

# SCIENCE DIMENSION

1976/3



National Research  
Council Canada

Conseil national  
de recherches Canada

- 
- 4 A Canadian second helping**  
 IRAP — stimulating R & D in the food industry.  
**L'industrie alimentaire canadienne** 5  
 PARI stimule la recherche et le développement.
- 
- 8 Oracle for origins**  
 Peering around the "next corner" in cosmic ray research.  
**Les rayons cosmiques** 9  
 Coup d'oeil prospectif sur la recherche.
- 
- 14 David Suzuki**  
 A "chromosome mechanic" at work.  
**David Suzuki** 15  
 Un "mécanicien de chromosomes" au travail.
- 
- 20 New tools — new skills**  
 The Manufacturing Technology Center — service to Canadian industry.  
**Nouveaux équipements, nouvelles compétences** 21  
 Le Centre de fabrication technique au service de l'industrie canadienne.
- 
- 24 Unravelling the motions of matter**  
 Novel technique for looking at chemical constituents of the cell.  
**Lumière sur le mouvement de la matière** 25  
 Technique nouvelle pour voir les constituants chimiques de la cellule.
- 
- 28 Mapping the contours of life**  
 Protein folding — one of the most challenging areas of modern biology.  
**Processus biologique fondamental** 29  
 Le repliement protéique est l'un des domaines les plus complexes de la biologie moderne.
- 

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.

**Managing Editor** Loris Racine **Directeur**  
**Editor** Joan Powers Rickerd **Rédactrice en chef**  
 Wayne Campbell  
**Associate Editors** Dr. Wally Cherwinski **Rédacteurs en chef adjoints**  
**Designer and** Robert Rickerd **Maquettiste et**  
**Print Supervisor** **contrôleur de l'impression**  
**Photography** Bruce Kane **Photographie**  
**Printer** Dollco **Imprimeur**  
 31059-5-0782

In early December 1916, 11 men representing the scientific, technical and industrial interests of Canada met in Ottawa for the first time. On June 6 of that year, a Sub-Committee of the Privy Council had formed the Honorary Committee for Scientific and Industrial Research, the earliest ancestor in the genealogy of the National Research Council of Canada.

Today, 60 years later, NRC continues to play a major role in Canada's scientific development. The modern-day Council functions as a national science laboratory, a patron of Canadian scientific research and a vital link between the scientific interests of government, industry and universities in Canada.

Laboratory activities are now concentrated into ten major research divisions spanning various aspects of the life sciences, physical sciences and engineering. The newest of these, the Herzberg Institute of Astrophysics, has been named in honor of Dr. Gerhard Herzberg, distinguished NRC scientist and Canada's first Nobel Prize winner in the natural sciences. Other scientific and technical facilities, which are unique or too specialized for individual Canadian industries or scientific organizations to support on their own, are maintained all across Canada.

In its research programs, NRC acts in response to Canada's changing needs and scientific priorities. Current applied research is focussed on selected areas related to long-term problems of national concern — energy, food, building and construction, and transportation. The Council also provides research support towards social objectives — public safety and security, protection of property, health and environmental quality. A significant part of present-day laboratory work centers on basic or exploratory research aimed at the creation and application of new knowledge. The results of such fundamental studies ultimately fulfill some practical need in society.

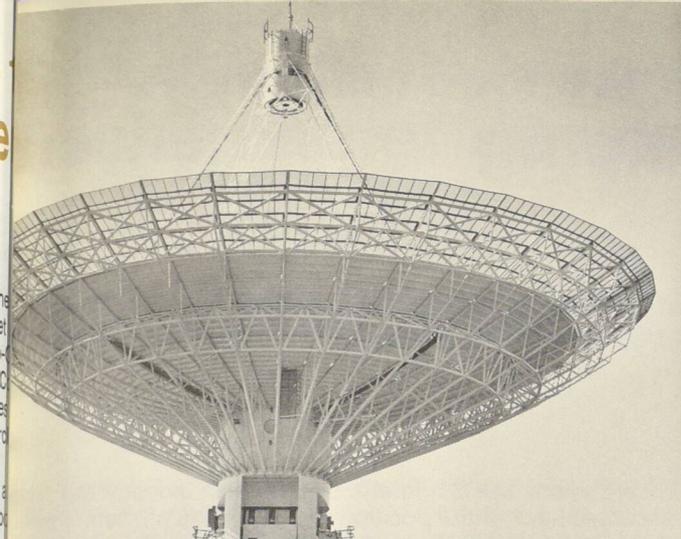
NRC's extensive research facilities complement its role as custodian of Canada's primary physical standards which include measurements of such quantities as length, mass, heat, electricity and time. Because of this involvement, the Council acts for Canada in international agreements concerning weights and measures.

In addition to its "in-house" research activity, the Council is closely allied with Canadian industry through cooperative programs of research and development and through programs of direct financial assistance. Similarly, an extensive program of grants and scholarships is the main source of direct aid to scientific research in the universities.

While maintaining this direct interface with Canada's scientific community, NRC is also the focus of a nationwide distribution network for scientific and technical information.

Dr. W.G. Schneider, President of NRC, emphasizes the importance of science to Canada's future and foresees a consolidation of NRC's pivotal research role in the years ahead. "In the future," he states "NRC activities will be centered largely around its laboratory programs, with more emphasis on effective ways of using the demonstrated capacity of the Council for our national development. NRC's role must remain clearly defined within the overall Canadian and international scientific effort." □

# 60 années de recherches 1916 - 1976



Au début du mois de décembre 1916, onze hommes représentant les intérêts scientifiques, techniques et industriels du Canada se réunissaient pour la première fois à Ottawa. Le 6 juin de la même année, un Sous-comité du Conseil privé créait le Comité honoraire de la recherche scientifique et industrielle, comité qui devait donner naissance au Conseil national de recherches du Canada.

Aujourd'hui, 60 ans plus tard, le CNRC continue à jouer un rôle majeur dans le développement scientifique du Canada. Il fait fonction de laboratoire scientifique national, de mécène de la recherche scientifique canadienne et sert de lien vital entre les intérêts scientifiques gouvernementaux, industriels et universitaires au Canada.

Les activités des laboratoires sont maintenant concentrées dans dix importantes divisions où l'on fait de la recherche couvrant divers aspects des sciences de la vie, des sciences physiques et du génie. La plus récente est l'Institut Herzberg d'astrophysique nommé ainsi en l'honneur du Dr Gerhard Herzberg, scientifique de haute distinction du CNRC et premier Prix Nobel canadien dans le domaine des sciences naturelles.

Dans le cadre de ses programmes de recherche, le CNRC s'adapte à l'évolution des besoins et des priorités scientifiques du Canada. De nos jours, la recherche appliquée est axée sur des domaines sélectionnés liés à des problèmes à long terme d'intérêt national comme l'énergie, l'alimentation, la construction et les transports. Le CNRC apporte également une aide à la recherche touchant des objectifs sociaux comme la sécurité publique, la protection de la propriété, la santé, et la qualité de l'environnement. Une partie importante des travaux auxquels se livrent aujourd'hui les laboratoires est consacrée à la recherche fondamentale ou exploratrice orientée vers l'acquisition et l'application de connaissances nouvelles. Les résultats de cette recherche fondamentale peuvent éventuellement répondre à certains besoins sociaux pratiques.

Les importants moyens de recherche du CNRC complètent son rôle de dépositaire des étalons physiques fondamentaux du Canada qui comprennent les mesures de longueur, de masse, de chaleur, d'électricité et de temps. A ce titre, le CNRC est le représentant officiel du Canada en ce qui concerne les accords internationaux relatifs aux poids et mesures.

En plus de ses activités internes de recherche, le Conseil est étroitement lié à l'industrie canadienne grâce à des programmes coopératifs de recherche et de développement et à des programmes d'aide financière directe. D'une façon similaire, un programme important de subventions et de bourses d'études est la source principale d'aide directe à la recherche scientifique dans les universités.

Tout en maintenant ce contact direct avec la communauté scientifique canadienne, le CNRC est également le centre focalisateur d'un réseau national de diffusion de l'information scientifique et technique.

Le président du CNRC, le Dr. W.G. Schneider, souligne l'importance des sciences pour l'avenir du Canada et entrevoit pour les années à venir une consolidation du rôle clé joué par le CNRC dans la recherche: "A l'avenir, les activités du CNRC seront largement centrées sur les programmes de ses laboratoires, en insistant sur les moyens propres à assurer l'utilisation de la compétence démontrée du Conseil en matière de développement national. Le rôle du CNRC doit demeurer clairement défini dans le cadre de l'ensemble de l'effort scientifique canadien et international." □

# Research and development in the food industry - A Canadian second helping

Financial support to the food industry under NRC's Industrial Research Assistance Program stimulates research and development in food processing and the search for new foodstuffs.

Consumer fashions may ebb and flow and bulls or bears stalk the floors of stock markets but there is one commodity which is always assured a market and that is food. However, for the majority of the world's people, whose "futures" extend no further than the next meal, food cannot be thought of in terms of economics and markets. It has therefore become the responsibility of the richer nations to exercise husbandry over their resources, to increase yields and to continue to search for alternative and more abundant foodstuffs.

Canada, with its vast tracts of arable land, occupies an important and influential position on the world's food market, a position which demands the closest attention to the philosophy and practice of food development and processing. In the past, Canada's food industry appeared as the Cinderella of research and development (R&D) when compared to its other industries, a position which is reflected in the figures for government grants to industrial research. The Industrial Research Assistance Program (IRAP) of the National Research Council of Canada was designed to stimulate R&D in Canadian industry by supplying funds for a company to hire its first scientists or to expand an existing program which is considered by the company to be inadequate for its needs. The distribution of IRAP funds therefore reflects the demand for support of worthwhile projects by industrial concerns in Canada. In 1970-71, for example, less than seven per cent of IRAP funds were distributed to food companies. However, in

recent years, the Cinderella of Canadian industry has assumed her rightful position and at over 18 per cent is now the second largest recipient of IRAP grants. This position is reflected in the recent construction of new industrial laboratories and hiring of specialized staff by many food companies.

In the initial stages of a food company's venture into R&D, the IRAP grant supplies funds for the hiring of the company's first scientific staff. The results of such initial research thrusts can be quite dramatic as the following example illustrates: a Canadian firm, Sun Rype Products Ltd., a grower-owned processing company in the Okanagan Valley, hired its first scientist to investigate the use of waste materials from apple processing. Before commencing his investigations, he found it necessary to obtain more uniform samples of apple waste materials and therefore investigated the process whereby the juice was extracted. The result of this preliminary investigation was the development of a more efficient continuous process yielding a considerable increase in juice extraction at substantial savings to the company. These efforts also led to the establishment of a research facility in this company.

The results of initial, small-scale ventures into research are generally profitable for a company and will usually lead to the next step, a long-term planned approach to the company's R&D. IRAP funds may again be used at this stage to assist in the hiring of a larger staff of scientists and technicians on a full-time basis.



Scientific research into each stage of a food processing operation can result in considerable improvement in costs and efficiency.

La recherche scientifique à chaque stade du processus de transformation des produits alimentaires peut contribuer à accroître considérablement les économies et le rendement.

# L'industrie alimentaire canadienne

## Recherche et développement

L'aide financière accordée à l'industrie alimentaire dans le cadre du Programme d'aide à la recherche industrielle du CNRC stimule la recherche et le développement touchant les denrées alimentaires.

Les goûts du consommateur peuvent varier et commander les hausses et les baisses boursières mais s'il est une industrie qui soit toujours assurée d'avoir un marché c'est bien celle de l'alimentation. Cependant, comment pourrait-on s'attendre à ce que la majorité de la population mondiale, pour qui "l'avenir" c'est le prochain repas, résolve ses problèmes alimentaires par l'application des lois de l'économie et des marchés? Il appartient donc aux nations plus favorisées de gérer rationnellement leurs ressources pour augmenter les rendements et de poursuivre leurs efforts en vue de découvrir de nouvelles sources alimentaires qui soient en même temps plus abondantes.

Le Canada, avec ses vastes étendues de terre arable, occupe une position qui lui permet d'exercer une importante influence sur les marchés alimentaires mondiaux, position exigeant qu'il accorde la plus grande attention à l'approche théorique et pratique conduisant à la création de nouveaux produits alimentaires et à leur transformation. Il semble que l'industrie canadienne de l'alimentation ait, par le passé, été choyée sur le plan de la recherche et du développement (R et D) si on la compare aux autres industries et si l'on se réfère aux chiffres correspondant aux subventions gouvernementales accordées à la recherche industrielle. Le Programme d'aide à la recherche industrielle (PARI) du Conseil national de recherches du Canada a été créé dans le but de stimuler la recherche et le développement dans l'industrie canadienne par l'attribution de fonds permettant à une compagnie d'embaucher ses premiers chercheurs ou de développer un programme existant que la compagnie juge ne plus correspondre à ses besoins. La répartition de ces fonds correspond donc à des demandes d'assistance d'entreprises industrielles canadiennes pour la réalisation de projets valables. En 1970-71, par exemple, la part des fonds PARI attribuée aux compagnies de produits alimentaires n'a pas atteint 7%. Cependant, au cours de ces dernières années, cette Cendrillon de l'industrie canadienne a assumé le rôle de princesse qui lui revenait de droit en se plaçant, avec plus de 18%, au second rang parmi les bénéficiaires de subventions PARI, position que reflète bien la construction de nouveaux laboratoires industriels et l'embauche de spécialistes récentes par de nombreuses entreprises.

Dans le cas d'une compagnie de produits alimentaires se

lançant dans la recherche et le développement, la subvention PARI lui fournirait les fonds nécessaires à l'engagement des premiers éléments de son personnel scientifique. Les résultats de tels efforts initiaux axés sur la recherche peuvent parfois être tout à fait impressionnants comme l'illustre l'exemple suivant: Sun Rype Products Ltd., compagnie canadienne de transformation alimentaire de la vallée de l'Okanagan appartenant aux producteurs, a embauché son premier chercheur pour étudier les possibilités d'utilisation des déchets provenant du traitement des pommes. Avant d'attaquer le problème, ce scientifique s'est aperçu qu'il était nécessaire de disposer d'échantillons de déchets plus uniformes et il a donc dû étudier le processus d'extraction du jus. Cette étude préliminaire a conduit à un processus continu plus efficace avec un accroissement considérable de la quantité de jus extrait et la réalisation de substantielles économies pour la compagnie. Ces efforts ont également amené la création d'un laboratoire de recherche au sein de la compagnie.

Les résultats de tentatives de recherche initiales à petite échelle sont généralement bénéfiques pour une compagnie et conduisent habituellement à l'étape suivante qui est l'approche planifiée et à long terme de ses travaux de recherche et de développement. Les fonds provenant de PARI peuvent être à nouveau utilisés à ce stade pour faciliter l'accroissement du nombre de scientifiques et de techniciens engagés à plein temps. Une compagnie peut décider à ce stade d'investir dans l'étude et la construction d'un laboratoire disposant de tout l'appareillage scientifique nécessaire.

On peut citer comme exemple celui de la Borden Company Limited qui a entrepris la construction d'un laboratoire d'un million de dollars. Cette compagnie se concentre surtout sur les produits laitiers et axe actuellement ses efforts sur la prolongation de la durée de conservation des produits à base de lait. Elle a notamment mis au point un procédé où un produit est porté pendant quelques secondes à la température de 290°C puis scellé, sous conditions aseptiques, dans une boîte qui a été préalablement soumise à une température de 400°C. La durée de conservation de certains produits à base de lait peut ainsi atteindre une année. Cet autre phénomène de notre époque qu'est le casse-croûte est un des autres domaines auxquels s'intéresse

Arnott Rogers Ltd., Montreal/Arnott Rogers Ltée, Montréal



Laboratories like this one, which is designed for research into food products, are being constructed as a result of IRAP support.

Des laboratoires conçus pour la recherche sur les produits alimentaires, comme celui-ci, sont construits grâce à PARI.

# food industry

At this stage a company may decide to invest in the design and construction of a laboratory with full scientific facilities. One such firm, which is in the process of constructing a million dollar laboratory, is the Borden Company Limited. The main interest of this company is in milk products and its current concern centers on the extension of the shelf life of milk-based products. One process has been developed whereby a product is heated for a few seconds at 290°C and sealed, under aseptic conditions, in a can which has previously been heated to 400°C. In this fashion, the shelf life of some milk-based products can be extended to one year. Another concern of the Borden Company is that phenomenon of contemporary life, the snack food. These foods form a significant part of the diet of many individuals and it is therefore important that they be nutritionally-balanced. An investigation is therefore being conducted into which food components are lost during food processing and how they may be replaced in the final product.

While processing and packaging are traditional concerns of the food industry, the search for alternative sources of food is rapidly becoming another. F.B.I. Foods Ltd., Montreal, has recently constructed a large R&D center whose major objective is the development and production of new food ingredients from Canadian raw materials. In one approach, simulated meat products are being developed using proteins extracted from wheat. In another project, food ingredients are being developed from fermentation processes.

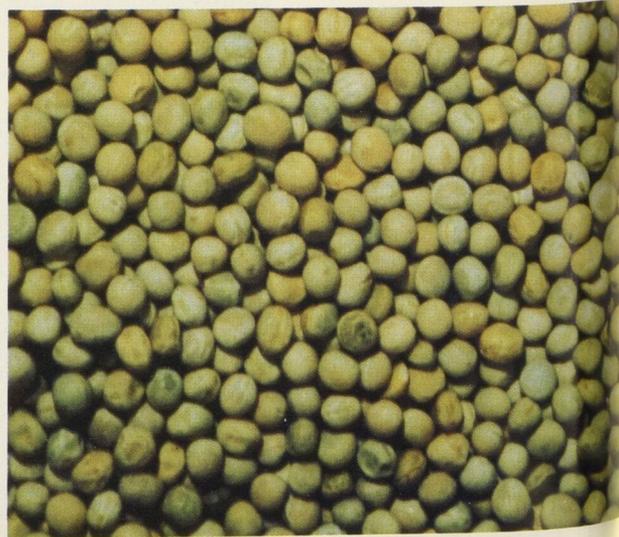
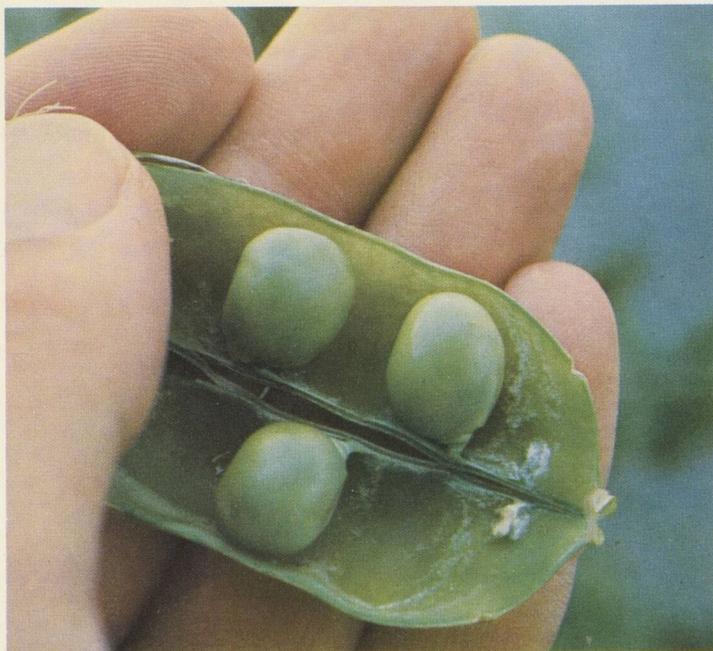
The use of vegetable materials as a source of protein is the main interest of Griffith Laboratories Limited. As a major

supplier of products derived from soybean, the company is committed to the development of alternative foods using vegetable protein. Since Canada is at present producing only 50 per cent of its soy requirements the company is turning to other sources. It has discovered that the field pea possesses considerable advantages over soy in terms of processing. While the field pea may be used in its entirety as a food source, the processing of soy produces considerable volumes of whey which present a disposal problem. Research at Griffith Laboratories has led to two patents being issued in the area of field pea processing.

