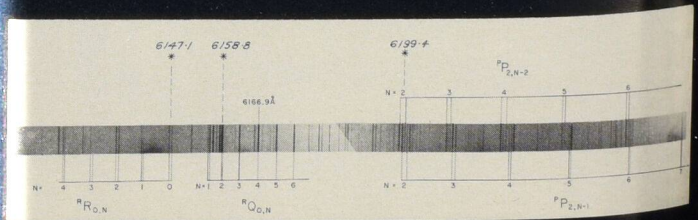
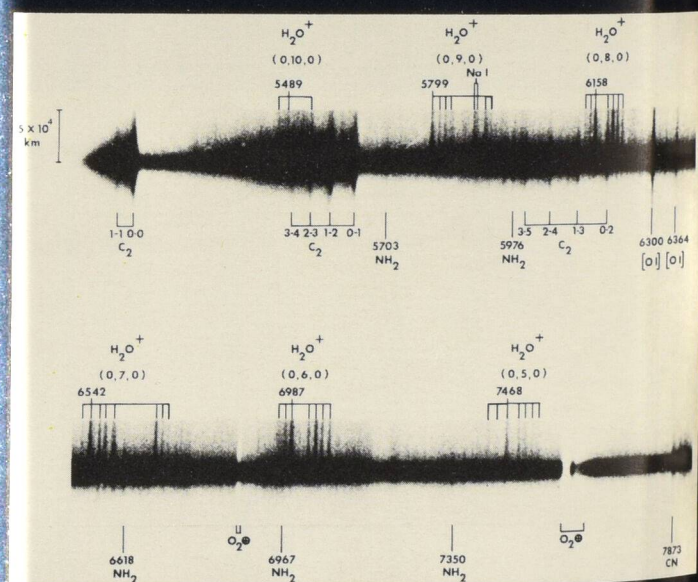
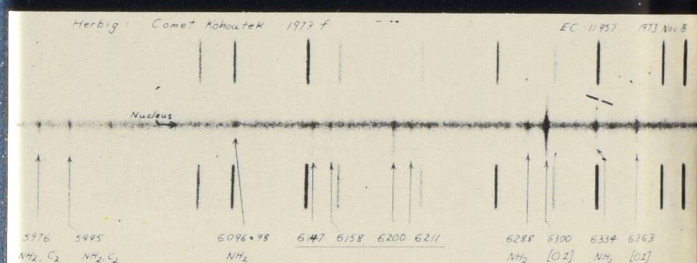
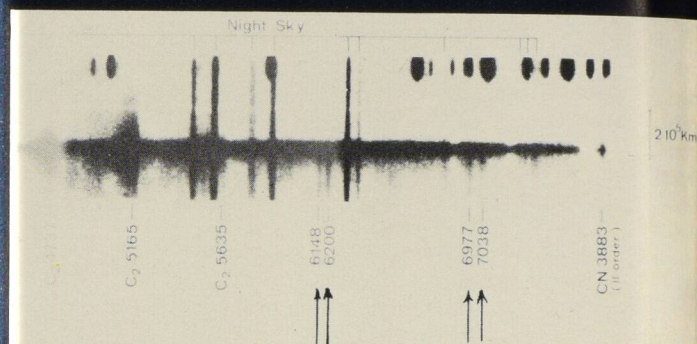
The publicity generated by Kohoutek's appearance was focussed almost entirely on the methods of observation, the huge telescopes, the space probes, and the satellites, with little information on the nature of the expected flood of data, or how scientists would translate it into meaningful information. It therefore came as a surprise when one of the more important discoveries resulting from the comet's visit originated in a darkened physics laboratory.

Through the collaborative efforts of Dr. Gerhard Herzberg, Nobel Laureate and NRC Distinguished Research Scientist, and Dr. Hin Lew of the Division of Physics' Spectroscopy Section, the molecular ion H_2O^+ was positively identified as a constituent of the comet's tail. Although theoretical considerations had long suggested the existence of the ion in comets, the absence of information on its spectrum had precluded any positive identification.

"The outer reaches of space are explored almost entirely by analysing the electromagnetic spectrum," says Dr. Herzberg, "and to identify a specific substance, one must know beforehand what its spectrum looks like. Our program of production and characterization of molecular ions has been set up with a view to explaining some of the unidentified features in the astrophysical literature. Dr. Lew had already produced H_2O^+ in the laboratory and completed much of the spectral analysis — a task that took some months — when the first photographs of the Kohoutek spectrum were received. Like so many of the events in science, this coinciding of the laboratory advance and the arrival of the comet was purely fortuitous; the work on H_2O^+ was simply one result in a larger program of molecular ion studies set up long before the appearance of Kohoutek."

The modus operandi of the program is to produce ions thought to be present in the heavens, determine their emission or absorption spectra (or both), and then review the catalogue of unidentified astronomical features to see if the new data fits the old. The primary problem in obtaining laboratory molecular ion spectra is the strong tendency for ions to recombine with other molecules or fall apart into constituent atoms. The task of identifying them in outer space lies as much then in their production and characterization in the laboratory as in picking up their spectra in a telescope.

"The H_2O^+ ion is produced in an apparatus in which neutral water is bombarded with electrons," explains Dr. Lew. "A bank of tungsten filaments is heated until they begin emitting electrons, which are accelerated toward an anode across an area



La comète de Kohoutek H_2O^+ détecté

A mesure que la comète de Kohoutek s'approchait du Soleil durant l'automne de 1973, les préparations scientifiques élaborées qui visaient à étudier ce nouvel arrivant dans le système solaire ont été abondamment décrites. La NASA a lancé l'"opération Kohoutek" consistant à utiliser le laboratoire spatial "Skylab", la sonde vénusienne "Mariner", l'observatoire aéroporté pour les études en infrarouge et de nombreux satellites tout en exploitant les observatoires radio et optiques au sol de manière à tirer le plus de renseignements possibles lors du passage de la comète.

Malheureusement, la comète n'a pas "coopéré" car, au lieu d'être la comète du siècle en raison de son éclat comme on s'y attendait, elle a été le désappointement cosmique des années 1970 et l'on a tout juste pu la discerner dans le ciel du soir en janvier 1974 quand elle a atteint sa brillance maximum. Les astronomes ont dit qu'il ne s'agissait que d'une comète poussiéreuse dont la surface ressemblait à celle d'une pomme au sucre, raison pour laquelle les matériaux de l'intérieur n'ont pu se vaporiser pour donner une queue spectaculaire.

La publicité, à l'occasion de cette comète, a été surtout centrée sur les moyens d'observation, c'est-à-dire sur les grands télescopes, les sondes spatiales et les satellites, et fort peu sur la nature des renseignements nombreux auxquels on s'attendait ou sur la manière dont les scientifiques interprétaient ces données pour en tirer des renseignements significatifs. C'est pour cette raison que la surprise a été totale lorsque l'une des découvertes les plus importantes a été faite dans une chambre noire d'un laboratoire de physique à l'occasion du passage de cette comète.