The above examples illustrate several main thrusts of research in the food industry: the search for new sources of food, innovations in the development of new food products, improvements in food processing and the elimination of spoilage and contamination. The construction of new research laboratories by several Canadian companies clearly indicates that investors and industrialists appreciate the rewards of a planned approach to R&D. Examination of the case histories of IRAP grants dramatically demonstrates the return in profits which can be stimulated by a modest research grant. Indeed, it is not difficult to find companies whose profits resulting from research would more than pay for the whole of the IRAP program. In the long term, however, it is the Canadian public which is gaining from research programs of this nature, resulting in the marketing of purer and more attractive food products. And ultimately, the development of alternative and more abundant food sources will be of benefit to the total world population. □

**David Peat**

**The common field pea is proving to be a significant new source of vegetable protein and the first commercial pilot plant for processing pea flour has now been built at Nipawin, Saskatchewan. All the foods shown (except the butter) have been improved nutritionally with pea protein concentrate produced at NRC's Prairie Regional Laboratory.**



# l'industrie alimentaire

la compagnie Borden. Cette forme d'alimentation représente une part importante du régime de nombreuses personnes et il est par conséquent essentiel que les aliments entrant dans sa composition soient bien équilibrés sur le plan nutritionnel. C'est pourquoi la compagnie a entrepris des recherches pour identifier les éléments alimentaires qui sont perdus au cours des processus de transformation et déterminer comment ils peuvent être remplacés dans le produit final.

Bien que la transformation et le conditionnement des denrées aient toujours constitué la préoccupation traditionnelle de l'industrie alimentaire, la nécessité de découvrir de nouvelles sources alimentaires va rapidement en constituer une autre. F.B.I. Foods Ltd., de Montréal, a récemment achevé la construction d'un grand centre de recherche et de développement dont l'objectif majeur est la mise au point et la fabrication de nouveaux ingrédients alimentaires à partir de matières premières canadiennes. Cette compagnie a notamment entrepris la mise au point de produits simulant la viande et composés de protéines extraites du blé. Dans le cadre d'un autre projet, des ingrédients alimentaires sont mis au point à partir de différents procédés de fermentation.

C'est à l'utilisation de matières végétales comme source protéinique que s'intéresse principalement La Griffith Laboratories Limited. Étant un important fournisseur de produits tirés du soja, cette compagnie s'attache à mettre au point de nouveaux aliments à base de protéines végétales. Cependant, le Canada ne couvre actuellement que 50% de ses besoins en soja et la compagnie se voit obligée de chercher de nouvelles sources. Elle a découvert que, sur le plan de la transformation, le pois des champs

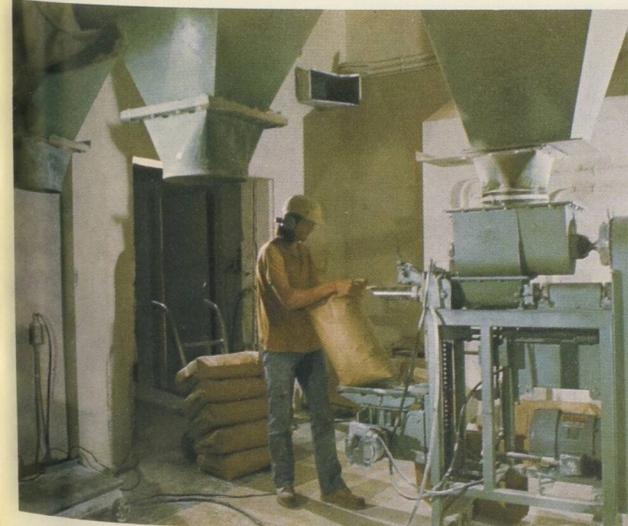
possède des avantages considérables par rapport au soja. En effet, alors que le pois des champs peut être utilisé en totalité comme denrée alimentaire, le traitement du soja conduit à la production de volumes considérables de petit lait qui créent des problèmes d'élimination. Les travaux de recherche de Griffith Laboratories ont déjà été sanctionnés par l'attribution de deux brevets pour des procédés utilisés dans la transformation des pois des champs.

Les exemples que nous venons de citer illustrent plusieurs efforts majeurs de recherche dans l'industrie alimentaire, à savoir: la recherche de nouvelles sources alimentaires, les innovations dans la mise au point de nouvelles denrées, le perfectionnement des méthodes de transformation et enfin l'élimination de la contamination et des pertes par détérioration. La construction de nouveaux laboratoires de recherche par plusieurs compagnies canadiennes est un indice manifeste de la conscience qu'ont les investisseurs et les industriels des avantages d'une approche planifiée en matière de recherche et de développement. L'étude des subventions PARI montre de façon éclatante les bénéfices qui peuvent résulter de l'attribution d'une modeste subvention de recherche. On peut même dire qu'il n'est pas difficile de trouver des compagnies dont les bénéfices réalisés grâce à la recherche suffiraient largement à couvrir le coût de l'ensemble du programme PARI. A long terme, c'est cependant le public canadien qui bénéficie de ce genre de programmes de recherche par la commercialisation de denrées alimentaires à la fois plus pures et plus attrayantes et, en fin de compte, la totalité de la population mondiale par la création de sources alimentaires nouvelles et plus abondantes. □

*Texte français:* **Claude Devismes**

**Le pois commun des champs est une nouvelle et importante source de protéine végétale et la première usine pilote pour le traitement de la farine de pois à des fins commerciales est maintenant en service à Nipawin, dans la Saskatchewan. La qualité nutritive de tous ces aliments (à l'exception du beurre) a été améliorée avec du concentré de protéine de pois fabriqué par le Laboratoire régional des Prairies du CNRC.**

John McAulay, NRC/CNRC



# The cosmic ray telescope - Oracle for origins

A cosmic ray telescope scans different portions of the heavens over a 12-month period. Its mission is to seek anisotropies or irregularities in the arrival of cosmic rays on earth which may give a clue as to their formation.

Which of us, on looking into the clear night sky, has not been moved by questions of origins and ends? These questions which have haunted humankind throughout history demand a reply and, through the scientific advances of the present century, it has become possible for our generation to learn some of the answers. Scientific answers of this nature do not, however, come easily but are reached only after the accumulation of data, each piece of which is the result of the perfection of an astronomical instrument.

The telescope, first used for serious astronomical observation by Galileo, is the most familiar of the astronomical instruments since it represents an obvious extension of the faculty of sight. More novel instruments, such as the radio telescope, have been developed in this century and have uncovered surprising information about our universe including the existence of new astronomical bodies such as the quasar and pulsar. Perhaps the most mysterious bearers of interstellar information are not the various wavelengths of electromagnetic radiation but elementary particles which stream through the galaxy at high velocities — the cosmic rays. The existence of these rays was first deduced in 1911 by V.H. Hess who made daring balloon ascents into the atmosphere to determine the nature of an ionizing radiation observed on earth. Even today, modern astronomers like Hess before them, find the origin of this radiation a puzzle.

With the adaptation of detectors used in elementary particle research, it has become possible to make scientific investigations of cosmic rays as they reach the earth and to seek answers to several intriguing questions: What are the origins of these rays? Through which parts of our galaxy have they travelled? What can they tell us about conditions within the most violent stars and even at the creation of the universe itself?

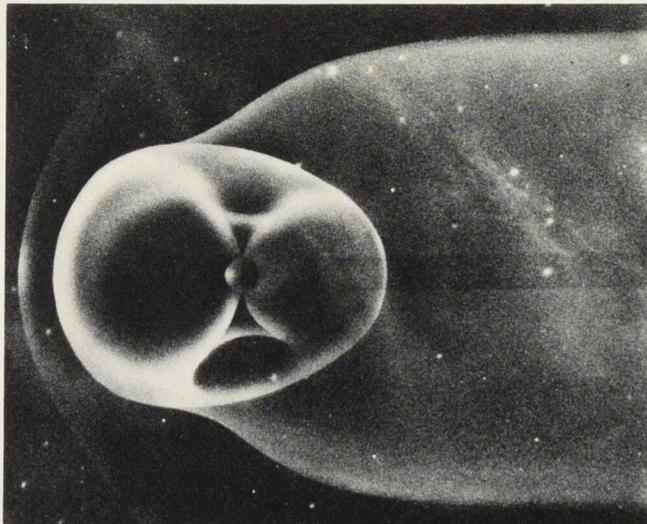
Answers to these questions are at best tentative, a situation which lends much excitement to such research. Who can predict what revolutionary insight might lie around the next corner? One scientist who has designed an instrument which will peer around the "next corner" of cosmic ray research is Dr. M. Bercovitch of the Herzberg Institute of Astrophysics at the National Research Council of Canada.

His cosmic ray telescope is intended to provide some of the answers to the question of the origins of these extra-terrestrial intruders.

The elementary particles which make up the cosmic rays are not in themselves unusual. They consist mainly of protons (the nucleus of the hydrogen atom) together with some heavier, positively-charged nuclei. What is surprising is the particles' high energies which cause scientists to speculate upon the possible violent origins of these rays. A suggestion, which has much support, is that they originate within highly energetic stars, for example, novae and super-novae. If this hypothesis is correct, then one might expect to detect a larger influx of cosmic rays from those regions of the sky in which stars are more densely packed, that is, from the galactic center. However, nature tends to thwart the fulfillment of this expectation. The space between the stars is not strictly empty but contains magnetic fields and interstellar gas. As the electrically charged cosmic rays pass through the interstellar magnetic fields their paths become deflected and, on moving from field to field, their direction of travel becomes so confused that it bears little relationship to the point of origin. Nevertheless, it is thought that a general streaming of cosmic rays away from the galactic center should occur. This streaming should be parallel to the large-scale galactic magnetic field which threads the spiral arms of our galaxy. This phenomenon, in which the intensity of radiation from one direction is greater than that from another, is known as anisotropy.

To date, no experiment has unequivocally detected an anisotropy relative to the galaxy in the cosmic radiation reaching the earth. Does this mean, therefore, that scientists should abandon their current hypothesis on the origin of cosmic rays? Not yet, for a further influence is exerted upon the rays as they enter the solar system. The sun is continually ejecting charged particles at high velocity from its surface. These particles stream out past the planets, producing the "solar wind". Associated with this solar wind are magnetic fields which, as a result of the sun's rotation, become twisted or "wound up". These twisting magnetic

National Film Board/Office national du film



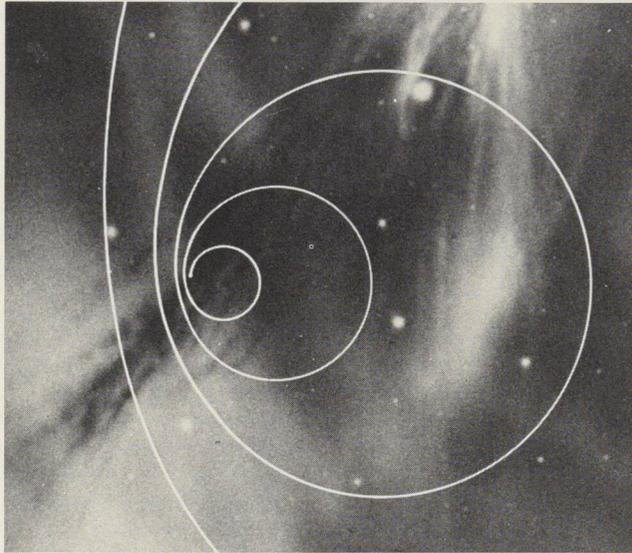
An artist's impression of the magnetic fields which surround the earth. Charged particles which leave the sun at high velocity stream past the earth leaving a "shadow" which is shown on the right-hand side of the photograph. On the left-hand side can be seen a bow or "shock" wave.

Interprétation artistique des champs magnétiques ceinturant la Terre. Les particules chargées qui partent du Soleil à très grande vitesse dépassent la Terre en laissant une ombre que l'on aperçoit sur le côté droit de la photographie, alors que c'est une "onde de choc" que l'on peut voir à gauche.

# Un télescope spécial Pour l'étude des rayons cosmiques

Un télescope spécialement conçu pour étudier les rayons cosmiques balaie différentes parties de la voûte céleste afin de détecter des anisotropies ou des irrégularités qui nous aideraient à comprendre la formation des rayons cosmiques atteignant la Terre.

An artist's impression of the spiral path taken by a charged particle, such as a cosmic ray particle, as it encounters a magnetic field in outer space.



National Film Board/Office national du film

Représentation artistique de la trajectoire spiralée suivie par une particule chargée, comme celle d'un rayon cosmique, lorsqu'elle rencontre un champ magnétique dans l'espace interstellaire.

Lequel d'entre nous, en observant la voûte céleste par une nuit claire, ne s'est-il pas interrogé avec émotion sur la genèse et la finalité des mondes?

L'humanité n'a jamais cessé d'être hantée par des questions de cet ordre au cours de l'histoire et il aura fallu attendre notre génération et les progrès accomplis au cours de ce siècle pour qu'il soit possible de répondre à quelques-unes d'entre elles, non sans difficulté d'ailleurs car l'on ne peut y parvenir qu'après avoir accumulé de nombreuses données dont chaque élément est le résultat du perfectionnement d'un instrument astronomique.

Le télescope, utilisé pour la première fois par Galilée pour les observations astronomiques sérieuses, est le plus connu des instruments astronomiques puisqu'il représente un prolongement évident de la vue. Des instruments plus récents comme le radiotélescope ont été mis au point au cours de ce siècle et ont permis de découvrir des données surprenantes sur l'univers et de nouveaux corps célestes comme les quasars et les pulsars. Les plus mystérieuses sources d'informations interstellaires ne sont peut-être pas les différentes longueurs d'onde du rayonnement électromagnétique mais des particules élémentaires qui parcourent la galaxie avec de très grandes vitesses; nous voulons parler des rayons cosmiques. L'existence de ces rayons a été décelée pour la première fois en 1911 par V.H. Hess qui a fait d'intrépides ascensions en ballon dans l'atmosphère pour déterminer la nature d'un rayonnement ionisant observé sur Terre. Même de nos jours, et comme Hess avant eux, les astronomes s'interrogent sur l'origine de ce rayonnement.

En adaptant les détecteurs utilisés dans la recherche sur les particules élémentaires, il est devenu possible d'étudier scientifiquement les rayons cosmiques atteignant la Terre et d'essayer de trouver des réponses à plusieurs questions troublantes comme celles-ci: Quelles sont les origines de ces rayons? Quelles parties de notre galaxie ont-ils franchies? Que peuvent-ils nous apprendre sur les conditions existant au sein des étoiles en proie aux plus violentes convulsions et même sur la création de l'univers lui-même?

On ne peut guère répondre autrement à ces questions que par des hypothèses et cela contribue à conférer un grand intérêt aux recherches entreprises dans ce domaine. Quelle découverte révolutionnaire attend le scientifique qui atteindra le prochain tournant de cette recherche et qui pourrait en prédire la nature? Le Dr M. Bercovitch, de l'Institut Herzberg d'astrophysique, au Conseil national de recherches du Canada, est un scientifique qui a mis au point un instrument qui permettra, espère-t-on, de voir ce qui se trouve au-delà de ce "prochain tournant" de la recherche sur les rayons cosmiques et de découvrir les origines de ces intrus extraterrestres.

Les particules élémentaires constituant les rayons cosmiques ne sont pas en elles-mêmes inhabituelles car elles sont surtout composées de protons (le noyau de l'atome d'hydrogène) et de quelques noyaux plus lourds à charge positive mais ce qui étonne les scientifiques et les amène à penser que ces rayons pourraient avoir leur origine à des phénomènes violents, c'est leur énergie élevée. Une de ces hypothèses, qui a la faveur d'un grand nombre, est qu'ils prennent naissance au sein d'étoiles de très grande énergie comme, par exemple, les novae et les supernovae. On devrait donc, si l'hypothèse est bonne, s'attendre à détecter un influx plus important de rayons cosmiques provenant de ces régions du ciel où la densité stellaire est plus grande, c'est-à-dire du centre galactique, mais la nature semble vouloir décevoir cette attente et cela tient à l'essence même de "l'espace interstellaire". L'espace interstellaire n'est pas absolument vide puisqu'il renferme des champs magnétiques et des gaz. Les trajectoires des rayons cosmiques chargés électriquement sont défléchies lorsqu'elles traversent les champs magnétiques interstellaires et, en passant d'un champ à un autre, leur orientation est tellement perturbée qu'elle est pratiquement sans rapport avec le point d'origine. Il devrait néanmoins se produire un flux général de rayons cosmiques ayant le centre de la galaxie pour origine et qui serait parallèle au vaste champ magnétique galactique s'enroulant autour des bras en spirale de notre galaxie. Ce phénomène, où le

# cosmic ray telescope

fields within the solar system deflect the charged cosmic ray particles and produce a further smearing-out of any original anisotropies. The amount of deflection suffered by a charged particle moving in a magnetic field is inversely related to its momentum or energy. The interplanetary magnetic field is strong enough and extends over a large enough distance to completely scramble the trajectories of lower energy (say below 100 billion electron volts) cosmic rays as they wander through the solar system. It is only the higher energy particles that are relatively undeflected by the interplanetary field and bring with them information about the interstellar anisotropy. Unfortunately, the intensity of such high energy cosmic rays decreases drastically with increasing energy, and their effects are swamped by the arrival of the much more abundant low energy particles. The experimental problem then is to filter out the low energy particles so that their effects do not obliterate the anisotropy information brought to us by the high energy particles.

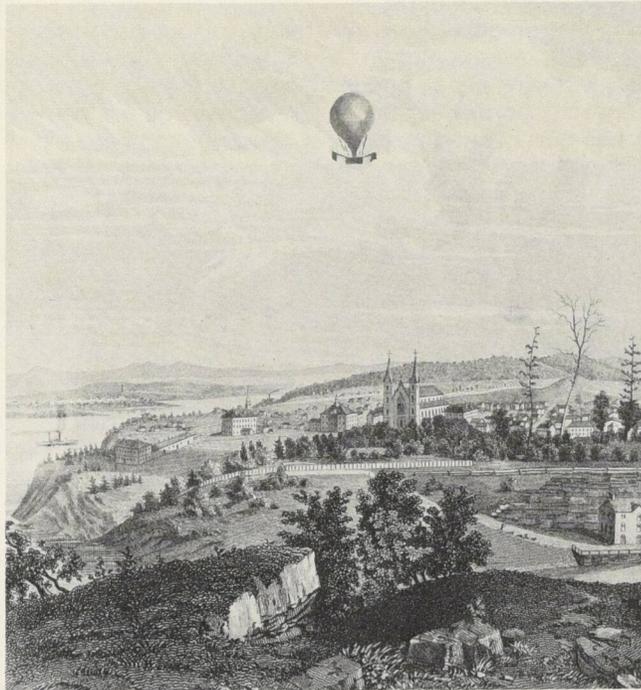
In order to understand how an effective cosmic ray filter is designed, it is first necessary to examine the process whereby cosmic rays reach the earth's surface. As the cosmic ray reaches the upper layers of the atmosphere, it undergoes a random sequence of collisions with nuclei of oxygen and nitrogen, imparting its energy to a relatively large number of secondary elementary particles. Of the several types of particles that result from these collisions, the "muons" are the most penetrating, and if produced with sufficient energy, have the greatest probability of reaching the earth's surface before dissipating their energy in further collisions. Thus a majority of the cosmic ray particles detected at altitudes near sea level are in fact the muon progeny of the incoming primary cosmic rays. If one wishes to deduce the arrival of the highest energy primary particles by recording high energy muon secondaries it is necessary to first filter out low energy secondaries. This can be done by interposing shielding material between the source of the particles and the detection apparatus. Because of the great penetrating power of the muons a large thickness of shielding is needed. A practical and economical way of obtaining the needed shielding is to locate the

detector underground. Indeed, over the past five to ten years, underground detectors have been operated in various countries in subway stations, railroad tunnels and mineshafts. However, even at depths of 70 feet (21 m) below the surface, no significant anisotropies have been detected. In recent years, more experimental information about the high energy nuclear collisions that give rise to the detected muons has led to the realization that yet greater depths are necessary to filter out the effects of the lower energy primary cosmic rays. Unfortunately, the price one must pay for going deeper is a lower muon intensity, and it is then necessary to scale up the size of the detector accordingly. At least one new large scale experiment is being set up at a depth of several hundred feet.

This strategy was Dr. Bercovitch's initial reaction. "We looked around at some local mines but all of them were fairly inhospitable places — wet, cold and cramped. They would have needed a lot of money to make them suitable for a large-scale experiment like ours," he says. But what is the alternative to placing the detector underground? Dr. Bercovitch continues: "We thought of other ways of filtering out the slower secondary cosmic ray and hit upon the idea of using the atmosphere itself. Here we are under several miles of atmosphere which is itself an absorber of particles. The filtering effect is not great enough if the particles happen to come straight down through the atmosphere, but if they come in at a grazing angle, near the horizon, then they must pass through far more of our atmosphere before reaching the earth's surface. We did a series of calculations and discovered that if we looked only at those particles which come in close to the horizon then they will contain a suitably high proportion of the high energy rays we are looking for."

This then is the basic idea behind Dr. Bercovitch's cosmic ray telescope, which uses a maximum path through the earth's atmosphere to filter out those cosmic rays which are perturbed by solar magnetic fields. By making measurements with the telescope pointing at different positions in the sky, his group hopes to detect any variation, or anisotropy, in the distribution of cosmic rays arriving from outer space. While the name "telescope" may conjure up

National Museum of Science & Technology/  
Musée national des sciences et de la technologie

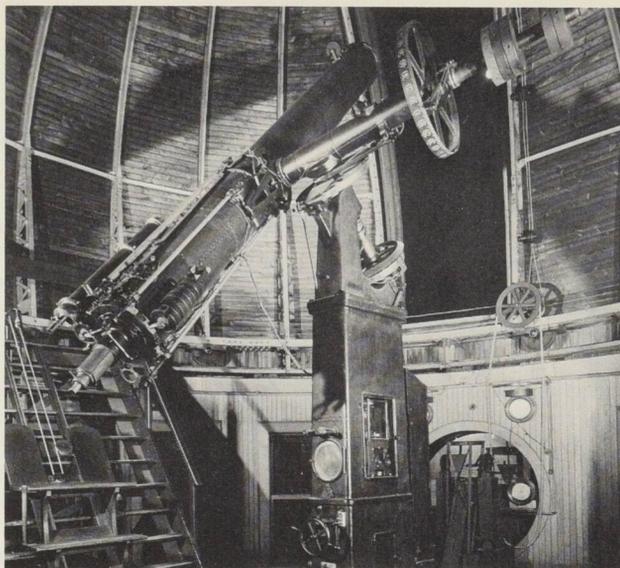


Early balloonists realized the potential of their vessels in making observations. Thaddeus S.C. Lowe, whose ascent from Ottawa in 1858 is illustrated here, made photographs of troop positions from his balloon during the American Civil War. In 1911, V.H. Hess discovered that an ionizing effect increased with altitude during balloon ascents and from this deduced the existence of cosmic rays whose origin must therefore lie outside the earth.

Les premiers aéronautes ont bien compris l'intérêt que présentaient leurs ballons pour les observations. Thaddeus S.C. Lowe dont l'ascension à Ottawa en 1858 est illustrée ici, a pris des photographies aériennes des positions occupées par des troupes au cours de la Guerre civile américaine. V.H. Hess a découvert en 1911 qu'un effet ionisant augmentait avec l'altitude au cours d'ascensions en ballon et il en a déduit l'existence de rayons cosmiques dont l'origine doit conséquemment être extraterrestre.

# un télescope spécial

A milestone in observational astronomy in Canada was reached with the construction of the 15-inch equatorial telescope. This refracting telescope was installed in 1905 at the Dominion Observatory in Ottawa. Today, telescopes utilize not only visible light but radio waves, infrared radiation, cosmic rays and even gravitational radiation.



National Museum of Science & Technology/  
Musée national des sciences et de la technologie

Le Canada a franchi une étape importante de l'astronomie optique avec la construction d'un télescope de 15 pouces à monture équatoriale. Ce télescope à réfracteur a été installé en 1905 à l'Observatoire fédéral, à Ottawa. Aujourd'hui, les télescopes utilisent non seulement la lumière visible mais aussi les ondes radio, les radiations infrarouges, les rayons cosmiques et même les rayonnements gravitationnels.

rayonnement provenant d'une direction est plus intense que celui provenant d'une autre direction est connu sous le nom d'anisotropie.

Jusqu'à ce jour aucune expérience incontestée n'a permis de déceler une anisotropie par rapport à la galaxie dans le rayonnement cosmique atteignant la Terre. Cela signifie-t-il donc que les scientifiques devraient abandonner leur actuelle hypothèse sur l'origine des rayons cosmiques? Pas encore, car les rayons subissent une autre influence en pénétrant dans le système solaire. Des particules chargées sont continuellement éjectées à grande vitesse de la surface solaire et les planètes sont en quelque sorte "arrosées" par ce flux particulaire constituant ce que l'on appelle le "vent solaire" auquel sont associés des champs magnétiques qui, sous l'action de la rotation du Soleil, subissent une torsion ou "sont enroulés" à la manière d'un fil sur une bobine. Ces champs magnétiques spiralés de notre système solaire défléchissent les particules chargées des rayons cosmiques et contribuent à augmenter le brouillage des anisotropies d'origine qui pourraient être décelées. La déflexion subie par une particule chargée se mouvant dans un champ magnétique est inversement proportionnelle à sa quantité de mouvement, c'est-à-dire à son énergie. Le champ magnétique interplanétaire est suffisamment fort et s'étend suffisamment loin dans l'espace pour brouiller totalement les trajectoires des rayons cosmiques de faible énergie (disons inférieure à 100 milliards d'électrons-volts) au cours de leur voyage dans le système solaire. Seules les particules de haute énergie ne sont pratiquement pas défléchies par le champ interplanétaire et véhiculent des informations sur l'anisotropie interstellaire. Malheureusement, l'intensité de ces rayons cosmiques d'énergie élevée décroît considérablement à mesure que leur énergie augmente et leurs effets sont noyés par l'arrivée en beaucoup plus grande abondance des particules de faible énergie. Le problème est donc, sur le plan expérimental, d'éliminer par filtrage les particules de faible énergie de sorte que leurs effets n'oblitérent pas l'information anisotropique que nous apportent les particules de haute énergie.

Pour comprendre la manière dont est conçu un filtre efficace de rayons cosmiques, il est d'abord nécessaire d'examiner le processus selon lequel le rayonnement cosmique atteint la surface terrestre. Lorsque les rayons cosmiques atteignent les couches supérieures de l'atmosphère, ils sont soumis à une séquence aléatoire de collisions avec des noyaux d'oxygène et d'azote en impartissant leur énergie à un nombre relativement élevé de particules élémentaires secondaires. Parmi les différents types de particules résultant de ces collisions, les "muons" sont les plus pénétrants et s'ils sont produits avec une énergie suf-

fisante ils recèlent la plus grande probabilité d'atteindre la surface terrestre avant que leur énergie ne soit dissipée par d'autres collisions. Ainsi donc, pour la majorité, les particules cosmiques détectées à des altitudes proches du niveau de la mer sont en fait la composante muonique du rayonnement cosmique primaire qui atteint notre planète. Si l'on souhaite n'enregistrer que l'arrivée des particules primaires les plus énergiques, il est nécessaire d'éliminer par filtrage les particules muons secondaires de faible énergie. On y parvient en interposant un blindage entre la source des particules et le détecteur, blindage qui, en raison de la grande puissance de pénétration des muons doit être très épais.

Le moyen pratique et économique de réaliser le filtrage recherché est de placer le détecteur sous terre. De fait, au cours des cinq à dix dernières années, divers pays ont placé des détecteurs dans des stations de métro, des tunnels ferroviaires et des puits de mines. On n'a cependant détecté aucune anisotropie importante même à des profondeurs de 70 pieds (21 m) sous terre.

Plus récemment, des données expérimentales complémentaires sur les collisions nucléaires de haute énergie donnant naissance aux muons détectés ont conduit à la conclusion qu'il était nécessaire de travailler à des profondeurs encore plus grandes pour filtrer les effets du rayonnement cosmique primaire de faible énergie. Malheureusement, l'intensité des muons diminue avec l'accroissement de la profondeur et il est donc aussi nécessaire d'augmenter les dimensions du détecteur. Au moins une expérience à grande échelle est actuellement en cours de préparation à une profondeur de plusieurs centaines de pieds.

C'est cette stratégie qui s'est tout d'abord présentée à l'esprit du Dr Bercovitch à qui nous laissons la parole: "Nous avons inspecté quelques mines locales mais toutes se sont révélées assez inhospitalières, humides, froides et exigeuses et il aurait fallu dépenser beaucoup d'argent pour qu'elles se prêtent à une expérience à grande échelle comme la nôtre." Mais existe-t-il d'autres solutions que de placer des détecteurs sous terre? Le Dr Bercovitch poursuit: "Nous avons envisagé d'autres moyens pour éliminer par filtrage le rayonnement cosmique secondaire de plus faible énergie et l'idée nous est venue d'utiliser l'atmosphère elle-même qui, ayant plusieurs milles d'épaisseur, constitue en elle-même un absorbeur de particules. L'effet filtrant est insuffisant si les particules reçues traversent verticalement l'atmosphère mais si elles arrivent sous un angle rasant, près de l'horizon, elles doivent alors traverser une épaisseur atmosphérique bien plus considérable avant d'atteindre la surface terrestre. Nous avons fait une série de calculs et

# cosmic ray telescope

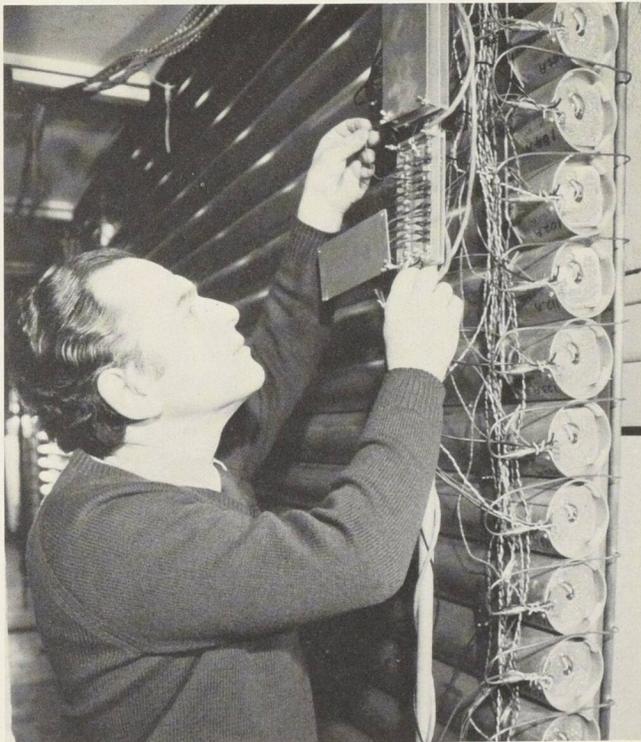
the idea of an instrument which focusses radiation into an image, this is not the case with Dr. Bercovitch's installation. In fact, it is designed to determine the direction of arrival of each particle and count the total number of particles arriving at the telescope from each of the several directions in a given time. The telescope consists of banks of detectors arranged in three vertical parallel walls each containing 320 detectors. Each detector works somewhat like a Geiger counter and consists of a metal tube filled with a mixture of argon and methane and contains a fine metal wire stretched along its axis. A muon which enters the tube has the effect of detaching electrons from the gas atoms. By maintaining an electrical potential between the tube and wire, the free electrons produce a small electrical current which is amplified and input to a computer. When a particle travelling close to the horizon encounters the telescope, it will pass through a detector in the first bank and register an electrical current. Continuing its path, it then excites a detector in the second bank before leaving the telescope via a detector in the third and final bank. By noting which detector in each bank has been activated by the particle, the telescope's computer possesses three geometric points from which it may compute the straight line trajectory of the cosmic ray particle. Following this simple calculation, the event is recorded in the computer memory at a particular "address". Any subsequent trajectory which passes through the same three detectors is also stored at this address. In this fashion the number of particles arriving from each particular direction is counted. The telescope also possesses an additional filtering mechanism to eliminate the recording of spurious events which may originate, for example, in local "background" radiation on earth. A concrete wall is placed between each bank of detectors to filter out such particles. A background particle of low energy which happens to pass through one of the banks of detectors will then be absorbed by a concrete wall and fail to activate any other detector. The computer is therefore programmed to accept, as evidence of the passage of a cosmic ray, only pulses which are registered at the same time from three

detectors, one from each of the three banks, which lie in a straight line.

The orientation of the telescope is such that it registers particles arriving over the eastern and western horizons hence its banks point north-south. At any time therefore, the telescope is detecting particles which come from two opposite directions in the sky, from the east and from the west. This proves to be one of the most attractive features of the telescope because it continually compares the counting rates from these opposite directions. If any error happens to develop in the performance of the apparatus and causes its efficiency to "drift", then this drift will be the same for the detection of rays from the two opposite directions. Therefore, while the absolute counting rate could be disturbed, the ratio of counting rates from the two directions will compensate for this error. However, so many additional safeguards are built into the design of the telescope that it is unlikely for drifts and errors to go undetected. Electrical monitors installed in the instrument are controlled by the computer so that each feature of the telescope is checked periodically. Any fluctuation in the performance of the detectors, the electronics or even the properties of the gas within the detectors, is noted by the computer which then activates an alarm to warn the scientists who operate the experiment.

The telescope, therefore, is both accurate and reliable in detecting and determining the arrival directions of high energy cosmic rays which reach the earth's surface. The counting rate for particles arriving from various directions in outer space is recorded and, as the earth rotates, a segment of the sky is swept out by each "arm" of the telescope. By monitoring the arrival of cosmic rays for about one year, Dr. Bercovitch will be in possession of sufficient data to perform statistical analysis on counting rates and detect any anisotropies or other anomalies. This carefully-designed instrument, which has built into it a monitor for detecting its own error, will one day help to answer the question "where do cosmic rays come from?" □

**David Peat**



Dr. M. Bercovitch makes an adjustment to one of the detector tubes. A single array of these tubes can be seen together with the concrete separating wall.

Le Dr M. Bercovitch ajuste l'un des tubes-détecteurs. On peut voir une batterie de ces tubes avec le mur de séparation en béton.

# un télescope spécial

An important feature of the cosmic ray telescope is the constant monitoring of all its elements by a central computer. Here, the nerve endings from the telescope enter a processing unit.



Une des importantes caractéristiques du télescope spécialement conçu pour étudier les rayons cosmiques est le contrôle permanent de tous ses éléments par un ordinateur central. Les terminaisons nerveuses du télescope entrent ici dans une unité de traitement.

découvert que si nous nous contentions d'étudier uniquement les particules entrant près de l'horizon, nous y trouverions alors une proportion suffisamment élevée de ces rayons de haute énergie qui nous intéressent."

Telle est l'idée qui se trouve à la base du télescope à rayons cosmiques du Dr Bercovitch, faisant intervenir un trajet maximal à travers l'atmosphère terrestre pour éliminer par filtrage les rayons cosmiques affectés par les champs magnétiques solaires. En faisant des mesures avec le télescope dirigé sur différents points du ciel, le Dr Bercovitch et ses collaborateurs espèrent déceler toute variation, ou anisotropie, dans la répartition des rayons cosmiques arrivant de l'espace intersidéral. Bien que le nom de "télescope" puisse faire jaillir à l'esprit l'idée d'un instrument qui convertit le rayonnement en image, ce n'est pas le cas avec l'installation du Dr Bercovitch car elle a été conçue pour déterminer de quelle direction arrive chaque particule et faire la somme des particules parvenant au télescope de chacune de plusieurs directions en un temps donné. Le télescope est constitué de plusieurs rangées de détecteurs disposés dans trois murs parallèles et verticaux en contenant chacun 320. Ces détecteurs fonctionnent un peu à la manière des compteurs Geiger et sont constitués d'un tube métallique rempli d'un mélange d'argon et de méthane et d'un fil métallique très fin tendu en son centre. Un meson  $\mu$  entrant dans le tube a pour effet d'arracher des électrons aux atomes de gaz. En maintenant un potentiel électrique entre le tube et le fil métallique, les électrons libres produisent un faible courant électrique qui est amplifié et dirigé sur un ordinateur. Lorsqu'une particule se déplaçant près de l'horizon rencontre le télescope, elle passe dans l'un des détecteurs de la première rangée et donne naissance à un courant électrique. Poursuivant sa trajectoire, elle excite ensuite l'un des détecteurs de la deuxième rangée avant de sortir du télescope en passant dans l'un des détecteurs de la troisième et dernière rangée. En identifiant le détecteur de chaque rangée qui a été activé par la particule, l'ordinateur du télescope traite trois points géométriques à partir desquels il peut calculer la trajectoire rectiligne de la particule du rayon cosmique. Après ce calcul simple, l'événement est enregistré dans la mémoire d'un ordinateur à une "adresse" particulière. Toute trajectoire ultérieure traversant ces trois détecteurs est également mise en mémoire à cette adresse. De cette manière le nombre de particules arrivant de chaque direction donnée est compté. Le télescope est également équipé d'un système de filtrage supplémentaire pour éliminer l'enregistrement de phénomènes parasites pouvant avoir pour origine, par exemple, le rayonnement terrestre local "ambient". Un mur en béton sépare chaque rangée de détecteurs pour filtrer ce type de particules. De cette manière toute particule ambiante

de faible énergie traversant l'une des rangées de détecteurs sera absorbée par un mur en béton et ne pourra pas activer un autre détecteur. L'ordinateur est donc programmé pour n'accepter comme preuve du passage d'un rayon cosmique que les impulsions qui sont enregistrées simultanément par trois détecteurs alignés, chacun de ces détecteurs faisant partie de l'une des trois rangées.