Grâce au travail du Dr Gerhard Herzberg, Prix Nobel, et

Opposite / Page de gauche

The sequence of spectrograms that led to the identification of the H_2O^+ ion in the tail of Comet Kohoutek. The top frame is part of the spectrum of the comet taken on 29 October, 1973, with arrows indicating four unknown lines that were suspected by Dr. Herzberg and Dr. Lew of being emission features of the H_2O^+ ion. They are precisely the lines that would be expected from the molecular ion in the cold environment of the distant comet. The next frame is a spectrogram taken on 8 November, 1973, when the comet was closer to the sun, and hence brighter. The four underlined features, two of which are found in the earlier spectrum, were tentatively identified as part of the H_2O^+ emission spectrum. The next frame is a photograph taken on 10 January, 1974, shortly after the comet passed through perihelion, its closest approach to the sun. Taken at a time when the comet had attained maximum brightness, this spectrogram shows many emission lines of H_2O^+ . The bottom frame shows part of the H_2O^+ emission spectrum produced in the laboratory by Dr. Lew. Séquence des spectrogrammes ayant conduit à l'identification de l'ion H_2O^+ dans la queue de la comète de Kohoutek. L'image supérieure est une partie de spectre de la comète pris le 29 octobre 1973; les flèches indiquent les quatre raies inconnues que les Drs Herzberg et Lew suspectaient d'être des raies d'émission de H_2O^+ . Ces raies sont précisément celles auxquelles on s'attendait comme provenant d'un ion moléculaire dans l'environnement froid de la comète encore à une grande distance. L'image suivante est un spectrogramme pris le 8 novembre 1973 alors que la comète s'approchait du Soleil et de ce fait était plus brillante. Les quatre raies soulignées ont été identifiées comme pouvant faire partie du spectre d'émission de H_2O^+ ; deux de celles-ci apparaissent dans le spectre précédent. L'image suivante est une photographie prise le 10 janvier 1974 un peu après le périhélie de la comète. A ce moment-là, la comète avait atteint sa brillance maximale et ce spectrogramme donne de nombreuses raies d'émission de H_2O^+ . L'image du bas est celle qui a été obtenue par le Dr Lew sur le spectre d'émission de H_2O^+ produit en laboratoire.

"Scientifique de haute distinction" du CNRC, en collaboration avec le Dr Hin Lew, de la section de spectroscopie de la Division de physique, il a été possible d'identifier l'ion moléculaire H_2O^+ dans la queue de la comète. Quoique des considérations théoriques aient laissé penser depuis longtemps que cet ion existait dans les comètes, l'absence d'informations sur son spectre avait empêché toute identification positive.

Le Dr Herzberg nous a dit: "Les confins de l'espace sont presque entièrement explorés en analysant le spectre électromagnétique et, pour identifier une substance donnée, il est nécessaire de connaître auparavant le spectre de cette substance. Notre programme de production et de caractérisation des ions moléculaires a été établi en vue d'expliquer certains des points obscurs de la documentation en astrophysique. Le Dr Lew avait déjà produit H_2O^+ en laboratoire et il avait presque terminé son analyse spectrale, — travail qui lui a pris quelques mois, — lorsque les premières photographies du spectre de Kohoutek ont été reçues. Comme dans bien des cas dans le domaine scientifique, ce progrès en laboratoire s'est trouvé à coïncider avec l'arrivée de la comète; les travaux sur H_2O^+ ont été tout simplement le résultat d'un programme plus vaste d'études des ions moléculaires établi bien longtemps avant que la comète de Kohoutek n'apparaisse".

Le mode opératoire du programme consiste à produire des ions qui, pense-t-on, existent dans l'espace, à déterminer leur spectre d'émission ou d'absorption, ou les deux, puis à comparer ces derniers avec ceux du catalogue des données restées obscures en astronomie de manière à essayer de les éclaircir. La principale difficulté pour obtenir le spectre des ions moléculaires réside dans le fait que ces ions ont une forte tendance à se recombiner avec d'autres molécules ou à se séparer en atomes constitutifs. L'identification de ces ions dans l'espace lointain se trouve donc autant dans leur reproduction et leur caractérisation en laboratoire que dans leur enregistrement sur un spectre obtenu avec un télescope.

Le Dr Lew nous a dit: "L'ion H_2O^+ est produit dans un instrument qui bombarde l'eau neutre avec des électrons. On chauffe un groupe de filaments de tungstène jusqu'à ce qu'il commence à émettre des électrons qui sont accélérés vers une anode se trouvant dans une région contenant de la vapeur d'eau à faible pression. Ces électrons ont suffisamment d'énergie pour arracher des électrons des orbites des molécules d'eau et ainsi donner un plasma de H_2O^+ et d'électrons. Le spectre du plasma est photographié puis analysé pour relever les éléments dus à l'ion nouvellement formé. Quoique la plupart des raies d'émission proviennent de H_2O^+ , — et il en a des milliers —, certaines sont dues à d'autres sources comme l'hydrogène et elle doivent être éliminées pour obtenir une image vraie du spectre de l'ion".

Les événements qui ont conduit à l'identification de H_2O^+ dans la comète donnent un bon exemple de la manière, rappelant celle d'un détective, qui est utilisée pour obtenir une image plus complète des phénomènes scientifiques. La première indication concernant cette découverte est parvenue au Dr Herzberg en provenance d'un observatoire italien, à la mi-décembre 1973; il s'agissait d'un rapport d'observations faites le 29 octobre 1973 alors que la comète était encore loin du Soleil et relativement froide.

Le Dr Herzberg nous a encore dit: "Tôt après que la comète de Kohoutek est devenue visible, j'ai reçu du Dr P. Benvenuti

Comet Kohoutek—

containing water vapor at low pressure. These electrons have sufficient energy to knock other electrons from the orbitals of the water molecules, thus creating a plasma of H_2O^+ and electrons. The plasma spectrum is photographed and then analysed to pick out those elements due to the newly formed ion. Though most of the emission lines are from H_2O^+ (there are thousands of them), some are due to other sources such as hydrogen and must be eliminated to arrive at a true picture of the ion's spectrum."

The events that led up to the identification of H_2O^+ in the comet provide a good example of the detective-like manner in which evidence is pieced together in science to form a larger picture. The first clue arrived on Dr. Herzberg's desk from an Italian Observatory in the middle of December, 1973; it was a report of observations taken on 29 October, 1973, while the comet was still far out from the sun and relatively cool.

"Soon after Kohoutek became visible I received a photograph of its spectrum from Dr. P. Benvenuti and Dr. K. Wurm of the Asiago Observatory in which they indicated four prominent emission features that they could not identify," says Dr. Herzberg. "Since Dr. Lew's spectral analysis of H_2O^+ had not been available to them (it had not yet been published), we checked their unknown lines against his spectrum, and sure enough, the H_2O^+ ion had emission lines at these places."

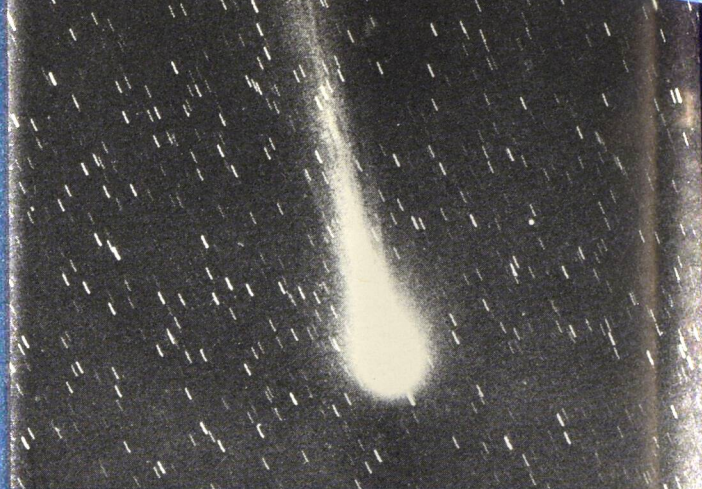
The lines in the Italian photograph were of very low resolution, with an accuracy good to about one Angstrom at best, and there were only four matchings out of thousands of possible lines in the H_2O^+ emission spectrum. This agreement would not therefore have meant much unless there was something more in the data than just the coincidence of wavelengths. It turned out that these emission lines were precisely the ones that would be expected from the ion if the temperature of the comet was low. They corresponded to emissions involving excitation from the lowest rotational level of the ion's electronic ground state and were the most probable lines to be found in the cold environment of the distant comet.

Shortly thereafter the NRC scientists learned of a bulletin from the International Astronomical Union (IAU) containing observations of the comet by Dr. G.H. Herbig of the Lick Observatory in California. Dr. Herbig's spectrogram, taken on November 8, 1973, contained two of the unidentified lines from the Italian photograph, as well as a third line, also unknown. All three of his lines were in good agreement with values listed in Dr. Lew's table for H_2O^+ , and the resolution was greater than in the Italian spectra by a factor of seven.

"We felt sufficiently certain of the evidence by this time that we wrote a paper entitled, 'The Tentative Identification of H_2O^+ in the Tail of Comet Kohoutek'," says Dr. Herzberg, "and sent a copy to NASA which in turn alerted the central office of the IAU. The IAU routinely sends out telegrams all over the world, informing astronomers of recent developments in the field. About a month later, in the middle of January, 1974, we received a telephone call that provided virtually conclusive evidence for the presence of the ion in the comet tail."

The call came from two Israeli astronomers, Dr. P. Wehinger and Dr. S. Wyckhoff at the Wise Observatory in Israel's Negev desert, who had photographed the comet tail with the aid of a device called an image intensifier on the night of January 10, 1974. A recent development for use in night viewing, this instrument was ideally suited to photography in the red-yellow spectral region where the H_2O^+ lines occur and photographic plates are "slow" (do not pick up details well). The resultant spectrogram contained a number of lines which the astronomers could not identify. Since they were aware of the IAU Herzberg-Lew bulletin, they made some rough measurements and telephoned Canada.

"They read off some line wavelengths over the telephone," says Dr. Herzberg, "and we compared them with the H_2O^+ table. Though their data corresponded to emission lines in our



The Comet Kohoutek, photographed on 29 November 1973, at Cerro Tololo, Chile, when it was still 90 million miles from the sun. During the 20-minute exposure, the comet moved against the background stars, and because the telescope was set to track it, the stars show up as short streaks. The molecular ion H_2O^+ was identified in the comet tail, seen extending across the photograph from the head region. • La comète de Kohoutek photographiée le 29 novembre 1973, à Cerro Tololo, au Chili, alors qu'elle était encore à 90 millions de miles du Soleil. Au cours d'une exposition de 20 minutes, la comète s'est déplacée sur un fond étoilé et, comme le télescope la suivait, les étoiles apparaissent sous forme de tirets lumineux. L'ion moléculaire H_2O^+ a été identifié dans la queue de la comète dont on peut voir également la tête et la chevelure.

spectrum, their figures were not precise and we had to wait for more accurate measurements to be made."

Two weeks later the spectrogram arrived from the Negev observatory, followed somewhat later still by precision measurements of the lines.

"We knew simply by looking at the spectrum that it was H_2O^+ ," says Dr. Lew. "It showed the same progression of bands, or groupings of emission lines, as the H_2O^+ ion; there was the same alternation between two distinct types of band structures. The arrival of the precise measurements merely added to the weight of evidence indicating the presence of the ion. About the same time Dr. Herbig also sent along even more precise data, putting the identification beyond a shadow of a doubt. A paper summarizing these results, entitled 'The Identification of H_2O^+ in the Tail of the Comet Kohoutek (1973f)' and authored by the two Israelis, Dr. Herbig and ourselves, has been published in the Astrophysical Journal Letters."

The identification of H_2O^+ in the tail of Comet Kohoutek provides the first conclusive evidence for the presence of water in comets, and lends support to F.L. Whipple's description of these cosmic wanderers as "dirty snowballs" rather than say, "gravel banks", as suggested by another cosmological hypothesis. Over the years several ions and radicals have been identified in comet tails, and though it is assumed that these "daughter products" originate through the action of radiation and the solar wind on parent compounds in the nucleus, these latter substances have never been directly identified. The hydroxyl radical is an example of a daughter product found in comet tails. Though it has been suggested that it arises from water in the nucleus, an unequivocal identification has not been possible because it could also derive from methanol, a substance known to be a constituent of the interstellar medium. The radicals NH_2 and C_3 , first analysed by the NRC Spectroscopy Laboratory, are other examples of molecules identified in comets that can originate from more than one parent compound. With H_2O^+ , however, there is very little room for speculation. It could only have come from water. As Dr. Herzberg explains: "This evidence for the presence of H_2O^+ makes it very difficult to conclude otherwise than that neutral H_2O is also present. It is only slightly less direct than the observation of the radio frequency line of water itself." □ Wayne Campbell

La comète . . .