Le télescope est orienté de telle façon qu'il enregistre les particules arrivant des horizons est et ouest et ses rangées de détecteurs ont donc une orientation nord-sud. Ainsi, il permet de détecter à n'importe quel moment les particules provenant de deux directions opposées dans le ciel, de l'est et de l'ouest. C'est là l'une des plus intéressantes caractéristiques du télescope parce qu'il compare continuellement les taux de comptage de ces deux directions opposées. Advenant un mauvais fonctionnement de l'appareil entraînant une "dérive" de sa précision, cette dérive serait de cette façon la même pour la détection de rayons provenant des deux directions opposées. Par conséquent, bien que le taux de comptage absolu puisse être perturbé, le rapport des taux de comptage des deux directions compensera cette erreur. Toutefois, on a introduit un tel nombre de sécurités supplémentaires dans la conception du télescope qu'il est improbable que des dérives ou des erreurs passent inaperçues. Les capteurs électriques placés dans l'instrument sont pilotés par l'ordinateur de sorte que chaque fonction du télescope est contrôlée périodiquement. Toute fluctuation dans le fonctionnement des détecteurs, des dispositifs électroniques ou même dans les propriétés du gaz des détecteurs, est enregistrée par l'ordinateur qui déclenche alors un signal d'alarme pour prévenir les scientifiques procédant à l'expérience.

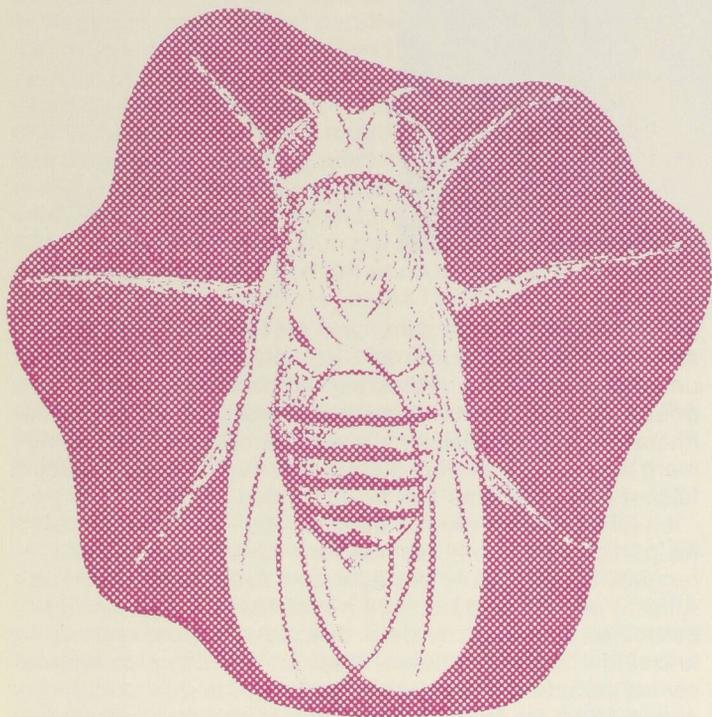
Le télescope est donc à la fois précis et sûr en ce qui concerne la détection et la détermination des directions d'arrivée des rayons cosmiques de haute énergie atteignant la surface terrestre. Le taux de comptage des particules arrivant de différentes directions de l'espace intersidéral est enregistré et à mesure que la Terre tourne, un segment du ciel est balayé par chaque "bras" du télescope. Après avoir étudié l'arrivée des rayons cosmiques pendant environ une année, le Dr Bercovitch disposera d'une somme de données suffisante pour faire une analyse statistique basée sur les taux de comptage et détecter toute anisotropie ou autre anomalie. Cet instrument soigneusement étudié qui est muni d'un dispositif assurant la détection de ses propres erreurs devrait nous aider un jour à découvrir l'origine des rayons cosmiques. □

Texte français: **Claude Devismes**

David Suzuki -

# "Chromosome mechanic" at work

Dr. David Suzuki has developed a number of unusual fruit fly mutants in his University of British Columbia genetics laboratory. These "temperature-sensitive" mutants are invaluable to studies of fly behavior.



For David Suzuki, dropping a paralyzed fruit fly into a cooled jar and watching it take wing before hitting the bottom is a consummate expression of his own special art form. Science, after all, is comparable to art in its creative aspects, and geneticist Suzuki spent some six years "creating" temperature-sensitive flies despite suggestions that such mutants were nothing more than an impractical, albeit imaginative, idea. The unusual "ts-mutants", which are normal at 22°C but become paralyzed when the temperature is raised a mere seven degrees to 29°C, promise new insights into neurological disorders, and have moved Suzuki's University of British Columbia laboratory into the forefront of the quest to relate mutational changes to their genetic base.

In looking back over the events that led to these mutant flies, Dr. Suzuki, now 39 and a professor of Zoology at the University of British Columbia (UBC), recalls what decided him on genetics while still an undergraduate at Amherst College, Massachusetts, during the 1950's. It was the discovery by James Watson and Francis Crick of the

molecular structure of the genetic material DNA (deoxyribonucleic acid), one of the most important landmarks in the history of biology.

"The beauty of the model blew my mind," he says. "In one elegant stroke the winding double helix of DNA provided a molecular explanation for chromosome duplication in dividing cells and all the other characteristics of the genetic material."

Genetics became the focus of his attention thereafter, especially the molecular nature of chromosome behavior, and the organism he chose to study was *Drosophila melanogaster*, more commonly known as the fruit fly. *Drosophila*, standing about half way between a bacterium and a human in gene number and complexity, was already well studied and ideal for the kinds of experiment Suzuki had in mind.

"When I came to UBC," he explains, "I wanted to study the behavior of DNA in cell development, the way it condenses into chromosomes during cell division and how its function is controlled and integrated."



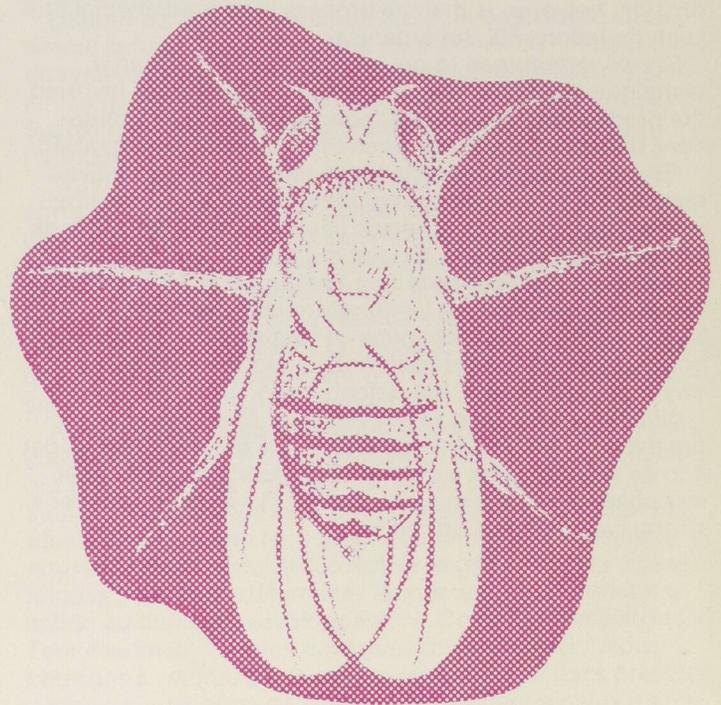
Changes — Dr. David Suzuki as a graduate student in the early sixties (left) and as the host of this year's CBC television series *Science Magazine*.

University of British Columbia/  
Université de la Colombie britannique

David Suzuki -

# “Mécanicien de chromosomes” au travail

Le Dr David Suzuki a créé des mutants “thermosensibles” de la Mouche du vinaigre dans son laboratoire de génétique de l'Université de la Colombie britannique. Ceux-ci sont précieux pour étudier le comportement des mouches.



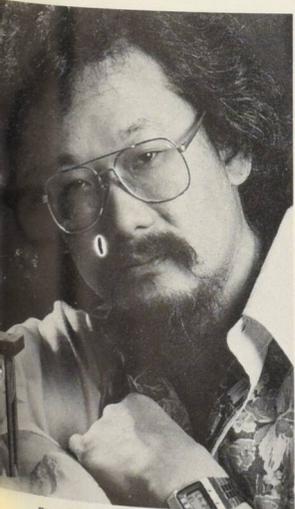
Pour David Suzuki, laisser tomber une Mouche du vinaigre paralysée dans un bocal refroidi et la regarder voler avant qu'elle n'en atteigne le fond, c'est l'expression parfaite d'un art dont la forme lui est toute personnelle. La science est après tout comparable à l'art dans ses aspects créatifs et le généticien Suzuki a consacré environ six années à “créer” des mouches thermosensibles en dépit de certaines insinuations qui voulaient laisser entendre que de tels mutants ne représentaient rien de plus qu'une idée sans lendemain, aussi originale qu'elle puisse paraître. Ces inhabituels mutants “ts”, normaux à 22°C mais qui deviennent paralysés lorsque la température est augmentée de quelque sept degrés pour atteindre 29°C, promettent de nouveaux progrès dans la compréhension des troubles neurologiques et ont propulsé le laboratoire de Suzuki, à l'Université de la Colombie britannique, à l'avant-garde de la recherche entreprise pour établir un lien entre les mutations et leur origine génétique.

Jetant un regard rétrospectif sur les événements qui ont conduit à ces mutants, le Dr Suzuki, maintenant âgé de

39 ans et professeur de zoologie à l'Université de la Colombie britannique (UBC), se souvient de ce qui l'a orienté vers la génétique alors qu'il était encore étudiant du 1<sup>er</sup> cycle à l'“Amherst College”, dans le Massachusetts, pendant les années cinquante. C'est la découverte par James Watson et Francis Crick de la structure moléculaire du matériel génétique ADN (acide désoxyribonucléique), l'un des plus importants jalons de l'histoire de la biologie.

“J'ai été littéralement subjugué par la beauté du modèle”, dit-il, ajoutant: “D'un seul élan gracieux la double hélice d'ADN nous donnait une explication moléculaire de la duplication chromosomique pendant la division cellulaire et toutes les autres caractéristiques du matériel génétique.”

C'est à partir de ce moment-là que la génétique a capté toute son attention, notamment la nature moléculaire du comportement chromosomique, et l'organisme qu'il a choisi d'étudier était *Drosophila melanogaster*, plus généralement connu sous le nom de Mouche du vinaigre. Cet organisme, qui se situe à mi-chemin entre une bactérie et un être humain du point de vue de la complexité et du



**Mutations** — Le Dr David Suzuki, alors qu'il était étudiant de 2<sup>ème</sup> cycle au début des années soixante (à gauche) et comme animateur de l'actuelle série d'émissions scientifiques télévisées présentées par Radio-Canada dans le cadre de son programme “Science Magazine”.

Fred Phipps, Canadian Broadcasting Corporation/Société Radio-Canada

# David Suzuki

The geneticist approaches this problem by introducing mutations into the organism's genetic material and then observing the kinds of defect that show up in the normal sequence of development. These changes are then related back to the mutation (or alteration) in the genes.

The problem with introducing defects that alter cell division, however, is that the process is so fundamental that such mutations kill the organism.

Suzuki determined to get around this by utilizing a technique already widespread in bacteriology that involved the production of so-called "conditional defects", mutations that showed up only when the temperature was raised.

"Bacteria people develop these temperature-sensitive bugs by using a mutation-inducing chemical called ethyl methanesulfonate (EMS) which causes a single base change in the bacterial DNA — a point mutation if you like. Such a 'missense' change leads to a protein molecule in the bug that is very sensitive to temperature change. This 'thermolabile' protein changes its shape as the temperature goes up and no longer performs its biochemical task the way it should. Hence, the defect shows up."

While it is one thing to get this kind of mutation in an organism as simple as a bacterium, it is quite another to get it in as sophisticated a system as *Drosophila*, a fact that was pointed out to him early. Suzuki, however, was never a strong proponent of orthodoxy.

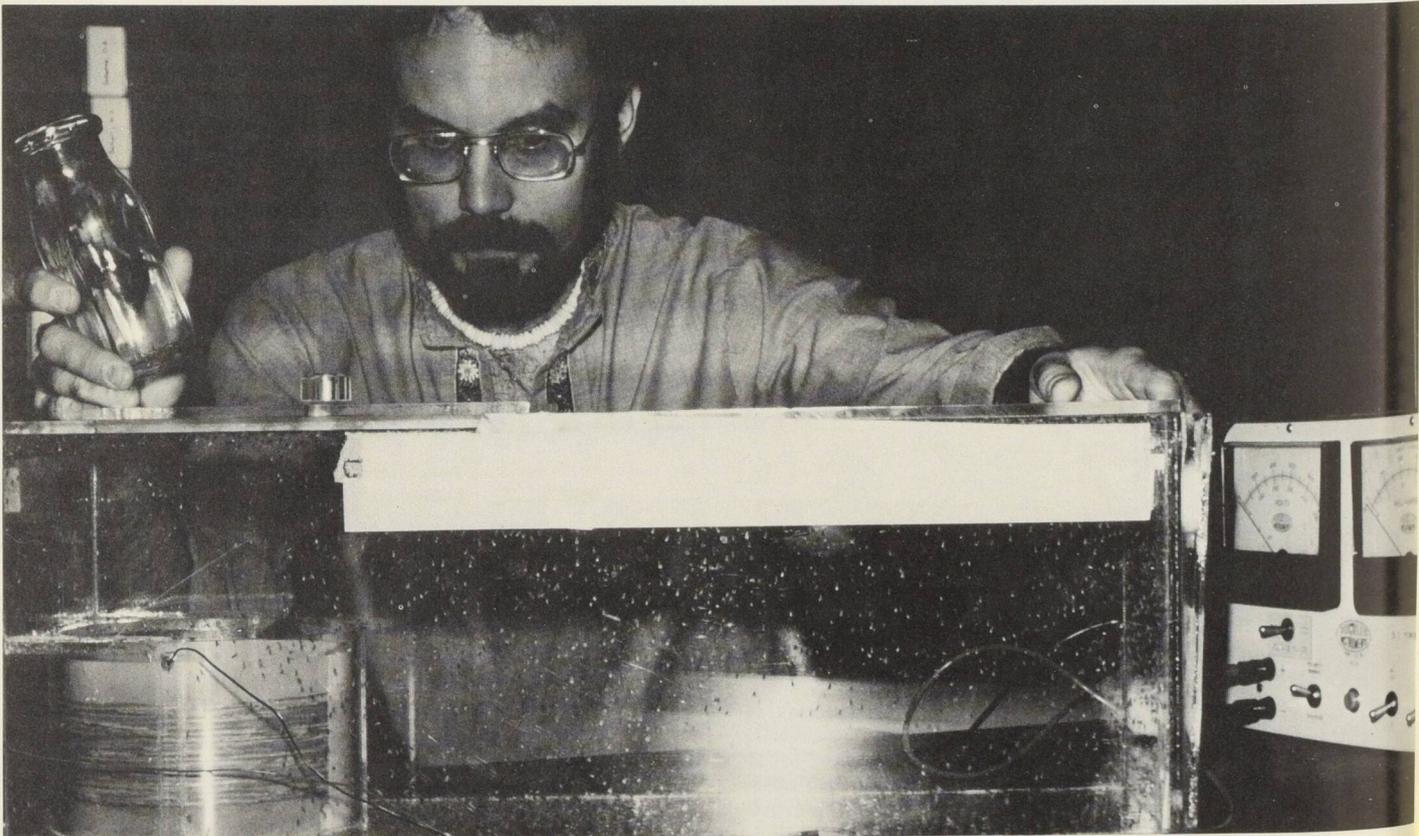
"What we did was feed the EMS chemical to fruit flies, mate them, and screen their progeny for ts-mutants. We figured to treat about 5,000 chromosomes, and if it didn't work, then we'd forget it. It turned out, however, that they fell out by the bucket. Out of 100 flies, we now get from six to ten mutants."

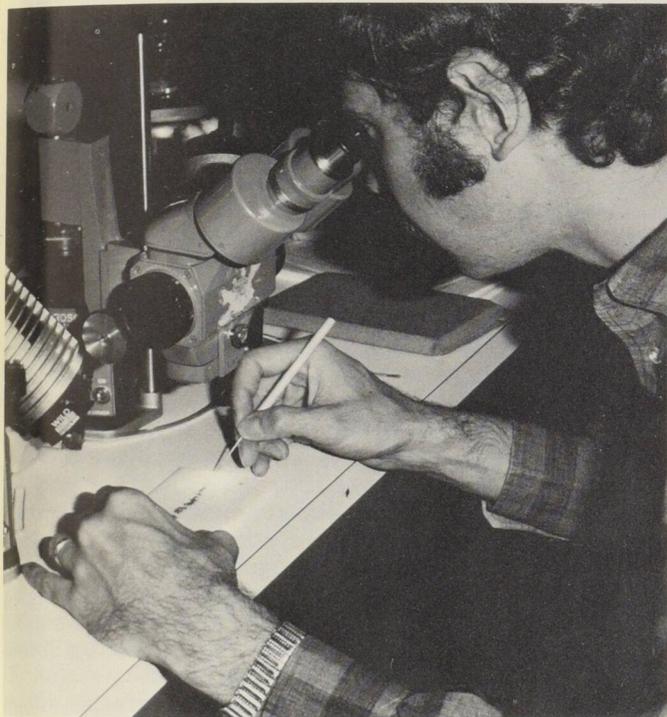
Over the next few years, Suzuki and coworkers Dr. Leonie Piternick and Dr. Tom Grigliatti "cleaned up" the ts-mutants and used them to study the growth and development of *Drosophila*. Because a mutant fly dies at higher temperatures when the ts-gene is switched on, the scientists could tell when it operated during development. As Dr. Tom Kaufman, one of Suzuki's colleagues tells it, "we could produce a ts-mutation in practically any *Drosophila* gene we cared to, thereby permitting a study of how specific genes behave during the fly's life. We found for example that some genes switch on and off periodically during development while others act only once. The real surprise were the genes that governed more than one activity. We found instances where a gene performed different jobs, depending on the tissue and the time that it was expressed."

In all of these mutations, however, Suzuki had still not shown that any of them compared in simplicity to the bacterial ts-mutants. That is, none involved a DNA point mutation that gave rise to a protein which was defective at higher temperatures.

Dr. Tom Kaufman examines a special apparatus designed at the UBC laboratory to isolate flightless mutant flies.

Le Dr Tom Kaufman examine un appareil spécial conçu au laboratoire de l'UBC pour isoler les mouches mutantes qui ne peuvent voler.





Dr. Ted Homyke, a postdoctoral fellow in Dr. Suzuki's genetics laboratory, examines fruit fly specimens under the light microscope.

Le Dr Ted Homyke, boursier postdoctorat travaillant dans le laboratoire de génétique du Dr Suzuki, examine des spécimens de Mouches du vinaigre avec un microscope.

nombre de gènes, avait déjà été bien étudié et était idéal pour le genre d'expériences que Suzuki envisageait.

Écoutons-le: "Lorsque je suis entré à l'UBC, je voulais étudier le comportement de l'ADN dans le développement cellulaire, la façon dont il se condense en chromosomes au cours de la division cellulaire et comment son rôle est contrôlé et intégré."

Les généticiens attaquent ce problème en induisant des mutations dans le matériel génétique de l'organisme et en étudiant ensuite le caractère des anomalies qui apparaissent dans la séquence normale de développement. Après quoi, ils établissent les liens existant entre ces changements et la mutation (ou modification) induite dans les gènes.

L'ennui c'est qu'en provoquant des anomalies qui modifient la division cellulaire, ces mutations tuent l'organisme par suite de la nature particulièrement fondamentale du processus.

Suzuki est parvenu à surmonter ces difficultés en utilisant une technique très répandue en bactériologie et qui fait intervenir la production de ce que l'on appelle des "anomalies conditionnelles", c'est-à-dire des mutations qui n'apparaissent que lorsque l'on augmente la température.

Le Dr Suzuki nous l'explique: "Les bactériologistes créent ces insectes thermosensibles en se servant d'un mutagène chimique, le sulfonate d'éthyle-méthane (ethyl methane-sulfonate ou EMS) qui provoque le changement d'une seule base dans l'ADN bactérien ou, si vous préférez, une

mutation ponctuelle. Un tel changement conduit à la formation dans l'insecte d'une molécule protéinique dont la sensibilité aux variations de température est très élevée. La forme de cette protéine "thermolabile" évolue à mesure que la température s'élève et, la protéine ne remplissant plus les fonctions biologiques qui lui sont dévolues, l'anomalie apparaît."

Obtenir ce type de mutation dans un organisme aussi simple qu'une bactérie est une chose mais de l'obtenir dans un système aussi complexe que *Drosophila* en est une autre et l'on avait attiré son attention sur ce point dès le début. Suzuki n'a cependant jamais été un partisan forcené de l'orthodoxie.

"Voici," nous a-t-il dit, "comment nous avons procédé: après avoir nourri des Mouches du vinaigre avec de l'EMS, nous les avons fait s'accoupler et nous avons examiné leur progéniture pour identifier les mutants "ts". Nous avons calculé qu'il nous faudrait traiter environ 5 000 chromosomes et décidé que si le résultat escompté n'était pas obtenu nous en resterions là. Eh bien, c'est par seaux entiers que nous les avons ramassés et nous obtenons maintenant six à dix mutants sur 100 mouches."

Au cours des quelques années qui ont suivi, Suzuki et ses collaborateurs, le Dr Leonie Piternick et le Dr Tom Grigliatti ont caractérisé les mutants "ts" et les ont utilisés pour étudier la croissance et le développement de *Drosophila*. Étant donné qu'une mouche mutante meurt aux températures élevées lorsque l'on active le gène "ts", les scientifiques pouvaient déterminer le moment où il entrait en action au cours du développement. Comme le précise le Dr Tom Kaufman, l'un des collègues du Dr Suzuki: "Nous pouvions à volonté produire une mutation "ts" dans presque n'importe quel gène de *Drosophila*, rendant ainsi possible l'étude du comportement de gènes spécifiques au cours de la vie de la mouche. Nous avons constaté, par exemple, que certains gènes s'activent et se désactivent périodiquement au cours du développement alors que d'autres n'entrent en action qu'une seule fois. Les gènes qui nous ont réellement surpris sont ceux qui présidaient à plus d'une activité. Nous avons observé des cas où un gène s'acquittait de différentes fonctions selon le tissu et le moment où il était exprimé."

Suzuki n'avait cependant pas encore montré que n'importe laquelle de ces mutations pouvait être comparée aux mutants "ts" bactériens sur le plan de la simplicité. Autrement dit, aucune d'entre elles n'impliquait une mutation ponctuelle de l'ADN conduisant à une anomalie protéinique aux températures élevées.

Quel genre de protéine ayant des propriétés thermiques la rendant accessible à une étude biochimique devait-il chercher et comment l'anomalie se manifesterait-elle?

La réponse, suggérée en partie par un ami de l'Université Rockefeller, à New York, a été très simple: une protéine musculaire. La mouche en possède de grandes quantités dans les muscles de ses pattes et dans ceux qu'elle utilise pour voler. Rétrospectivement, Suzuki s'étonne que l'idée ne lui soit pas venue plus tôt. Si la protéine musculaire présentait soudainement une anomalie aux températures élevées, la mouche s'écraserait paralysée!

"Nous nous sommes attelés à la tâche et nous avons mis au point une technique pour identifier les mouches paralysées thermosensibles. Les mouches traitées avec le mutagène EMS ont été placées dans une boîte spéciale soumise à une température élevée; nous en avons ensuite retiré les mouches paralysées et nous les avons ramenées à des températures normales. Après quoi, on a provoqué l'accouplement de celles qui avaient récupéré pour voir si le gène pouvait être transmis," nous a dit le Dr Suzuki.

Après plusieurs mois de travail et l'examen de plus de

# David Suzuki

What kind of protein could he look for whose thermal properties could be studied biochemically, and how would the defect manifest itself?

The answer, suggested in part by a friend at Rockefeller University in New York, was simple — muscle protein. The fly has gobs of it in its leg and flight muscles. In retrospect, Suzuki is amazed the idea did not occur to him sooner. If the muscle protein became defective at higher temperatures, the fly would fall down paralyzed!

"We went to work and developed a technique for detecting temperature-sensitive paralytic flies," explains Dr. Suzuki. "Flies treated with the EMS mutagen were placed in a special box at a high temperature, the paralyzed ones selected out and brought back to normal temperatures. Those that recovered were then mated to see if the gene could be passed on."

After months of work and the screening of over three quarters of a million flies, the scientists found a single specimen that matched the predicted model.

"And it was sensational," recalls Suzuki. "It flew about at 22°C, ran around normally, and so on; but when the temperature was raised to 29°C — in less than a second it was paralyzed. When it was dropped into a cool vial though, it was flying again before it hit the bottom. The induction and reversal of paralysis was instantaneous, just the sort of

thing you'd expect from a heat-sensitive muscle protein."

There could be no question but that the mutation involved a change in some pre-formed molecule; it was simply too fast for the *de novo* production of some defect in cellular chemistry.

But, as Suzuki was well aware, there were other explanations for this reversible paralysis. If, for example, the defect was due to a blockage in signals from the brain to the muscles — a nerve defect — the same thing could happen.

That this was indeed the case was borne out in experiments that utilized a vast store of genetic tricks developed for *Drosophila* over the years.

"Genetically, we can build a fly called a mosaic," explains Dr. Suzuki, "one that is made up of two different kinds of cell — normal and mutant. By making specific parts of a fly's body of mutant tissue, the head, thorax, legs, and so forth, we can determine which parts are involved in paralysis at high temperatures. It's roughly analogous to exchanging the parts of a defective car, one at a time, until you find the part that doesn't work. Call us 'chromosome mechanics' rather than auto mechanics if you like." As it turned out, the regions that controlled the mutant fly's ability to move were the brain and three large clusters of nerve cells (ganglia) involved in leg movement. Plainly, it was a defect in the neural tissue.

Suzuki describes the finding as one of the best experiences of his life. Though it didn't involve muscle, the nerve mutant made it possible for them to study the behavioral aspects of *Drosophila* and, by extrapolation, to shed light on neural defects in general.

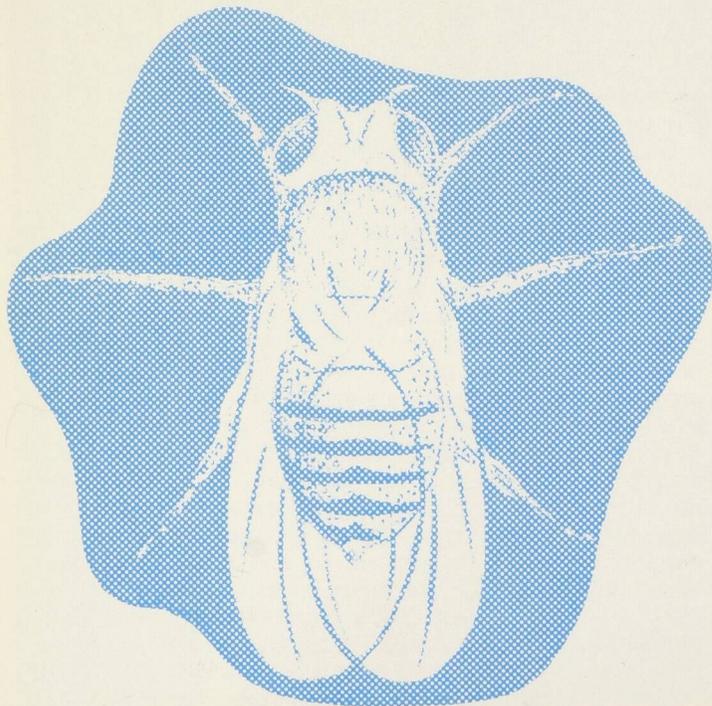
Eventually, the laboratory screened close to 1.8 million flies and found three kinds of temperature-sensitive mutant. Genetic analysis showed that all the DNA changes were located in three different areas of the *Drosophila* sex chromosome.

In addition to these, other mutants displaying a variety of behavioral defects not tied to temperature were discovered. One type is shocked into paralysis simply by banging the fly container. Another has "tired blood", becoming easily exhausted. Still another staggers drunkenly, lacking leg coordination. In fact, this screen for nerve mutants has led to the introduction of a host of weird new names to the geneticist's lexicon of *Drosophila* mutants — Wobbly, Stoned, Shibre, Shaker, Shudder, and Hyperkinetic. The family of nerve mutants is an excellent laboratory tool and places the UBC scientists alongside American researchers in the investigation of *Drosophila* behavior. Equally important, it gives them an unprecedented opportunity to study the way in which the nervous system interrelates with fly development.

"At the start, the search for these mutants was chancy," Dr. Suzuki points out. "We could have been travelling up a blind alley. And this is where the granting policy of the National Research Council of Canada shows its real strength. They provided support to me all along without specifying directions — all they required was that I do good research."

Despite the success of the nerve mutants and a life style that has expanded to include science communication in the media, David Suzuki still searches for the elusive fly that started it all — the mutant afflicted with a heat-sensitive protein. As a scientist he recognizes that nature sets its own limits on genetic diversity. As an artist however, he envisions a screening process, perhaps just beyond the next flash of experimental ingenuity, when a *Drosophila's* flight will suddenly be cut short in the rising heat, its wings locked by a muscle protein gone wrong. □

**Wayne Campbell**



750 000 mouches, les scientifiques n'ont trouvé qu'un seul spécimen correspondant au modèle prévu.

"Et ce spécimen était sensationnel," de dire Suzuki. "Il volait à environ 22°C, se déplaçait normalement et ainsi de suite, mais lorsque la température passait à 29°C il tombait paralysé en moins d'une seconde. Cependant, lorsqu'on le laissait choir dans un bocal refroidi il reprenait son vol avant d'en atteindre le fond. L'induction et l'abolition de la paralysie étaient instantanées, exactement ce à quoi il fallait s'attendre de la part d'une protéine musculaire thermosensible."

Il ne pouvait y avoir aucun doute que la mutation impliquait un changement dans une molécule préformée donnée; elle était simplement trop rapide pour provoquer à nouveau une anomalie quelconque dans la chimie cellulaire.

Mais, comme le savait bien Suzuki, il existait d'autres explications à cette paralysie réversible. Si, par exemple, l'anomalie était due à un blocage des signaux allant du cerveau aux muscles — une défektivité nerveuse, la même chose pourrait se produire.

Ces soupçons ont été confirmés par des expériences faisant intervenir un grand nombre de manipulations génétiques mises au point au cours des années spécialement pour *Drosophila*.

Voici l'explication que Suzuki nous en donne: "Génétiquement, nous pouvons construire une mouche appelée mosaïque et qui est constituée de deux types différents de cellules, les unes normales, les autres mutantes. En construisant certaines parties du corps de la mouche avec du tissu mutant, la tête, le thorax, les pattes, et ainsi de suite, nous pouvons déterminer les parties impliquées dans la paralysie aux températures élevées. Analogiquement parlant, c'est un peu comme si vous changiez les pièces défectueuses d'une voiture, une par une, jusqu'à ce que vous trouviez celle qui ne fonctionne pas. Appelez-nous si vous voulez 'mécaniciens de chromosomes' plutôt que mécaniciens d'automobiles."

Il s'est avéré que les régions qui contrôlaient l'aptitude de la mouche mutante à se déplacer étaient le cerveau et trois grands groupes de cellules nerveuses (ganglions) intervenant dans le mouvement des pattes. Il s'agissait tout simplement d'une anomalie dans le tissu nerveux.

Suzuki décrit la découverte comme l'une des meilleures expériences de sa vie. Bien qu'il n'impliquait pas du muscle, le mutant neural a permis aux chercheurs d'étudier les aspects du comportement de *Drosophila* et, par extrapolation, de mettre en lumière les anomalies neurales en général.

Finalement, c'est près de 1,8 million de mouches que le laboratoire a passées au crible et trois types de mutants thermosensibles qu'il a découverts. L'analyse génétique a montré que toutes les modifications de l'ADN étaient situées dans trois zones distinctes du chromosome sexuel de *Drosophila*.

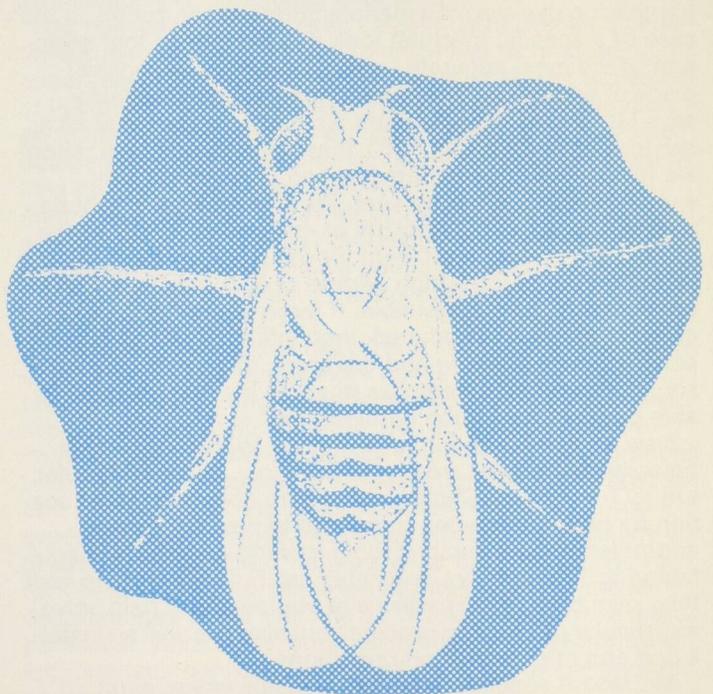
D'autres mutants offrant toute une gamme d'anomalies du comportement non liées à la température ont également été découverts. Un de ces mutants tombe paralysé dès qu'on tape fortement sur la paroi du récipient où il se trouve. Un autre, au "sang fatigué", s'épuise facilement. Un autre encore titube comme s'il avait bu, ses pattes manquant de coordination. En fait, cette recherche de mutants neurales a conduit à ajouter une grande quantité de noms nouveaux à la consonance bizarre au lexique de génétique sur les mutants de *Drosophila*: "Wobbly", "Stoned", "Shibire", "Shaker", "Shudder", et "Hyperkinetic." La famille des mutants neurales est un excellent outil de laboratoire et place les scientifiques de l'UBC sur le même plan que les chercheurs américains dans le domaine

de l'étude du comportement de *Drosophila*. Non moins important est le fait qu'il leur donne une occasion sans précédent d'étudier l'interaction existant entre le système nerveux de la mouche et son développement.

"Au début," souligne le Dr Suzuki, "c'est un peu au hasard que nous nous sommes lancés à la recherche de ces mutants et nous aurions très bien pu nous engager dans un cul-de-sac. Et c'est là que la force réelle de la politique du Conseil national de recherches du Canada en matière de subventions apparaît nettement. Le CNRC m'a aidé pendant toute la durée de mes recherches sans m'imposer d'orientation, exigeant seulement la qualité."

Malgré le succès des mutants neurales et du développement de ses activités qui s'étendent maintenant à la diffusion des travaux scientifiques par les media, David Suzuki est toujours à la recherche de la mouche insaisissable qui l'a lancé sur cette voie: le mutant affligé d'une protéine thermosensible. En tant que scientifique, il sait parfaitement que la nature impose ses propres limites à la diversité génétique. En tant qu'artiste, cependant, il entrevoit un processus de sélection qui se situe peut-être à peine au-delà du prochain éclair d'ingéniosité expérimentale lorsque le vol d'une *Drosophila* sera brutalement interrompu par l'élévation de la température, ailes bloquées par une protéine musculaire défectueuse. □

Texte français: **Claude Devismes**



# The Manufacturing Technology Center - New tools - new skills

The Manufacturing Technology Center provides a valuable service to Canadian industry through the investigation, evaluation and, in some cases, development of sophisticated equipment and processes.

It is often extremely difficult for Canadian manufacturing companies, especially for the small- and medium-sized ones, to shop for new equipment on a sufficiently wide and discriminating basis. It is sometimes even more difficult for them to organize new technical skills to achieve improved productivity against a short-term deadline.

It is in recognition of these kinds of problems that the National Research Council's Division of Mechanical Engineering has amassed a reservoir of the appropriate expertise and equipment in the form of the Manufacturing Technology Center. In a very real sense, the Center forms one of NRC's important conduits between applied engineering research and Canadian industry. The Manufacturing Technology Center, under the direction of Mr. E.S. Moore, fills several roles: in addition to the production of specialized equipment for the NRC laboratories, the Center plays an integral part in bringing sophisticated new technologies to the attention of industrial firms, in evolving new manufacturing techniques, in purchasing and developing new manufacturing equipment which might offer Canadian manufacturers a competitive edge, and in providing training facilities for industrial personnel.

Mr. Moore regards this close relationship with industry as the essence of the Manufacturing Technology Center's success. "It is important," he points out, "that we remain sensitive to manufacturers' particular economic and technical environments — we have to learn to think in their terms, otherwise we would be of no use to them. For example, when we purchase equipment, we must do so with an eye to its applicability to industry as a whole, not just for use for our own 'in-house' work." The question of what new equipment to buy involves the investigation of new machine-tool developments, principally in North America, Japan and Europe and requires that the NRC purchasers adopt the viewpoint of a purchasing agent from a commercial operation. In fact, they must try to anticipate the purchasing decision of a manufacturing organization. In the case of a specific machine tool, this may mean that selection of the most accurate (and hence, most expensive) piece of equipment would be inappropriate. "Certainly," says Mr. Moore, "for the work we do in our capacity as a service organization for NRC, there may indeed be a rationale for buying the most precise and correspondingly expensive piece of equipment. For example, we might be required to work to standards of extreme accuracy in the production of a 'one-off' item for the laboratories, but for a manufacturer, such a high degree of accuracy is not only unnecessary, but undesirable. If large quantities of components are being produced, then interchangeability of parts is a *sine qua non* and therefore, to be economically sound, machining tolerances must be the maximum allowable consistent with the requirement."

New equipment requires new skills. With all new technologies, there exist areas of uncertainty, and the Manufacturing Technology Center attempts to cope with this situation by both introducing industries to new equipment and/or techniques and providing training assistance. Manufacturing Technology Center staff can not only bring to bear their own blend of expertise and equipment to help solve a particular production problem, but also can visit an installation and offer advice on operations.

Mr. Moore suggests a typical example where eight

machine tools were fully employed when all this work could be accomplished much more efficiently on one modern piece of equipment. The savings are obvious. "We offer people a service whereby we take the specific component, program its production on numerically controlled machines, produce it for them, then have their staff work with us at the Center so that they can evaluate for themselves the advantages, and sometimes disadvantages, of one particular machine or process. In short, we are trying to collaborate with manufacturers in the choice of new technology appropriate to their operation."