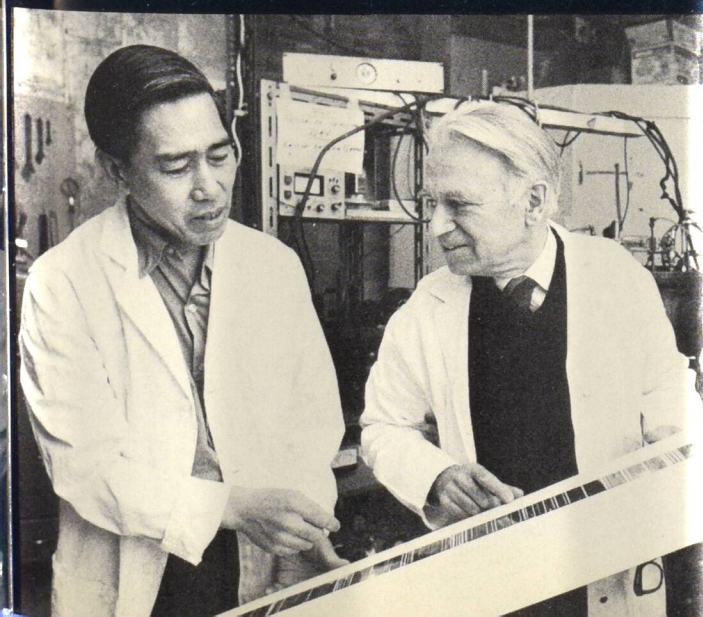
et du Dr K. Wurm, de l'Observatoire Asiago, une photographie de son spectre dans lequel ces savants avaient indiqué quatre caractéristiques d'émission remarquables qu'ils ne pouvaient pas identifier. Puisque l'analyse spectrale du Dr Lew de H_2O^+ ne leur avait pas été communiquée, — tout simplement parce qu'elle n'avait pas encore été publiée, — nous avons comparé ces deux spectres et nous avons trouvé qu'il était certain que l'ion avait des raies d'émission en ces endroits".

Les raies de la photographie italienne étaient de très faible résolution et la précision n'était que d'un angström environ au mieux; en outre, il n'y avait que quatre raies en accord sur les milliers de ce spectre d'émission de H_2O^+ . En conséquence, cet accord n'aurait pas eu grande signification à moins de trouver autre chose dans les données que cette coïncidence de longueurs d'ondes. Il s'est trouvé que ces raies d'émissions étaient précisément celles auxquelles on se serait attendu de la part de l'ion si la température de la comète était faible. Elles correspondaient à des émissions impliquant une excitation à partir du niveau rotationnel le plus bas de l'état fondamental électronique de l'ion et elles étaient les raies les plus probables que l'on puisse trouver dans l'environnement froid de la comète très éloignée.

Peu après, les scientifiques du CNRC ont eu connaissance par un bulletin de l'Union internationale d'astronomie (IAU) des observations de la comète faites par le Dr G.H. Herbig, de l'Observatoire Lick, en Californie. Le spectrogramme du Dr Herbig, pris le 8 novembre 1973, contenait deux des raies non identifiées de la photographie italienne et une troisième raie, également inconnue. Ces trois raies étaient en bon accord avec les valeurs données par le Dr Lew dans sa table sur H_2O^+ et la résolution était de sept fois plus grande que dans les spectres italiens.

Le Dr Herzberg nous a encore dit: "A ce moment-là, notre certitude a été suffisante pour que nous écrivions une communication intitulée "The Tentative Identification of H_2O^+ in the Tail of Comet Kohoutek" (L'identification provisoire de H_2O^+ dans la queue de la comète de Kohoutek) et nous en avons envoyé une copie à la NASA qui, à son tour, a alerté l'Office central de l'Union internationale d'astronomie. L'Union internationale d'astronomie envoie automatiquement des télégrammes aux astronomes du monde entier pour les

Dr. Hin Lew (left) discusses a feature of the H_2O^+ emission spectrum with Dr. Gerhard Herzberg. Produced in the laboratory by Dr. Lew, the spectrum was used to identify the molecular ion in the tail of Comet Kohoutek. • Le Dr Hin Lew (à gauche) discute un point de l'émission de H_2O^+ avec le Dr Gerhard Herzberg. Le spectre a été produit en laboratoire par le Dr Lew et a servi à identifier l'ion moléculaire dans la queue de la comète de Kohoutek.



informer des développements récents dans ce domaine. Un mois plus tard environ, vers la mi-janvier 1974, nous avons reçu un appel téléphonique qui nous a fourni une preuve virtuellement concluante de la présence de l'ion dans la queue de la comète".

L'appel provenait de deux astronomes israéliens, le Dr P. Wehinger et le Dr S. Wyckhoff, de l'Observatoire Wise, dans le désert du Négev, en Israël; ces deux savants avaient photographié la queue de la comète à l'aide d'un dispositif appelé "intensificateur d'images", durant la nuit du 10 janvier 1974. Cet instrument constitue un développement récent pour les observations de nuit et il est idéal pour photographier dans la région rouge-jaune du spectre, c'est-à-dire où les raies de H_2O^+ se produisent car les plaques photographiques sont "lentes" et n'enregistrent pas bien les détails. Le spectrogramme contenait un certain nombre de raies que les astronomes n'ont pas pu identifier. Puisque ces astronomes connaissaient la communication de Herzberg et de Lew, grâce à l'IAU, ils ont fait quelques mesures et ont téléphoné au Canada.

Le Dr Herzberg nous a dit: "Ils nous ont lu les valeurs de quelques longueurs d'ondes correspondant aux raies et nous les avons comparées avec les valeurs de la table de H_2O^+ . Quoique leurs données correspondaient aux raies d'émission dans notre spectre, les valeurs données par eux n'étaient pas précises et nous avons dû attendre pour avoir des mesures plus précises".

Deux semaines plus tard, le spectrogramme de l'Observatoire du Negev est arrivé et il a été suivi un peu plus tard de mesures de précision des raies.

Le Dr Lew nous a dit: "Il nous a suffi de regarder le spectre pour voir qu'il s'agissait de H_2O^+ . Le spectrogramme montrait la même progression de bandes, c'est-à-dire de raies d'émission groupées que dans l'ion H_2O^+ ; on observait la même alternance entre deux types distincts de structures de bandes. Lorsque les mesures de précision sont arrivées, elles n'ont fait qu'ajouter à l'évidence de la présence de l'ion. A peu près au même moment, le Dr Herbig nous a aussi envoyé des données encore plus précises nous permettant d'identifier l'ion sans aucun doute. Une communication résumant ces résultats, intitulée "L'identification de H_2O^+ dans la queue de la comète de Kohoutek" (1973 F), et dont les auteurs sont les deux Israéliens, le Dr Herbig et nous-mêmes, a été publiée dans les "Lettres du Journal d'astrophysique" (Astrophysical Journal Letters).

L'identification de H_2O^+ dans la queue de la comète de Kohoutek donne la première preuve qu'il y a de l'eau dans les comètes et elle appuie la théorie de F.L. Whipple selon laquelle ces "vagabondes" du cosmos ne seraient que des boules de neige sales plutôt que, par exemple, des "tas de graviers" comme on le suggère dans une autre hypothèse cosmologique. Au cours des années, plusieurs ions et radicaux ont été identifiés dans les queues de comètes et quoique l'on suppose que ces "produits filles" ont leur origine dans l'action des rayonnements et du vent solaire sur des composés parents dans les noyaux, ces dernières substances n'ont jamais été directement identifiées. Le radical hydroxyle est un exemple d'un "produit fille" trouvé dans les queues de comètes. Quoique l'on ait proposé qu'il est produit en partant de l'eau du noyau, une identification sans équivoque n'a pas encore été possible en raison du fait qu'il pourrait également dériver du méthanol, substance connue comme étant un constituant du milieu interstellaire. Les radicaux NH_2 et C_3 , d'abord analysés par le Laboratoire de spectroscopie du CNRC, sont d'autres exemples de molécules identifiées dans les comètes et qui peuvent avoir leur origine dans des composés différents mais parents. Toutefois, dans le cas de H_2O^+ , on ne peut guère se livrer à des spéculations; il ne peut provenir que de l'eau. Comme le Dr Herzberg nous l'a expliqué: "La présence de H_2O^+ ayant été démontrée, il est très difficile de ne pas conclure également à celle de H_2O neutre. C'est tout simplement un peu moins direct que l'observation de la raie de l'eau elle-même dans la fréquence radio".

Computer model of the cell— A program for life

How could a computer be programmed to act like a living cell? How could a mass of electrical circuitry, transistors, metal and glass simulate the myriad of interlocking chemical reactions that characterize the protoplasm, the inner fluids and structures of the cell? Not only are there many hundreds of chemical processes taking place continuously, but they all intermesh to maintain the cell in a state of dynamic equilibrium, a condition of balance determined by sophisticated feedback mechanisms governing the levels of the various chemicals. Who would presume then that mere machinery could simulate this incredibly complex substance, this manifestation of the vital phenomenon in nature?

Well, an engineering professor at the University of Toronto, for one.

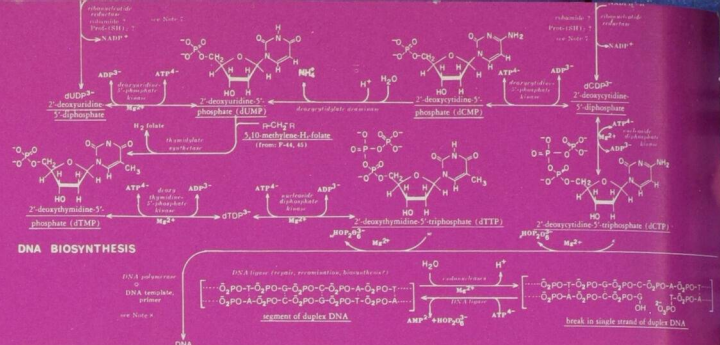
Professor E.J. Davison of the Electrical Engineering Department has worked out a computer program that simulates the steady state behavior of a cell as it grows and divides through normal stages from one generation to another. Though in itself this is a feat worthy of note in the control systems field, it is superseded in importance by the second stage of his work. By tinkering with the internal dynamics of the computer model of the cell, Dr. Davison caused it to change (or mutate) into a larger, faster growing system that appears to mimic cancerous growth. Further, his model is sufficiently exact that he can look into the maze of interlocking molecular machinery and pinpoint the precise chemical change responsible for the conversion to the malignant state.

Dr. Davison is the 1974 recipient of the E.W.R. Steacie Memorial Fellowship, awarded each year by the National Research Council of Canada to a young scientist who has distinguished himself in a particular field of research. Dr. Steacie was President of NRC from 1952 until his death in 1962. At present Dr. Davison is a leading authority in linear control theory, a field that translates at the practical level into mathematical models that describe the behavior of such physical systems as rockets, aircraft, nuclear reactors, and the various production systems of industry.

Mathematical modeling has been in use for years in the engineering sciences, but it has never been applied to a problem as complex as that posed by the chemistry of life. Linear control theory tends to be an abstract field, far removed from the down to earth, practical research of cell biology, but Dr. Davison has been able to bridge the gap between these two diverse disciplines.

"The motivation for the study," says Dr. Davison, "lay in the fact that these mathematical models have been shown to work beautifully in their simulation of the real world. Take the flight of the Mariner spacecraft to Mars as an example. The mathematics predicted the precise path the probe would take as it flew by the planet, and sure enough, observations demonstrated that the actual trajectory correlated well with the computer model."

Though mathematical modeling may sound like an esoteric subject that lies beyond the reach of the average man, the principles involved are actually quite straightforward. The structure of the mathematics is simply arranged to correspond with the physics of the system being considered. In describing a rocket and the nature of its flight, for instance, the observer has a great deal of information at his disposal. There are



characteristics such as the rocket mass, the thrust generated by fuel, the gravitational force of the Earth, the angle of flight and so on. There are also the experimental laws of physics such as the conservation of mass, energy, and momentum, and Newton's laws of motion.

"One simply applies these laws to obtain a mathematical model of the rocket", says Dr. Davison. "A series of ordinary differential equations are set up, one for each of the characteristics listed, and fed into a computer for solution. The resultant model is then compared with the real physical system to see how well its predictions correlate with the rocket's behavior. Usually you start with a relatively simple model which does not correlate well, and increase its complexity (by taking more characteristics into account) until the input-output data agrees with the experimental set-up. For example, an additional characteristic that could be included in this model to increase its precision is the moon's gravity; though not a force that would significantly alter atmospheric or earth orbital flights, nonetheless it has some small effect on the real system."

Attempting to describe the workings of a cell in the same manner is much more difficult because of the far greater complexity of the system. Since Dr. Davison was interested in simulating a cell actively growing and dividing, he confined his description to the chemistry of the nucleus, the site of the reproductive events in cell division. As a cell matures from the daughter stage — the beginning of its creative life — the levels of the various constituent chemicals, both in the nucleus and the surrounding cytoplasm, increase until growth stops and division occurs. The process then recurs in the new generation and so on.

"The criterion we imposed on the model system was as follows," says Dr. Davison. "From the daughter stage to the mature parent cell about to divide, our hypothesis was that all chemical constituents of the nucleus, such as proteins, nucleic acids, lipids and sugars, double their mass. That way the contents of the next daughter generation will be exactly the same as the original (one parent gives two daughter cells) and a steady state system will be maintained. After preliminary tests, it was decided that, in order to achieve a model that satisfactorily simulated a living system, at least 19 chemical levels, or characteristics, would have to be described by the mathematics. Comparing this number to the seven or eight characteristics used to describe a rocket system gives some idea of the complexity involved in cellular chemistry. Now, the problem we faced was that these levels are maintained by over 100 known chemical reactions in the nucleus, and few if any of the quantitative factors (rate constants) that determine how fast these chemical reactions occur are known with any accuracy. Though much is known of the cell nucleus in a qualitative sense, very little is known of the quantitative relationships between these cell constituents."