Numerical control (that is, the use of preprogrammed machine tools carrying out several sequential operations on one component) is assuming increased significance in the manufacturing industry, due mainly to progressively higher productivity requirements combined with increasing manpower costs. Use of numerical control drastically reduces machine set-up times and, combined with use of equipment containing a multiplicity of tools, a specific component can undergo all necessary machining operations on one piece of equipment — a contrast to the traditional approach using single-purpose machines where a component must be transferred from machine to machine. A vivid example of the potential for savings was noted by Mr. Moore in the course of a visit to one factory, where he determined that a particular component was required to travel a total distance of three miles (5 km) before it was completed.

If the Center is to continue to help Canadian industry maintain its technological competitiveness, then Mr. Moore and his staff, as well as following the "state of the art" in manufacturing machinery, must remain alert to the potentialities of new processes and equipment. For this reason, close contact is maintained with the universities so that technological advances can be anticipated. "We watched the development of electron beam welding in this way," says Mr. Moore, "with the result that at the appropriate stage in the development of the process we were able to buy equipment which we have put to good use." As the name suggests, electron beam welding uses a focussed beam of high energy electrons to fuse metals together. Since the process is carried out in a vacuum (necessary for the production of a sufficiently concentrated and focussed beam), the resulting weld is free of adsorbed gases and other contamination, and the high concentration of energy applied to a very small area of material means that heat distortion of the welded component is minimized. Originally, electron beam welding was used almost exclusively in very specialized applications, such as the manufacture of nuclear fuel elements, and was regarded as a highly-specialized process. Mr. Moore regards the "secularization" of this process as one of the Center's more significant achievements. "There are four other places in Canada where electron beam welding equipment is used," he says, "but we are beginning to show that this technique could be useful in a wide range of normal industrial applications, from the contact-breaker points for motor car ignition systems to the giant rollers used in the pulp and paper industry."

This latter example is a particularly impressive one. One paper manufacturer was experiencing fretting corrosion problems with the perforated steel rollers known as "shells" used in the manufacturing process. The magnitude of the

# Le centre de fabrication technique

## Équipements et compétences nouvelles

Le Centre de fabrication technique rend de grands services à l'industrie canadienne en étudiant, en évaluant et parfois en développant des équipements et des processus complexes.

Les petites compagnies canadiennes et même les moyennes ont souvent de grandes difficultés à se procurer de nouveaux équipements sur une base suffisamment grande et présentant un choix suffisant. Il est même parfois plus difficile pour elles d'organiser de nouvelles spécialités techniques leur permettant d'améliorer la productivité dans le cas d'une production à date limite rapprochée.

C'est parce que la Division de génie mécanique du Conseil national de recherches a reconnu ces problèmes qu'elle a recruté les experts appropriés et les équipements correspondants qui constituent le Centre de fabrication technique dont la mission est de relier la recherche technique à l'industrie canadienne. Ce centre, sous la direction de M. E.S. Moore, joue plusieurs rôles: tout en produisant des équipements spécialisés pour les laboratoires du CNRC, il attire l'attention des entreprises industrielles sur de nouvelles technologies complexes en mettant au point de nouvelles techniques de fabrication, en achetant et en développant de nouveaux équipements de fabrication, qui peuvent offrir aux industriels canadiens les moyens d'affron-

ter la concurrence, et en mettant à leur disposition des installations de formation du personnel industriel.

M. Moore considère que cette relation étroite avec l'industrie est à la base de la réussite du centre. "Il est important," nous a-t-il fait remarquer, "que nous connaissions les environnements techniques et économiques particuliers des industriels et que nous en tenions compte; il faut donc que nous pensions en fonction de leurs difficultés, sinon nous ne serions d'aucune utilité pour eux. Ainsi, par exemple, lorsque nous achetons des équipements, nous devons le faire en pensant à leurs applications à l'industrie dans son ensemble et non pas tout simplement à ce que nous voulons en faire dans nos propres laboratoires." La question des nouveaux équipements à acheter implique donc une étude des nouveaux développements dans le domaine des machines-outils, principalement en Amérique du Nord, au Japon et en Europe; il faut ensuite que les acheteurs du CNRC adoptent le point de vue de l'agent du service des achats d'une entreprise commerciale. En fait, ces agents doivent essayer de prévoir quelles seront les décisions des industriels lorsqu'il s'agira d'acheter des équipements. Dans le cas d'une machine-outil particulière, ceci peut signifier que de sélectionner l'équipement le plus précis et, de ce fait le plus cher, ne soit pas la décision la plus appropriée. M. Moore nous a dit: "Il est certain que, pour nos travaux en tant que laboratoire de service pour le CNRC, nous sommes portés à acheter l'équipement le plus précis et, de ce fait, le plus cher car il peut se faire qu'on nous demande de faire une pièce unique avec une précision extrême mais, dans le cas d'un industriel, une telle précision est sans grand intérêt et il est peut-être même peu souhaitable de l'atteindre. Si une grande quantité de composantes sont produites, leur interchangeabilité est une condition *sine qua non* et, en conséquence, pour que l'opération soit économique, les tolérances à l'usinage doivent être maximum en fonction des conditions imposées."

De nouveaux équipements exigent de nouvelles compétences techniques. Lorsque de nouvelles techniques apparaissent, certaines incertitudes apparaissent également et le centre essaie de se tenir à la hauteur de la situation en familiarisant le personnel industriel avec les nouveaux équipements et les nouvelles techniques grâce à ses possibilités de formation professionnelle. Non seulement il peut mettre à la disposition de l'industrie ses experts et ses équipements pour essayer de résoudre un problème de production particulier mais il peut aussi envoyer ses membres visiter des installations industrielles et agir en tant qu'ingénieurs-conseil.

"Nous avons trouvé un cas où huit machines-outils étaient employées à plein temps alors que le travail qu'elles faisaient aurait pu être exécuté beaucoup plus efficacement avec une seule unité moderne. Les économies sont évidentes. Nous offrons un service selon lequel nous prenons une composante particulière, nous programmons sa production sur des machines contrôlées numériquement, nous produisons les composantes pour eux et, à ce moment-là, le personnel industriel vient travailler chez nous de sorte qu'il peut évaluer lui-même les avantages, et parfois les désavantages, d'une machine particulière ou d'un processus particulier. En somme, nous essayons de collaborer avec les manufacturiers dans le choix d'une technologie nouvelle appropriée à leur mission."



Division of Mechanical Engineering, NRC/Division de génie mécanique, CNRC

Sophisticated numerically-controlled machine tools such as this can carry out a complete series of machining operations on a workpiece.

Des machines-outils compliquées, à contrôle numérique, comme celle-ci peuvent exécuter toute une série de phases d'usinage d'une pièce.

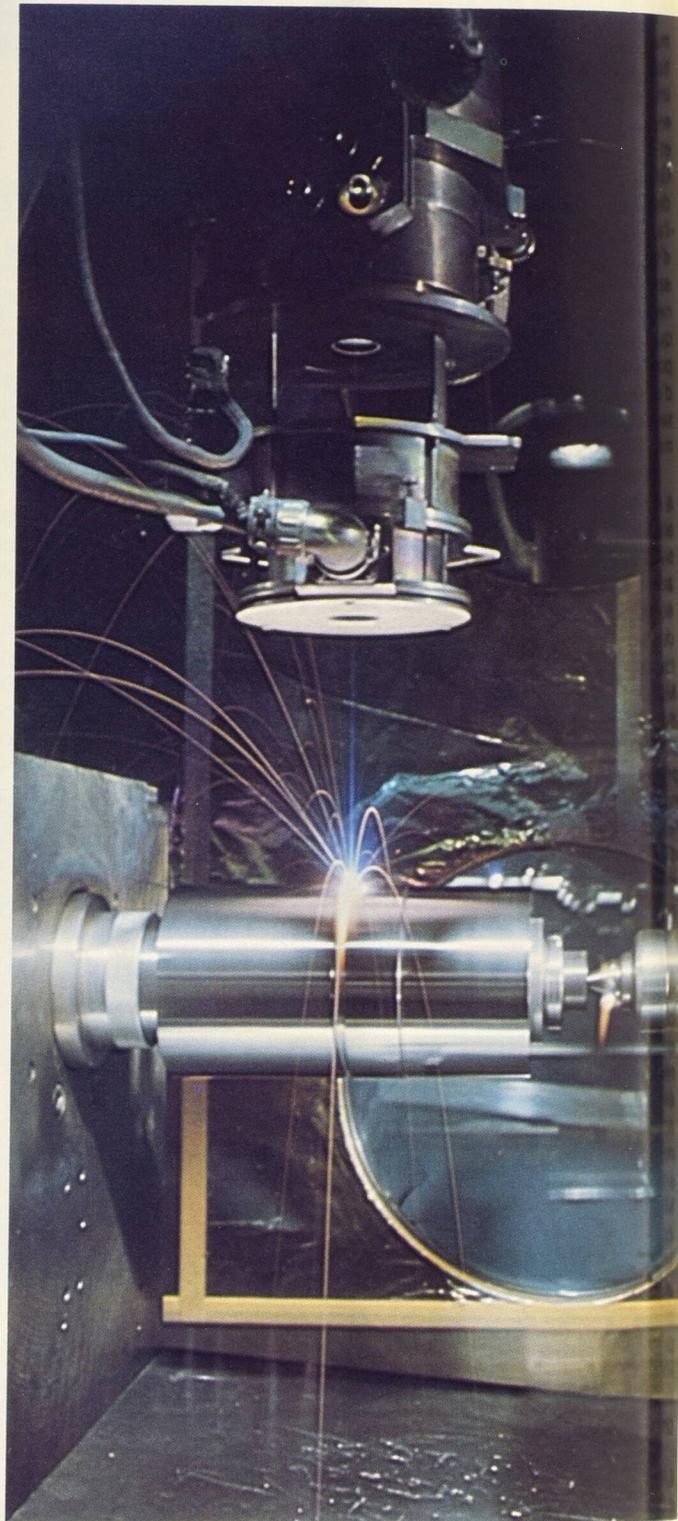
problem can be easily seen when it is remembered that these rollers can measure up to 40 feet (12 m) in length and four feet (1.2 m) in diameter and can cost well over \$200,000 each. Added to this is the serious loss in production time resulting from a failure, and in the course of the last seven years, about 60 failures of this nature have been experienced. The Manufacturing Technology Center is experimenting with electron beam welding repair techniques and, as Mr. Moore points out, "if we are successful, then in this single case the Center's investment in electron beam welding equipment will have paid off handsomely indeed."

Another technique that has not been widely adopted by the manufacturing industry in this country is electrochemical machining. This is a metal-removing process based on the reverse of electroplating where material is transferred from one electrode to another (the object to be plated) via a liquid electrolyte. In the machining process, instead of metal being transferred to a component, it is removed from it, the desired shape being achieved by using a carefully shaped electrode whose form is approximately the "mirror image" of the shape to be produced. The process allows the extremely accurate shaping of materials, and is especially useful in the production of small and delicate components which would present considerable production problems on conventional metal cutting machinery. Another important feature of electrochemical machining is that it involves none of the mechanical loadings on the component that are an inherent feature of conventional metal removal processes (turning, milling, etc) and the possibility of causing residual stresses in the component is precluded.

A specific example of this process applied to an industrial problem lies in the work carried out by the Center for a Canadian engineering manufacturer. The problem was the production of titanium turbine compressor blading of such thin cross-section that had only conventional machinery been available the job would have been impossible. "Cutting forces alone would have pushed the blade away from the cutting tool and titanium is a very tough material to machine in the first place," says Mr. Moore. "As it turned out, electrochemical machining provided the ideal answer."

One of the most important aspects of the Manufacturing Technology Center's assistance to Canadian manufacturing industry is the help that can be provided to a company wishing to bid on a contract. Firms are often put in the position of bidding on work that might involve techniques with which they are unfamiliar or of investing in new equipment. In this case, the Center is glad to assist the company by undertaking the manufacture of one example of the component, and can let the company know the specific skills and the time and machine requirements involved. The company can then apply its own costs to produce a realistic bid. Mr. Moore emphasizes that assistance of this kind seems to be useful to many Canadian companies at the present time since they find themselves in competition with much larger foreign organizations whose resources are correspondingly much more extensive. □

**David Mosey**



A high-energy tightly focussed beam of electrons in a hard vacuum provides contamination-free welds together with minimal heat distortion of the welded component. The Manufacturing Technology Center has been able to demonstrate that there are many industrial applications where this sophisticated technology can profitably be employed.

Un mince faisceau d'électrons à haute énergie travaillant sous vide permet de faire des soudures sans contamination tout en limitant au minimum la déformation thermique de la pièce. Le Centre de fabrication technique a pu démontrer qu'il est avantageux d'utiliser cette technique complexe dans bien des applications industrielles.

Le contrôle numérique, c'est-à-dire l'utilisation de machines-outils programmées exécutant plusieurs opérations séquentielles sur une pièce, devient de plus en plus important dans l'industrie manufacturière, principalement en raison de la productivité de plus en plus élevée requise et des prix toujours en augmentation de la main-d'oeuvre. Grâce au contrôle numérique qui réduit énormément les durées de mise en place des machines et qui se prête à l'association avec des équipements munis d'une multiplicité d'outils, une composante donnée peut être usinée par une seule machine ce qui contraste avec l'approche traditionnelle consistant à utiliser une machine différente pour chaque phase d'usinage. Un exemple frappant du potentiel du point de vue économie a été noté par M. Moore au cours d'une visite d'usine où il a trouvé qu'il fallait qu'une composante particulière se déplace sur une distance totale de trois milles (5 km) avant d'être terminée.

Si le centre doit continuer d'aider l'industrie canadienne à être concurrentielle sur le plan technologique, il faut alors que M. Moore et ses collaborateurs non seulement suivent les progrès dans "l'art" de la machine-outil mais aussi sachent très vite détecter le potentiel de nouveaux équipements et de nouveaux procédés. Pour cette raison, des contacts étroits existent avec les universités de sorte que les progrès technologiques peuvent être anticipés. M. Moore nous a dit: "Nous avons suivi le développement du soudage au faisceau électronique de cette manière, de sorte que, au moment approprié du développement du processus, nous avons pu acheter des équipements que nous avons fort bien utilisés." Comme son nom l'indique, le soudage au faisceau électronique utilise un faisceau d'électrons focalisés à haute énergie pour fondre le métal. Puisque le processus a lieu sous vide, ce qui est nécessaire pour obtenir un faisceau focalisé et suffisamment concentré, la partie soudée d'une pièce n'a pas le désavantage de contenir des gaz adsorbés ou d'être autrement contaminée, et la grande énergie qui est envoyée par le faisceau dans une surface très petite du matériau signifie que la déformation de cette pièce sous l'action de la chaleur est réduite au minimum. A l'origine, le soudage au faisceau électronique était utilisé presque exclusivement dans des applications très spécialisées comme la fabrication d'éléments de combustible nucléaire et l'on considérait ce soudage comme étant un procédé de haute spécialisation. M. Moore considère la "démocratisation" de ce procédé comme étant l'un des buts les plus importants atteints par le centre. Il nous a dit: "Il existe quatre autres endroits au Canada où le soudage au faisceau électronique est utilisé mais nous commençons à montrer que cette technique pourrait être utile dans une grande gamme d'applications industrielles normales allant des vis platinées de la distribution du circuit d'allumage des automobiles aux rouleaux géants utilisés dans les usines de pâtes et papiers."

Ce dernier exemple est particulièrement impressionnant. Un fabricant de papier utilisait des rouleaux perforés en acier appelés "shells" et qui étaient sujet à la corrosion. On peut se rendre compte de l'amplitude du problème puisque ces rouleaux peuvent avoir 40 pieds de longueur (12 m), quatre pieds de diamètre (1,2 m), et que leur coût peut dépasser 200 000 dollars chacun. En plus de ces difficultés il fallait faire face aux conséquences, c'est-à-dire à une grosse perte de temps en cas de panne dont le nombre au cours des sept dernières années a atteint 60. Le centre a beaucoup d'expérience dans le domaine des techniques de réparation par soudage au faisceau électronique et, comme M. Moore l'a fait remarquer, "de réussir les réparations dans des cas comme celui-ci fait que nos investissements en équipements de soudage électronique ont été largement payés."

Une autre technique qui n'a pas été beaucoup adoptée par l'industrie manufacturière de ce pays est l'usinage électrochimique. Il s'agit d'un processus d'enlèvement du métal basé sur un phénomène inverse de la galvanoplastie qui permet de transférer du métal d'une électrode à l'autre (l'objet qui doit être plaqué) par l'intermédiaire d'un électrolyte. Dans l'usinage électrochimique, le métal est au contraire enlevé jusqu'à obtention de la forme désirée grâce à une électrode soigneusement formée et dont la forme est approximativement "l'image" de la forme recherchée. Le processus permet d'atteindre une extrême précision et il est particulièrement utile pour fabriquer des composantes petites et délicates qui poseraient des problèmes considérables au niveau de la production si l'on utilisait des machines de coupe traditionnelles. Un autre point important de l'usinage électrochimique se trouve dans le fait qu'il n'impose pas de charges mécaniques aux composantes, charges qui sont inhérentes au processus d'arrachage et de coupage des métaux, si l'on utilise les équipements traditionnels comme les tours, les rectifieuses, etc., et qui peuvent laisser des contraintes résiduelles dans les composantes.

Comme exemple spécifique de ce procédé appliqué à un problème industriel on peut citer les travaux exécutés par le centre pour un manufacturier canadien de machines. Il s'agissait de produire des aubes de compresseur en titane pour des turboréacteurs; leur profil était si mince qu'il aurait été impossible de fabriquer ces aubes avec des équipements traditionnels. M. Moore nous a dit: "Les forces appliquées pour couper le métal auraient été suffisantes à elles seules pour éloigner l'aube de l'outil de coupe et comme le titane est très dur il est difficile à usiner. Grâce à l'usinage électrochimique on a trouvé une réponse idéale au problème."

Un des aspects les plus importants de l'aide que le centre peut fournir à l'industrie manufacturière canadienne est celle qu'il peut apporter à une compagnie désirant faire une soumission. Les firmes se trouvent souvent dans la position de faire des soumissions pour des travaux qui peuvent impliquer des techniques avec lesquelles elles sont peu familières ou qui nécessitent de nouveaux équipements. Dans ce cas, le centre est très heureux d'aider la compagnie en question en entreprenant la fabrication d'une des pièces à fabriquer puis en communiquant à la compagnie tout ce qu'elle doit savoir pour pouvoir s'acquitter de son travail dans le temps requis avec les machines appropriées. La compagnie peut alors se servir des données recueillies par elle sur ses coûts pour établir une soumission réaliste. M. Moore a mis l'accent sur le fait que l'aide de cette nature semble être utile à de nombreuses compagnies canadiennes actuellement puisqu'elles se trouvent en concurrence avec des organismes étrangers beaucoup plus importants dont les ressources sont de ce fait également beaucoup plus étendues. □

*Texte français:* Louis-Georges Desternes

# Site selection spectroscopy - Unravelling the motions of matter

A new spectroscopic technique has been developed for the study of biologically-important molecules. Using a specially-tuned laser, vital information can be extracted from the vibrations and rotations of these molecules.

It appears paradoxical that many of the world's problems, which loom so large to us, possess a potential for solution in a form which is so minute. The feasibility of unlocking the great sources of energy contained within the atom is by now familiar to most of us. Less well-known perhaps are the resources contained within the living cell. From prehistoric times, humans have collected the seeds of plants for the food which they contain. Beside the golden treasures of long-dead Pharaohs, pots of grain are preserved. Not only was the plant kingdom treasured for its food but for the medicaments which could be produced from molds and fungi.

These riches of the cell occur as the by-products of chemical reactions which take place during the process of cell metabolism. For example, one cell may produce an important antibiotic while another stores the proteins which it produces. A step which brings humans closer to the understanding of chemical reactions taking place within the cell also offers them the power to manipulate and control these processes. Through such control lies the hope for more efficient production of food and improvement in the development of antibiotics. Research by Dr. D.F. Williams of the National Research Council of Canada's Division of Chemistry on a novel technique in vibrational spectroscopy offers a new skill for looking at the chemical constituents of the cell.

Of central importance in modern biochemistry is an understanding of the relationship between the structure of biologically important molecules and their cellular function. Spectroscopic techniques provide a method of investigating the structural changes which may take place during chemical processes. In spectroscopy, light of known energy is used to excite a molecule and the radiation which is absorbed or emitted is then observed. Since the absorption and emission of light is related directly to the internal energy states of a molecule, useful information may be gained from the study of molecular spectra. Vibrational spectroscopy is of particular importance since the vibrations of groups of atoms within a molecule are sensitive to internal rearrangements and changes in their environment.

Among the most important compounds in plant cells are the chlorophylls, green pigments responsible for the production of carbohydrates from carbon dioxide, water and energy from sunlight. With the development of new cell cultures living in a variety of controlled nutrients, it becomes important to investigate and determine the amount of each of the different kinds of chlorophyll type within a cell. To this end, a spectroscopic study of the chlorophylls has been one of the aims of Dr. Williams' research. "Vibrational spectroscopy provides an ideal tool for studying such biologically important molecules as the chlorophylls. However, these molecules pose particular difficulties for traditional spectroscopic study. The chlorophylls exhibit fluorescence which masks important spectroscopic information and, in order to overcome this problem, we developed the method of Site Selection Spectroscopy," Dr. Williams says.

Fluorescence occurs when a substance exhibits a different color in its reflected light than in its transmitted light. It is a phenomenon which arises at the molecular level. When such a molecule absorbs energy in the form of light, it becomes excited and rearranges its internal structure. In



Dr. D.F. Williams carefully inserts one of his samples into its housing.

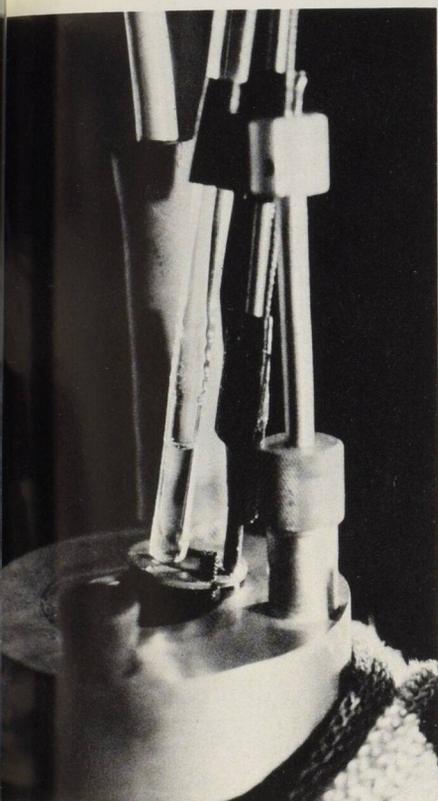
most cases, this energy is quickly released and the molecule falls back to a lower energy state. The released energy takes the form of emitted radiation called fluorescence, which is generally not the same frequency as that initially absorbed. Therefore, in fluorescent molecules, not all the energy is released as radiation since some is retained by the molecule in the form of vibrational energy. The emitted radiation energy is therefore smaller or equal in energy to that which was originally absorbed and these differences relate to the energy of the molecular vibrations. Large molecules possess many vibrational states and, since each state is associated with a characteristic energy level, the spectrum of the light emitted provides a means of identifying that molecule.

This particular spectroscopic technique requires accurate measurement of the frequency difference between absorbed and emitted light. Its success therefore depends upon the initial energy absorbed being identical for each molecule. Provided that molecules in the sample have identical environments, as for molecules in pure crystals or in gases, this will be the case. In other cases, different environments give rise to a broad range of energy levels at

# La spectroscopie de sites sélectionnés

## Lumière sur le mouvement de la matière

Une nouvelle technique spectroscopique a été mise au point pour étudier les molécules importantes sur le plan biologique, à l'aide d'un laser spécialement accordé et en partant des études des vibrations et des rotations de ces molécules.



Le Dr D.F. Williams introduit soigneusement l'un de ses échantillons dans son logement.

Il semble paradoxal que bien des problèmes mondiaux qui nous semblent si difficiles puissent être éventuellement résolus sous une forme qui soit si petite. La possibilité de libérer les grandes sources d'énergie contenues dans l'atome nous est maintenant familière tout au moins pour la plus grande partie d'entre nous. Toutefois ce que l'on connaît moins, peut-être, ce sont les ressources contenues dans la cellule vivante. Depuis les temps préhistoriques, nous avons ramassé des grains de plantes pour nous en nourrir. A côté des trésors des pharaons morts depuis longtemps on a trouvé des pots remplis de grains qui se sont conservés. Non seulement le royaume végétal a été considéré comme précieux en raison de la nourriture qu'on en tire mais aussi des médicaments que l'on peut fabriquer en se servant de moisissures et de champignons.

Ces richesses de la cellule sont le sous-produit des réactions chimiques qui ont lieu durant le processus de métabolisme cellulaire. Ainsi, par exemple, une cellule peut produire un antibiotique important alors qu'une autre peut emmagasiner les protéines qu'elle produit. Un pas qui amène les humains plus près de la compréhension de ces réactions chimiques ayant lieu à l'intérieur de la cellule leur

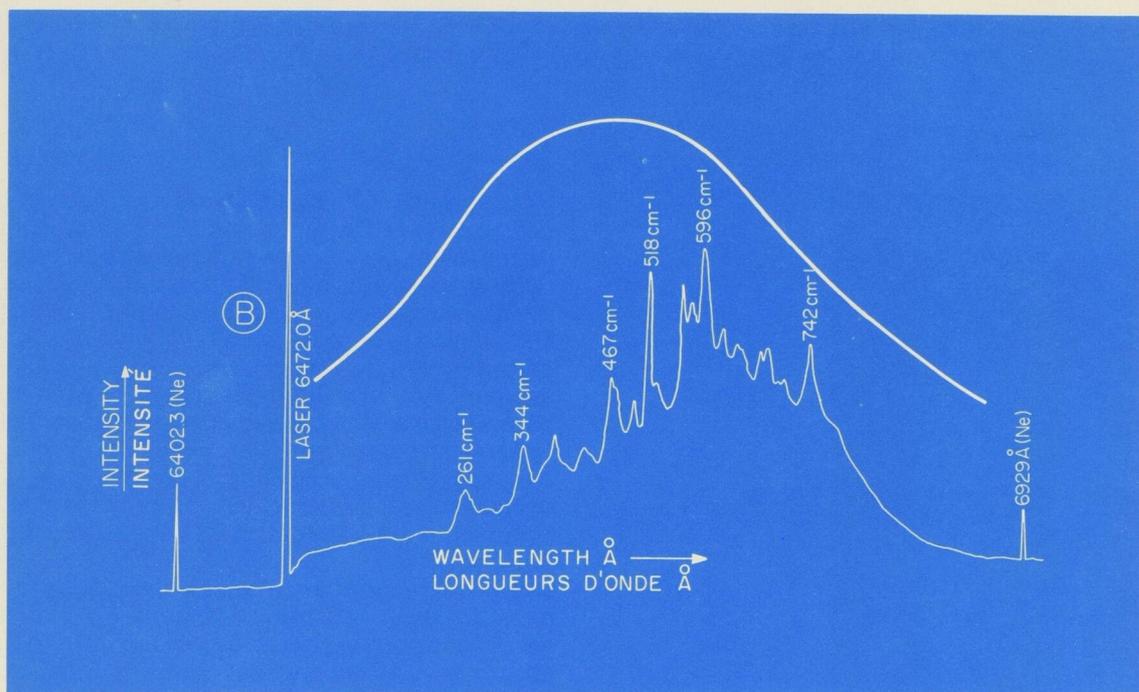
offre également la possibilité de manipuler et de contrôler ces processus. Par l'intermédiaire d'un tel contrôle on peut espérer obtenir une production plus efficace de produits alimentaires et des améliorations dans le développement des antibiotiques. Les recherches faites par le Dr D.F. Williams, de la Division de chimie du Conseil national de recherches du Canada, sur une technique nouvelle de la spectroscopie vibrationnelle offrent de nouveaux moyens pour examiner ces constituants chimiques de la cellule.

Il est d'importance capitale dans la biochimie moderne de bien comprendre la relation qui existe entre la structure de molécules biologiquement importantes et leur fonction à l'intérieur de la cellule. Les techniques spectroscopiques fournissent une méthode d'étude des changements structuraux qui peuvent avoir lieu au cours des processus chimiques. En spectroscopie, de la lumière d'énergie connue est utilisée pour exciter une molécule et la radiation qui est absorbée ou émise est alors observée. Puisque l'absorption et l'émission de la lumière est en relation directe avec les états énergétiques internes d'une molécule, des renseignements utiles peuvent être obtenus en partant de l'étude des spectres moléculaires. La spectroscopie vibrationnelle est d'importance particulière puisque les vibrations de groupes d'atomes à l'intérieur de la molécule sont sensibles aux variations des configurations internes et aux changements de leur environnement.

Parmi les composés les plus importants des cellules végétales se trouvent les chlorophylles, pigments verts responsables de la production d'hydrates de carbone en partant du gaz carbonique, de l'eau et de l'énergie solaire. Du fait de l'avènement de nouvelles cultures cellulaires à milieux nutritifs contrôlés, il devient important d'étudier et de déterminer la quantité de chacune des différentes sortes de chlorophylle existant à l'intérieur d'une cellule. A cette fin, une étude spectroscopique des chlorophylles a été l'un des buts visés par le Dr Williams au cours de ses recherches. Il nous a dit: "La spectroscopie vibrationnelle fournit un outil idéal pour étudier des molécules biologiquement importantes comme les chlorophylles. Toutefois ces molécules sont à l'origine de difficultés particulières dans le cas de l'étude traditionnelle spectroscopique. Les chlorophylles sont fluorescentes, ce qui masque des renseignements spectroscopiques importants et, afin de résoudre ce problème, nous avons développé la méthode appelée spectroscopie de sites sélectionnés."

La fluorescence se produit lorsqu'une substance reflète une couleur différente de celle de la lumière transmise. C'est un phénomène qui se produit au niveau moléculaire. Lorsqu'une telle molécule absorbe de l'énergie sous forme de lumière, elle devient excitée et sa configuration structurale interne change. Dans la plupart des cas, cette énergie est rapidement libérée et la molécule retombe à son niveau fondamental. L'énergie libérée prend la forme d'une radiation émise, appelée fluorescence, qui est généralement d'une fréquence différente de celle de la lumière initialement absorbée. Donc, dans les molécules fluorescentes, toute l'énergie n'est pas libérée sous forme de radiation puisqu'une certaine partie de cette énergie est retenue par la molécule sous forme d'énergie vibrationnelle. L'énergie émise sous forme de radiation est donc plus petite ou égale à l'énergie absorbée à l'origine et ces différences sont en relation avec l'énergie des vibrations

# site selection spectroscopy



Division of Chemistry, NRC/Division de chimie, CNRC

which the molecules begin to absorb strongly and the emitted radiation is distributed over a range of frequencies instead of being located at a single energy level. Because vibrational energy levels from one molecule will then overlap with those of other molecules, important detailed information is lost.

At first sight, therefore, it appears that the success of fluorescence spectroscopy depends upon each molecule having an orderly, regular environment, identical to that of its neighbor. However, as Dr. Williams points out, "for most of the biologically interesting molecules, it is a research project in itself to prepare them in a regular environment. Often they do not crystalize and they cannot be obtained for study in the vapor phase. A method which seems to overcome at least some of these difficulties is 'Site Selection Spectroscopy'. We accept the fact that, in a solution, each molecule experiences a different environment and therefore possesses a potentiality for absorbing light at a slightly different frequency, which results in the emitted radiation being smeared out into a band of frequencies. In the new technique, we use exciting radiation at a single well-defined energy. It is therefore absorbed only by molecules at those sites which respond exactly to that energy level. In this way, we overcome the problem of a spread in frequencies by selecting appropriate sites for excitation and fluorescence. The use of well-defined excitation energies does not present much difficulty since we now have lasers which provide a remarkably precise source of radiation."

An illustration of the success of Dr. Williams' method is given by the spectra shown. The first spectrum is obtained by conventional means and shows little detail. In the second case, Site Selection Spectroscopy has been used and some 40 vibrational lines are visible. Resolution of the original broad band spectrum into a series of distinct lines makes the identification of the different forms of chlorophyll and other molecules present a simple matter. What is not

shown in the illustration is the extreme sensitivity of Dr. Williams' technique. By detecting fluorescence of as low as a few photons per second, it is possible to detect amounts of a substance as low as one millionth of a gram within a sample.

Some of the samples which Dr. Williams investigates are supplied by Dr. I. Veliky of the National Research Council of Canada's Division of Biological Sciences. Dr. Veliky is culturing plant cells in a variety of nutrients and looking for important metabolic products, such as antibiotics and alkaloids. Realizing the potential for future applications of these plant cell cultures in photosynthesizing fermentation systems, he is interested in the transformation of chlorophylls in these cultures. Dr. Williams prepares the samples in what is known as a glass. These glasses are formed when certain common, simple organic solvents are cooled. They do not form a regular structure but give rise to a solid in which molecules are frozen in disorder. The experimental procedure therefore is to select an appropriate solvent and extract the molecules of interest from the sample. This solution is made into a glass by cooling to near liquid helium temperatures (4°K). The laser is then tuned to the appropriate frequency and used to excite molecules in the sample. The emitted radiation is then analyzed and recorded.

Dr. Williams has already been successful in recording hitherto unobserved spectra of large molecules. Not only can the method be used in analysis and identification but it possesses the potential for understanding something of the processes which occur at the molecular level. By observing any shift which occurs in the spectrum of the vibrating lines, it becomes possible to deduce if part of the molecule under study has become closely associated with other molecules. Knowledge of the molecular companions within a cell can be of great help in elucidating the different processes which take place during metabolism. □

David Peat

# la spectroscopie de sites sélectionnés

moléculaires. Les grandes molécules possèdent de nombreux états vibrationnels et, puisque chaque état est associé à une énergie caractéristique, le spectre de la lumière émise fournit un moyen d'identifier cette molécule.

Cette technique spectroscopique particulière nécessite des mesures précises de la différence entre la fréquence de la lumière absorbée et celle de la lumière émise. Son succès, en conséquence, dépend du fait qu'il faut que l'énergie initialement absorbée soit identique pour chaque molécule. C'est le cas si les molécules de l'échantillon se trouvent dans des environnements identiques comme dans les molécules des cristaux purs ou des gaz. Dans les autres cas, des environnements différents sont à l'origine d'une large gamme de niveaux énergétiques auxquels les molécules commencent à absorber fortement et pour lesquels les radiations émises sont réparties sur une gamme de fréquences au lieu de se trouver à un seul niveau énergétique. Les différents niveaux énergétiques vibrationnels émanant d'une molécule étant alors superposés à ceux d'autres molécules, des renseignements détaillés importants sont perdus.

En conséquence, à première vue, il semble que la réussite en spectroscopie de fluorescence dépend du fait que chaque molécule aura ou n'aura pas un environnement régulier, en ordre, identique à celui des molécules voisines comme c'est le cas dans les cristaux et les vapeurs. Toutefois, comme l'a fait remarquer le Dr Williams: "Dans le cas de la plupart des molécules intéressantes sur le plan biologique, c'est déjà en soi une entreprise au niveau de la recherche que de préparer ces molécules pour qu'elles aient un environnement régulier. Souvent elles ne cristallisent pas et il n'est pas possible de les obtenir pour les études en phase gazeuse. Une méthode qui semble au moins permettre de contourner l'obstacle est appelée la spectroscopie de sites sélectionnés. Nous acceptons le fait que, dans une solution, chaque molécule est dans un environnement différent

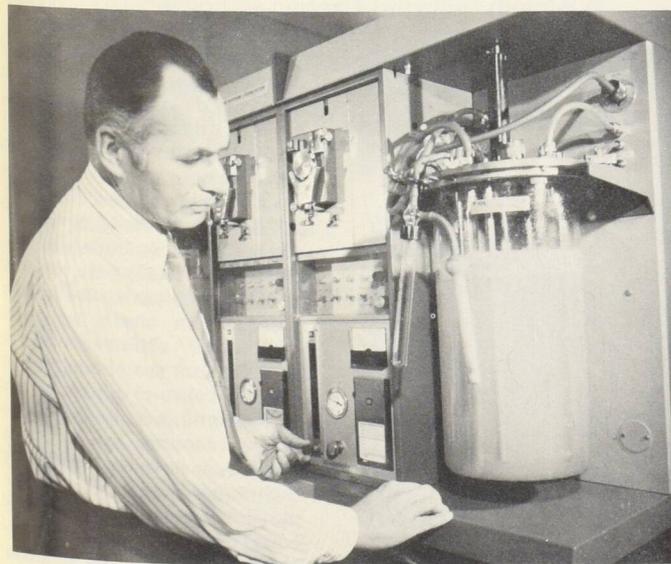
des autres et, en conséquence, possède la faculté d'absorber de la lumière à une fréquence légèrement différente des autres, ce qui donne des radiations émises étalées sur une bande de fréquences. Cette nouvelle technique utilise une radiation d'excitation à un niveau d'énergie unique et bien défini. Donc, cette énergie est absorbée seulement par les molécules se trouvant dans les sites qui répondent directement à ce niveau énergétique. De cette manière, nous évitons d'avoir à résoudre le problème de l'étalement des fréquences en sélectionnant des sites appropriés pour l'excitation et la fluorescence. L'utilisation d'énergies d'excitation bien définies ne présente pas grande difficulté puisque nous disposons maintenant de lasers qui sont une source de radiations remarquablement précise."

Pour montrer que le Dr Williams a réussi, cet article est illustré par ces deux spectres. Le premier d'entre eux a été obtenu grâce à des moyens traditionnels et ne révèle pas grands détails. Dans le deuxième cas, on s'est servi de la spectroscopie de sites sélectionnés et l'on peut observer 40 raies vibrationnelles. La résolution des spectres d'origine à large bande en une série de raies distinctes permet de procéder bien simplement à l'identification des différentes formes de la chlorophylle et des autres molécules. Ce que cette illustration ne montre pas, c'est l'extrême sensibilité de la technique du Dr Williams. En détectant la fluorescence correspondant à quelques photons seulement par seconde il est possible de détecter des quantités de substance aussi faibles que le millionième de gramme dans un échantillon.

Certains des échantillons étudiés par le Dr Williams sont fournis par le Dr I. Veliky, de la Division des sciences biologiques du Conseil national de recherches du Canada. Le Dr Veliky cultive des cellules végétales dans différents milieux nutritifs et il recherche des produits métaboliques importants comme les antibiotiques et les alcaloïdes. Comme il a réalisé que le potentiel de ces cultures de cellules végétales dans les systèmes de fermentation à photosynthèse est important en vue d'applications futures, il est intéressé à la transformation des chlorophylles dans ces cultures. Le Dr Williams prépare les échantillons dans ce qui est connu sous le nom de "glass", c'est-à-dire d'échantillons transparents comme le verre. Ces "glass" sont obtenus lorsque certains solvants organiques simples et ordinaires sont refroidis. Ils ne donnent pas une structure régulière mais un solide dans lequel des molécules sont gelées en désordre. La procédure expérimentale, en conséquence, est de sélectionner un solvant approprié et d'extraire les molécules intéressantes de l'échantillon. Cette solution est préparée sous la forme d'un "glass" par refroidissement à une température proche de celle de l'hélium liquide (4°K). Le laser est alors réglé sur la fréquence appropriée et utilisé pour exciter les molécules de l'échantillon. Les radiations émises sont alors analysées et enregistrées.