The general form of the mathematical model constructed by Dr. Davison was a set of differential equations embodying the 100 unknown rate constants and describing the changes in the various chemical levels with respect to time. The computer was instructed to arbitrarily assign values to the rate constants and to begin solving the equation, observing all the time intervals from the beginning to see if there was a point when all 19 levels were double their original or daughter stage values. When the

Modèle mathématique de la cellule Un programme de la vie

Comment peut-on programmer un ordinateur pour qu'il simule une cellule vivante? Comment une masse de fils électriques, de transistors, de métal et de verre peut-elle simuler les réactions chimiques, en relation les unes avec les autres et si nombreuses qui caractérisent le protoplasme, les fluides internes et les structures de la cellule? Non seulement il existe des centaines de processus chimiques continus mais aussi ces processus agissent les uns sur les autres pour que la cellule soit en équilibre permanent, équilibre déterminé par des mécanismes à rétroactions compliquées qui contrôlent les niveaux des diverses substances chimiques. Qui pourrait alors penser qu'une machine puisse reproduire ces processus incroyablement complexes?

Le Dr E.J. Davison, professeur du Département de génie électrique de l'Université de Toronto y a pensé et il a établi un programme permettant à un ordinateur de simuler le comportement d'une cellule de sa naissance à sa division en deux cellules "filles". Quoique ce travail soit déjà remarquable dans le domaine des systèmes de contrôle, il est dépassé par la phase suivante car, en jouant sur la dynamique interne de la cellule telle qu'elle a été décrite à l'ordinateur, le Dr Davison a obtenu une croissance plus importante et plus rapide simulant celle des tumeurs cancéreuses. De plus, son modèle est suffisamment exact pour qu'il puisse examiner le fonctionnement moléculaire le plus complexe et préciser les changements chimiques à la base de la conversion en un état de croissance maligne.

En 1974, le Dr Davison a reçu la bourse commémorative "E.W.R. Steacie" du Conseil national de recherches du Canada. Cette bourse est accordée à un jeune scientifique qui s'est distingué dans un domaine particulier de la recherche. Le Dr Steacie a été président du Conseil national de recherches de 1952 jusqu'à sa mort en 1962. Le Dr Davison est devenu une autorité dans le domaine de la théorie du contrôle linéaire, domaine grâce auquel on peut simuler à l'aide de modèles mathématiques le comportement de systèmes physiques tels que les fusées, les avions, les réacteurs nucléaires et les différents systèmes de production industrielle.

Les modèles mathématiques servent depuis des années à simuler des phénomènes complexes résultant de l'application des sciences mais ils n'ont jamais été utilisés pour simuler un problème aussi complexe que celui qui est posé par les processus chimiques à la base de la vie. La théorie du contrôle linéaire semble appartenir à un domaine abstrait très éloigné de l'aspect matériel de la recherche en biologie cellulaire. Toutefois, le Dr Davison a pu établir un lien entre ces deux disciplines et il nous a dit: "Nous avons été amenés à faire cette étude parce que les modèles mathématiques ont, jusqu'à maintenant, donné d'excellents résultats pour simuler le monde réel. Souvenons-nous, par exemple, du vol de la sonde martienne "Mariner". Grâce aux modèles mathématiques on a pu prévoir avec précision la trajectoire de la sonde jusqu'à la planète Mars et les résultats ont montré que la trajectoire effectivement suivie était très proche de celle qui avait été prévue par le modèle mathématique".

Quoique le modèle mathématique puisse apparaître à certains comme un sujet ésotérique bien au-delà de ce que l'homme de la rue peut comprendre, il n'en reste pas moins que les principes impliqués sont en fait assez simples. Les relations

mathématiques sont tout simplement établies pour représenter les aspects physiques du système considéré. En décrivant une fusée et sa trajectoire, par exemple, on dispose de nombreuses données comme le poids de la fusée, la poussée du moteur, les forces d'attraction de la Terre, etc., et l'on dispose aussi de lois et de principes comme les lois de Newton et de la conservation des masses, de l'énergie et des quantités de mouvement.

Le Dr Davison a poursuivi: "Il suffit d'appliquer ces lois pour obtenir un modèle mathématique de la fusée. Un système d'équations différentielles ordinaires est établi, chacune des équations correspondant à l'une des lois dont nous venons de donner des exemples. Les solutions sont calculées par l'ordinateur et les résultats sont alors comparés à ceux du système physique réel. Ainsi, on peut voir jusqu'à quel point les prévisions mathématiques sont proches du comportement réel de la fusée. Habituellement, on commence avec un modèle relativement simple dont les solutions peuvent être assez éloignées de la réalité; puis on en augmente la complexité en faisant entrer en jeu des caractéristiques supplémentaires jusqu'à ce que les résultats soient proches de ce que l'on a observé en vol. Pour augmenter la précision du modèle on pourrait, par exemple, tenir compte de l'attraction de la Lune quoique cette attraction n'est pas suffisante pour avoir une forte influence sur les orbites terrestres ou sur les trajectoires atmosphériques".

D'essayer de décrire le fonctionnement d'une cellule de la même manière est beaucoup plus difficile car le système réel lui-même est beaucoup plus complexe. Le Dr Davison s'intéressant à simuler la croissance d'une cellule et sa division en deux, il a borné sa description aux processus chimiques dans le noyau où ont lieu les "événements" de la reproduction cellulaire. A mesure qu'une cellule grandit, les niveaux des différents constituants chimiques dans le noyau et dans le cytoplasme augmentent; à l'âge adulte, ces niveaux se stabilisent, la division en deux se produit et le processus recommence.

Le Dr Davison nous a dit: "Nous nous sommes servis d'un critère pour délimiter notre modèle, c'est-à-dire que nous avons considéré ce qui se passe entre le moment où la cellule n'est encore qu'une cellule fille jusqu'à celui où elle va se diviser et devenir une cellule parente; nous avons donc fait l'hypothèse que tous les constituants chimiques du noyau comme les protéines, les acides nucléiques, les lipides, les sucres, doublent leur masse pendant cette période. De cette manière, les cellules filles auraient la même constitution que les cellules mères. Ainsi une cellule parente donne deux cellules filles et le système devient permanent. Après avoir fait des essais préliminaires, nous avons été conduits à décider que, afin d'avoir une bonne simulation, il serait nécessaire d'avoir au moins 19 niveaux chimiques, ou caractéristiques, décrits par les équations. Il est à remarquer que, dans le cas d'une fusée par exemple, il suffit d'avoir sept à huit caractéristiques pour décrire le système; on peut donc se rendre compte de la complexité des processus chimiques à l'intérieur de la cellule. Nous nous sommes alors trouvés en face d'un problème très difficile puisque ces niveaux sont donnés par plus de 100 réactions chimiques connues dans le noyau et que l'on ne connaît que quelques-unes des valeurs numériques des



Dr Edward Davison examines readout material associated with his computer-simulation of the living cell. • Le Dr Edward Davison examine des résultats de la simulation de la cellule vivante à l'aide d'un ordinateur.

computer recognized that the cell was not doubling up, that it was not in fact behaving like a cell, it then rejected these rate constant values and chose another set. The problem with this trial and error approach however was in the astronomical number of possible sets involved. It would have taken the world's largest computer literally thousands of years to complete the job.

"Instead of leaving the search purely to chance then," says Dr. Davison, "a sophisticated search technique (appropriately called the Monte Carlo procedure) was employed to narrow the field of possibilities. The procedure, which amounts to imposing restraints on the problem while at the same time allowing the computer to do the search as automatically as possible, took over two years of computation and interpretation on an IBM 370, one of the largest computers in Canada. In the 100 or so hours of machine time used, the computer examined millions of rate constant sets before finding the one that fulfilled the requirements of the doubling-up criterion.

The successful model arrived at by the computer contained a set of chemical rate constants that resulted in all 19 characteristics doubling their mass at the same time after initiation of the cell's 'life'. The chemistry of the living, growing nucleus had thus been emulated, at least insofar as it satisfied the basic hypothesis. (Although there is no direct experimental justification for this doubling-up criterion, it is a simple and reasonable assumption in cell division, an area of biology that is not well understood). The acid test for the cell model, as for the rocket, was in how well its performance agreed with the living system.

Though most of the published data in this area is qualitative (there are few quantities available) Dr. Davison's search of the literature showed that the experimental output of the biologist correlated well with the mathematical output of the cell model.

"If living cells in a culture medium absorb too much iron for example," says Dr. Davison, "experiment shows that they will die. Similarly, if the computer model is 'fed' too much iron the steady state is disrupted very quickly and it dies too."

Satisfied that the computer cell was a good simulation of the real thing, Dr. Davison then began introducing disturbance into the model to see how it would react. By varying the rate

constants or the chemical levels of the normal system, (that is, by disturbing it) he hoped to learn something of its flexibility and perhaps the answers to some basic biological questions.

What alterations would lead to cellular death? What, if any, were the changes that would result in mutation?

"It turned out that almost every disturbance of the model resulted in death," Dr. Davison says. "Of the multitude of alterations imposed on the cell over an entire year there were only four cases in which death did not occur, and it turned out that these four alterations were simply different ways of effecting the same specific change in the nuclear chemistry."

Instead of dying, the cell swept through a transitional stage and emerged in a new steady state that was two to ten times larger and grew at a rate that was about five times faster than the 'nominal' or normal cell. The energy requirement of this new 'fast' cell was considerably larger than the nominal and it was extremely robust in the sense that most disturbances would not kill it. Further, the opposite disturbance to the one that initiated the change had no effect on the mutant. Large, robust, and distinguished by rapid growth — it had all the earmarks of a cancer cell.

"In each of the four cases, the change that caused the 'malignancy' was in the rate constant of a chemical reaction contributing to the synthesis of messenger-RNA," says Dr. Davison. "This substance acts as a template or pattern for the synthesis of protein, a vital building material in cell growth. The shift itself was not very large, but as the cell continued to divide the effect accumulated until the originally small error had become very significant by the fourth or fifth generation. When the transition was over and the 'fast' cell steady state was attained, a return to the normal rate constant did not lead to a reversion to the nominal state.

"What was really surprising was that there were not other chemical changes that would cause the transition. It appeared that this disturbance of messenger-RNA synthesis was the only alteration that would effect the transformation to malignancy."

This work has generated such interest that university groups from Cambridge in Britain and Princeton and Berkeley in the United States intend to test predictions of the model in the laboratory, hopefully in a quantitative manner. A basic problem in comparing the living system with the computer model of the cell is in the correlation of real external effects such as cosmic radiation or toxic agents with the variation of the parameters in the model. The precise effects of these outside stimuli on the inner cell are simply not well known. How, for example, does a blast of radiation affect the internal chemistry? What is the mechanism whereby a cell's neighbors shut down its reproductive machinery? A knowledge of these effects would make the computer model a very powerful tool in biological research, allowing experimenters to do work in seconds on the machine model that would take months in the laboratory.

One of the reasons that cures for the various types of cancer have been so long in coming is a lack of knowledge concerning both the causes of the disease and the preliminary steps that lead to the condition. Science must have a handle, a grasp of the disease's cause and mechanism, before effective cures can be considered. Dr. Davison's model may not only help to elucidate the primary chemical steps involved, but give some idea of what cancer actually is as well.

"The structure of the model is that of a cell without contact with the outside," says Dr. Davison. "The description is of the nuclear chemistry alone, and none of the interactions between the nucleus and the cytoplasm or between neighboring cells are considered in the model. The model's behavior therefore suggests that cancer is a very basic property of the cell, that it moves into the malignancy mode in a spontaneous manner when exposed to certain types of disturbance." □

Wayne Campbell

... la cellule

constantes affectant les expressions exprimant les vitesses de réaction. Quoique l'on sache beaucoup de choses sur les processus dans le noyau du point de vue qualitatif, on ne sait que très peu de choses du point de vue quantitatif sur les constituants de la cellule comme, par exemple, l'ARN et l'ADN.

La forme générale du modèle mathématique établi par le Dr Davison consistait en un système d'équations différentielles comprenant les cent constantes aux valeurs inconnues et décrivant les variations temporelles des différents niveaux chimiques. L'ordinateur a été programmé pour qu'il puisse donner des valeurs arbitraires à ces constantes, résoudre les équations et vérifier après les intervalles de temps prévus qu'il n'était pas arrivé au point où les 19 niveaux avaient des valeurs doubles des valeurs d'origine, c'est-à-dire les valeurs assignées aux cellules filles. Lorsque l'ordinateur reconnaissait que la cellule "mathématique" ne doublait pas ses valeurs, c'est-à-dire en fait qu'elle ne se comportait pas comme une cellule vivante, il rejetait les valeurs numériques choisies pour les constantes et il en choisissait d'autres. L'ordinateur travaillait donc par tâtonnement ce qui conduisait à un nombre astronomique d'essais qui auraient pris des milliers d'années de calcul par le plus grand ordinateur du monde.

Le Dr Davison nous a dit: "Au lieu de laisser l'ordinateur chercher tout à fait au hasard, nous avons utilisé une technique appelée "méthodes de Monte Carlo". Ces méthodes consistent à imposer des conditions à remplir et à laisser l'ordinateur chercher aussi automatiquement que possible; ce travail de plus de deux années a exigé environ 100 heures de calcul sur IBM 370, l'un des plus grands ordinateurs au Canada, au cours desquelles l'ordinateur a essayé des millions de valeurs numériques pour les constantes affectant les vitesses avant de trouver celles qui satisfaisaient aux conditions du critère de doublement.

Comme le modèle obtenu par l'ordinateur contenait un groupe de constantes des vitesses de réaction chimique tel que toutes les 19 caractéristiques avaient doublé leur masse en même temps, on avait donc simulé les processus chimiques du noyau vivant et se développant, tout au moins dans le cadre des hypothèses de départ. Quoique ce critère de doublement ne soit pas directement prouvé par l'expérience, il semble raisonnable de s'en servir tout au moins dans ce domaine mal compris de la division cellulaire. Le vrai test pour ce modèle cellulaire, comme dans le cas de la fusée, consiste à comparer les résultats obtenus à ceux d'un système vivant.

Quoique les données publiées dans ce domaine soient pour la plupart uniquement qualitatives, les recherches faites par le Dr Davison dans la documentation ont montré que les résultats donnés par des expériences réelles sont proches des résultats obtenus avec le modèle mathématique.

Le Dr Davison nous a dit: "Si, par exemple, des cellules vivantes dans un bouillon de culture absorbent trop de fer, l'expérience montre qu'elles meurent. De la même manière, si la cellule simulée par le modèle mathématique reçoit trop de fer l'état permanent est perturbé très rapidement et la cellule mathématique meurt également".

Le modèle mathématique ayant donné une bonne simulation de la cellule vivante, le Dr Davison a commencé à injecter des valeurs numériques représentant des perturbations de manière à obtenir une réaction. En faisant ainsi varier les constantes affectant la vitesse ou les niveaux chimiques du système normal, il espérait apprendre quelque chose sur la souplesse du modèle et peut-être aussi trouver des réponses à quelques questions biologiques fondamentales.

Quelles seraient les perturbations conduisant à la mort de la cellule? Quels seraient les changements qui pourraient conduire à une mutation?

Le Dr Davison nous a dit: "On a trouvé que presque toutes les perturbations du modèle conduisaient à la mort de la cellule. Nous en avons essayé une multitude pendant une année entière

et seulement quatre de ces perturbations n'ont pas conduit à la mort et, dans ces quatre cas, on a trouvé qu'il s'agissait tout simplement de différentes manières d'obtenir le même changement spécifique dans les processus chimiques du noyau".

Au lieu de mourir, la cellule est passée par un régime transitoire et elle est entrée dans un nouvel état permanent caractérisé par des dimensions de 2 à 10 fois plus grandes et une vitesse de croissance égale à environ cinq fois celle de la cellule de départ, c'est-à-dire de la cellule normale. L'énergie nécessaire pour que la cellule se développe si rapidement était beaucoup plus grande que dans le cas de la cellule normale; en outre, cette nouvelle cellule était extrêmement robuste en ce sens que la plupart des perturbations ne la tuaient pas. De plus, la perturbation opposée à celle qui avait déclenché cette transition et ce nouvel état n'avait pas d'effet sur la cellule mutante. Ces nouvelles cellules, grandes, robustes et à croissance rapide, avaient toutes les caractéristiques des cellules cancéreuses.

Le Dr Davison nous a dit: "Dans chacun des quatre cas, la transformation de la cellule normale en cellule maligne provenait d'un changement d'une constante affectant une vitesse de la réaction chimique contribuant à la synthèse de l'ARN messenger". Cette substance agit comme gabarit pour la synthèse des protéines qui sont indispensables à la croissance des cellules. Ce changement n'était pas tellement grand mais, à mesure que la cellule continuait de se diviser, son effet était cumulatif et atteignait une grande valeur après la quatrième ou la cinquième génération. Après un régime de transition, l'état permanent de la cellule "rapide" était atteint mais un retour à la valeur normale de la constante ne conduisait pas à un retour de l'état normal.

"Ce qui était réellement surprenant se trouvait dans le fait qu'il n'y avait pas d'autres changements chimiques pouvant causer la transition. Il est apparu que cette perturbation dans la synthèse de l'ARN messenger était la seule pouvant conduire à la malignité".

Ces travaux ont déclenché un tel intérêt que des groupes universitaires de Cambridge, en Grande-Bretagne, et de Princeton et de Berkeley, aux États-Unis, ont l'intention de comparer les prévisions données par le modèle mathématique aux résultats donnés par des expériences en laboratoire, résultats que l'on espère quantitatifs. Un problème fondamental, lorsque l'on compare les systèmes vivants à la cellule mathématique, est la corrélation des effets externes réels, comme ceux des rayons cosmiques ou des agents toxiques, avec les changements de constantes du modèle mathématique. Les effets précis de ces stimulus externes sur la cellule ne sont pas bien connus. Ainsi, par exemple, comment une dose massive de radiations peut-elle affecter les processus chimiques à l'intérieur de la cellule? Quel est le mécanisme d'arrêt de la multiplication des cellules? Si nous le connaissions le modèle mathématique deviendrait un outil des plus puissants en recherche biologique ce qui permettrait aux expérimentateurs de faire leur travail en quelques secondes sur des modèles mathématiques au lieu de faire des expériences de plusieurs mois en laboratoire.

Notre ignorance des causes et du processus déclenchant les cancers est une des raisons pour lesquelles on ne parvient pas encore à les guérir systématiquement. Le modèle du Dr Davison pourra peut-être, non seulement élucider les différentes étapes des premiers processus chimiques, mais aussi donner une idée de la nature réelle du cancer.

Ce chercheur nous a dit: "La structure du modèle est celle d'une cellule sans contact avec le monde extérieur. La description ne se rapporte qu'aux processus chimiques dans le noyau et aucune des interactions entre le noyau et le cytoplasme ou entre la cellule et les cellules voisines n'a été jusqu'ici considérée. Le comportement du modèle, en conséquence, conduit à penser que le cancer relève d'une propriété très fondamentale de la cellule et que cette cellule devient maligne spontanément lorsqu'elle est exposée à certains types de perturbations". □

Cover: Part of extensive oceanographic research conducted through National Research Council Negotiated Grants to Memorial University, St. John's, Newfoundland, has been on the development of technology to deal with underwater and ocean-floor engineering problems. These are often associated with oil exploration of the continental shelf. Here, a diver drills a hole on the ocean floor preparing to anchor an underwater research habitat. Below, dye is released on the ocean floor off the coast of Newfoundland to determine underwater turbulence and current. Photographs by Hugh Jacobs, Memorial University. • Notre couverture: Une partie des importantes recherches océanographiques entreprises par l'Université Memorial, à Saint-Jean de Terre-Neuve, avec l'aide financière du CNRC sous forme de subventions concertées, a porté sur le développement d'une technologie adaptée aux problèmes rencontrés dans l'exécution de travaux sous-marins et sur le fond des océans. Ils sont souvent liés à l'exploration pétrolière du plateau continental. On voit ici un scaphandrier forant le fond de l'océan pour l'ancrage d'une habitation sous-marine destinée aux équipes de recherche. La photographie ci-dessous illustre l'émission de colorant au large de Terre-Neuve pour étudier les courants et la turbulence des fonds marins. Photographies de Hugh Jacobs, de l'Université Memorial.