Le Dr Williams a déjà réussi à enregistrer des spectres de grandes molécules n'ayant pu être observées jusqu'à maintenant. Non seulement la méthode peut être utilisée pour analyser et identifier, mais elle possède le potentiel permettant de comprendre quelque chose des processus qui se produisent au niveau moléculaire. En observant n'importe quel décalage qui se produit dans le spectre des raies de vibrations, il devient possible de déduire si une partie de la molécule étudiée est alors étroitement associée avec d'autres molécules. De savoir quels sont les compagnons moléculaires à l'intérieur d'une cellule peut être fort utile pour élucider les différents processus qui ont lieu durant le métabolisme. □

Texte français: Louis-Georges Desternes



The fermenter used by Dr. I. Veliky in the development of cell cultures.

La cuve de fermentation utilisée par le Dr I. Veliky pour ses cultures cellulaires.

# Protein folding - Mapping the contours of life

Proteins attain their biologically active form by a process of folding. An understanding of this mechanism remains one of the outstanding problems in modern biology. Using a variety of theoretical attacks, an NRC scientist hopes to elucidate the actual path taken by a protein during folding.

During one of the last interviews of his life Dr. J. Bronowski was asked which area of science he would enter if he could return to research as a young mathematician. He answered that without doubt it would be to the problem of the folding of proteins, an area which he felt to be the most challenging and exciting in science today. His opinion is shared by Dr. R.L. Somorjai, a theoretician working in the National Research Council of Canada's Division of Chemistry, who feels that a solution to this problem can be gained only through the integration of experiment and theory, together with a re-examination of the theoretician's traditional approach.

"The great strides which have been made in theoretical chemistry and physics were, on the whole, based on the notion that full understanding of the behavior of the simplest components of a system could lead to an understanding of the overall behavior of that system. Biological systems, however, are far more complex, and a different conceptual approach, which I would call hierarchical, may be necessary," says Dr. Somorjai. This approach recognizes that the complexity of biological systems is manifest in a highly organized and precisely controlled fashion. Efficiency of operation demands that this organization and control take place hierarchically. Furthermore, each level of the hierarchy may have its own "laws" or rules of operation. "I am particularly interested in understanding the basic tenet of modern biology that the biological function of a molecule is related to its three-dimensional structure; I believe that the hierarchical approach is especially appropriate for this problem. For example, the elucidation of some general guiding principles for the mechanism of enzyme action and substrate recognition ought to proceed along these lines. This is an enormously complicated theoretical problem, but a study of the somewhat simpler problem of protein folding

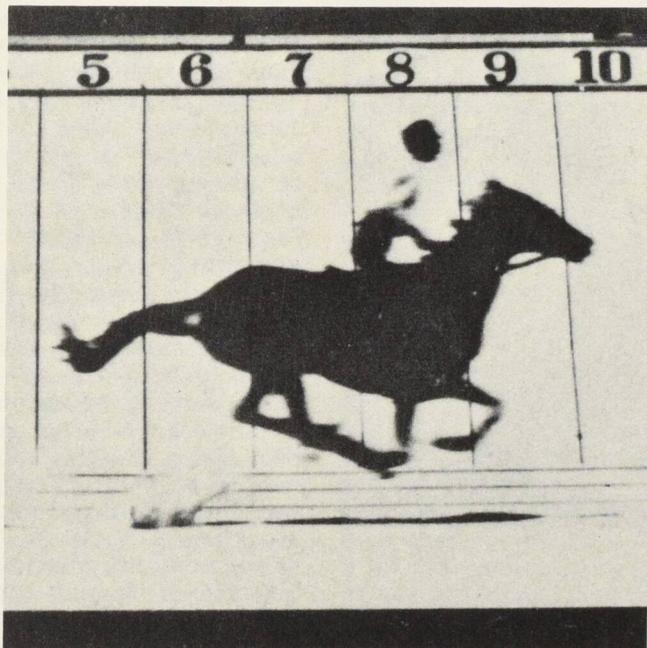
from the hierarchical point of view should yield some important clues," says Dr. Somorjai. "If a protein is stretched out, it loses all its biological activity and is said to be denatured. If this denatured protein is then placed in an appropriate solution at the correct temperature, pH, etc., it will regain all or most of its biological activity in a relatively short time. This occurs when the protein folds into a biologically active form. One of the objects of our theoretical investigation is to calculate the path or paths taken by the protein during the folding process."

A crude analogy for this process is the behavior of a stretched spring which has the potential of returning to its coiled form. Systems which spontaneously move to structures of lower energy are familiar in physics and chemistry, and computational techniques based on energy minimization have been developed to reach these low energy structures. However, Dr. Somorjai is concerned not only with the final equilibrium conformation of the protein but with the actual path taken during folding. A metaphor may serve to illustrate this point. The process of protein folding could be thought of as a descent along a road which begins near the top of a mountain and ends in the lowest valley below. The road descends gradually in twists and turns; in places it may meander along the bottom of a ravine, or it may even run up hill for a short distance. Using the conventional minimization techniques would, in terms of our metaphor, correspond to ignoring the road's existence and letting boulders plunge down the mountain side, from different points and in different directions. Although the descent of the boulders would be rapid, they would most likely end up in ditches or depressions and never reach the bottom of the valley.

The dynamical equations which would describe in detail the folding process of a protein appear far too complicated

Edward Muybridge (Edward Muggeridge), eccentric and pioneer of motion photography, took a series of photographs of a galloping horse in 1878 to settle a bet, and instigated the scientific study of locomotion. The photographs were made to settle the question: Do all four hooves leave the ground at the same time when a horse gallops? Muybridge continued his studies into human and animal locomotion and pictures like these enabled scientists to construct and solve the complicated equations governing locomotion. The mathematical techniques employed in the solution of these equations, separation into "fast" and "slow" variables, are similar to those employed by Dr. Somorjai in solving the dynamical equations of protein folding.

George Eastman House, Rochester, N.Y.



Edward Muybridge (Edward Muggeridge), eccentric et pionnier de la photographie animée, a pris une série de photographies d'un cheval au galop en 1878 pour essayer de gagner un pari et devant être, ce faisant, à l'origine d'une étude scientifique de la locomotion. Les photos ont été prises pour régler la question suivante: les quatre sabots d'un cheval au galop quittent-ils simultanément le sol? Ce sont des photographies comme celles-ci qui ont permis aux scientifiques de construire et de résoudre les équations complexes de la locomotion. Les techniques mathématiques employées pour solutionner ces équations, la séparation en variables "rapides" et en variables "lentes", sont semblables à celles dont s'est servi le Dr Somorjai pour résoudre les équations dynamiques du repliement protéique.

# Le repliement protéique

## Processus biologique fondamental

Les protéines atteignent leur forme biologiquement active par un processus de repliement. La compréhension de ce mécanisme est l'un des problèmes restant à résoudre en biologie moderne. En se servant de diverses approches théoriques, un scientifique du CNRC espère arriver à élucider le chemin effectivement suivi par une protéine au cours du repliement.

Au cours de l'une des dernières interviews de sa vie, on a demandé au Dr J. Bronowski quel serait le domaine scientifique qu'il choisirait s'il pouvait revenir à la recherche comme jeune mathématicien. Il a répondu que ce serait sans doute au problème du repliement des protéines qu'il s'intéresserait car il le considérerait comme étant le plus complexe et le plus passionnant de la science contemporaine. Cet avis est partagé par le Dr R.L. Somorjai, théoricien travaillant à la Division de chimie du Conseil national de recherches du Canada, qui pense que la seule manière de résoudre le problème en question est de combiner la théorie et la pratique et de réexaminer l'approche traditionnelle du théoricien.

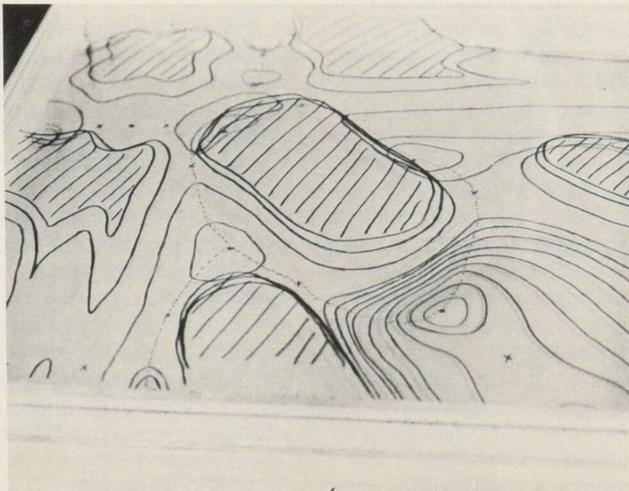
Laissons-lui la parole: "Les grands progrès accomplis en chimie et en physique théoriques ont été, dans l'ensemble, fondés sur la notion qu'une parfaite connaissance du comportement des éléments constitutifs les plus simples d'un système pourrait conduire à une compréhension du comportement global de ce système. Les systèmes biologiques sont cependant beaucoup plus complexes et une approche conceptuelle différente que je qualifierais de hiérarchique peut s'avérer nécessaire." Cette approche reconnaît que la complexité des systèmes biologiques est évidente et qu'elle procède d'une organisation poussée soumise à un contrôle précis. Le bon rendement du système exige que cette organisation et ce contrôle s'exercent hiérarchiquement. Qui plus est, chaque niveau de cette hiérarchie peut avoir ses propres "lois" ou normes de fonctionnement. Le Dr Somorjai ajoute: "En ce qui me concerne, je cherche surtout à comprendre l'idée de base de la biologie moderne selon laquelle la fonction biologique d'une molécule est liée à sa structure tridimensionnelle; à mon avis, l'approche hiérarchique est particulièrement bien adaptée à ce problème et, par exemple, on devrait suivre la même voie pour l'élucidation de certains principes directeurs généraux du mécanisme de l'action enzymatique et de la reconnaissance du substrat. Il s'agit là d'un problème théorique extrêmement compliqué mais une étude du problème quelque peu plus simple du repliement protéique du point de vue hiérarchique devrait conduire à la décou-

verte d'importants indices. Si une protéine est déployée, elle perd toute son activité biologique et on dit qu'elle est dénaturée. Si cette protéine dénaturée est ensuite placée dans une solution appropriée à la température convenable, pH, etc., elle retrouvera la totalité ou presque de son activité biologique en un temps relativement court. Ceci se produit lorsque la protéine se replie pour adopter une forme biologiquement active. Un des objets de notre étude théorique est de calculer le ou les chemins suivis par la protéine au cours du processus de repliement."

Pour expliquer ce processus, on peut donner comme analogie, approximative bien sûr, le comportement d'un ressort sous tension qui a le potentiel de reprendre sa forme spiralée. Les systèmes qui adoptent spontanément des structures de basse énergie sont bien connus en physique et en chimie et des techniques de calcul s'appuyant sur la minimisation de l'énergie ont été mises au point pour atteindre ces structures de basse énergie. Cependant, ce qui intéresse le Dr Somorjai ce n'est pas seulement la conformation de l'équilibre final de la protéine mais aussi le chemin réel suivi au cours du repliement. On peut illustrer ce point à l'aide d'une métaphore, en comparant ce processus à la descente d'une route commençant près du sommet d'une montagne et finissant dans la vallée au niveau le plus bas. La route descend graduellement avec une succession de tours et de détours et à certains endroits elle peut serpenter sur le fond d'un ravin, ou même encore gravir une pente sur une courte distance. Nous servir des techniques conventionnelles de minimisation équivaldrait, selon notre métaphore, à ignorer l'existence de la route et à laisser des rochers, venant de différents points et allant dans des directions différentes, dévaler du flanc de la montagne. La descente de ces rochers serait rapide mais ils aboutiraient en toute probabilité dans des fossés ou des dépressions, n'atteignant jamais le fond de la vallée.

Les équations dynamiques qui permettraient de décrire le processus de repliement d'une protéine dans le détail semblent beaucoup trop compliquées pour être résolues en un temps raisonnablement court même avec les ordinateurs les plus rapides (le tracé de la route est à ce point tour-

The energy contour map of the dipeptide unit of alanine; the smallest proteins consist of about 60 such units.

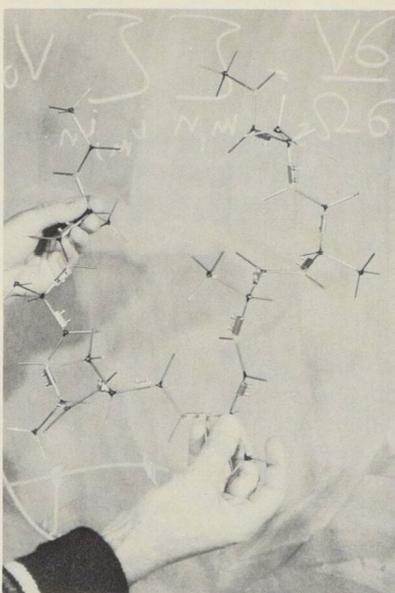


Les courbes de niveaux énergétiques de l'unité dipeptidique de l'alanine. Les plus petites protéines sont constituées d'environ soixante unités.

# protein folding



The unfolded or denatured form of a peptide (octa-alanine) held by Dr. R. Somorjai. Its two folded forms, one of which is an  $\infty$ -helix, are shown on the right.



Le Dr R. Somorjai tient un modèle de la forme non repliée, ou dénaturée, d'un peptide (octa-alanine). Ses deux formes repliées, dont une hélice  $\infty$ , sont visibles à droite.

to be solved in any reasonable length of time, even with the fastest computers. (The road meanders to such an extent that following it accurately would be too time consuming.) Faced with a problem of considerable computational difficulty, Dr. Somorjai decided to take the hierarchical approach: in mathematical terms, he partitions the variables that govern protein folding into "essential" and "non-essential" sets and performs his calculations with respect to only the essential variables. Returning to our illustration, the partitioning corresponds to discovering a ravine which slowly winds down toward the valley and contains the road meandering along its floor. By determining the (essential) direction of the ravine, one also finds the general direction of the road without the necessity of following each (nonessential) meander. Dr. Somorjai has succeeded in translating these qualitative concepts into feasible quantitative mathematical procedures.

In the course of his investigations, Dr. Somorjai carefully follows relevant experimental developments and keeps in close contact with experimentalists. For example, Nuclear Magnetic Resonance measurements on small peptides and hormones in solution, carried out by Dr. R. Deslauriers at NRC's Division of Biological Sciences provide Dr. Somorjai with data which aid in the verification and improvement of his theory. In turn, Dr. Somorjai's calculations will help in interpreting these experimental results in terms of the actual structure and detailed molecular motion of these peptides.

Dr. Somorjai and his collaborators, Research Associate Dr. H. Katz, an applied mathematician, and Dr. E. Ralston, a biochemist and Visiting Scientist from the Free University of Brussels, are also developing and implementing ideas which are natural complements and generalizations of the protein folding problem. In order to realize some of these ideas, the group is exploring the usefulness of mathematical concepts from control theory such as "sensitivity analysis". Sensitivity analysis enables one to compute the influence of external disturbances on a given physical process. For example, the effect of solvent perturbations on the stability of a given folding path can be determined. Another likely application is for the quantitative study of structure-function-activity relationships in general and enzyme-

substrate or hormone-receptor interactions in particular. To return to our metaphor: the external influence could be portrayed as the shifting of the whole terrain, mountain and valley, as would happen during an earthquake. This shifting could have several effects: only some sections of the road would change; the road would be completely destroyed but the direction of the ravine containing it would remain the same; or the whole terrain could undergo complete upheaval. Dr. Somorjai feels that protein folding occurs in several stages. The early stage corresponds to seeking out the general direction of the ravine containing the road; this direction should be stable to small external disturbances, otherwise a denatured protein would never renature. In the vicinity of the valley bottom another stage sets in in which accurate tracing of each meander in the road may be essential; on the other hand, the enzyme-substrate or hormone-receptor interaction may correspond more closely to the upheaval of the whole terrain.

Answers to questions of this nature have far-reaching practical implications since they aid in the design of new substances (drugs, hormones, enzymes) of enhanced biological activity. Thus problems which were selected for their intrinsic scientific interest and intellectual challenge can lead to solutions having immediate and real rewards. In fact, Dr. Somorjai, who also holds a position as Adjunct Professor at the University of Illinois Medical Center, is collaborating with Professor Roderich Walter, Head of the Biophysics and Physiology Department at the Center, to design new hormones on the basis of the theoretical considerations sketched above.

"Problems of this complexity demand a collaborative approach; it is also essential that traditional boundaries between individual scientific disciplines disappear. Only a multidisciplinary approach that integrates the concepts and methods of many fields has a legitimate hope of success in finding meaningful solutions to the intricate problems of biology," says Dr. Somorjai. Theoretical biology is, or should be, such an approach and it seems to offer the intellectual excitement and stimulation that attracted the young Bronowski to atomic physics in the twenties. □

David Peat

# le repliement protéique



Visiting Scientist, Dr. E. Ralston, examines a model of a typical protein ( $\alpha$ -chymotrypsin) which contains 245 units.

Le Dr E. Ralston, scientifique invitée, examine un modèle de protéine caractéristique (chymotrypsine  $\alpha$ ) composée de 245 unités.

menté qu'il serait trop laborieux de la suivre avec précision). Ayant à résoudre un problème d'une difficulté considérable sur le plan du calcul, le Dr Somorjai a choisi l'approche hiérarchique: en langage mathématique, il sépare les variables qui président au repliement protéique en ensembles "essentiels" et "non essentiels" et procède à ses calculs en ne tenant compte que des variables essentielles. Pour revenir à notre illustration, la séparation correspond à la découverte d'un ravin descendant lentement en serpentant vers la vallée et contenant la route au tracé sinueux. En déterminant la direction (essentielle) du ravin, on trouve également la direction générale de la route sans avoir à suivre chaque méandre (non essentiel). Le Dr Somorjai est parvenu à traduire ces concepts qualitatifs en processus mathématiques quantitatifs travaillables.

Tout en poursuivant ses investigations, le Dr Somorjai suit minutieusement les développements expérimentaux qui s'y rattachent et maintient un contact étroit avec les expérimentalistes. Pour citer un exemple, les expériences de résonance magnétique nucléaire sur de petits peptides et hormones en solution faites par le Dr R. Deslauriers, de la Division des sciences biologiques du CNRC, fournissent des données qui permettent au Dr Somorjai de vérifier et d'améliorer sa théorie. De la même manière, les calculs du Dr Somorjai faciliteront l'interprétation de ces résultats expérimentaux quant à la structure réelle et au mouvement moléculaire détaillé de ces peptides.

Le Dr Somorjai et ses collaborateurs, le Dr H. Katz, associé de recherche et spécialiste de mathématiques appliquées, et le Dr E. Ralston, biochimiste et scientifique invitée de l'Université libre de Bruxelles, développent et expérimentent également des idées qui sont des compléments et des généralisations naturels du problème du repliement protéique. Pour mettre certaines de ces idées en pratique, le groupe explore l'utilité des concepts mathématiques relevant de la théorie du contrôle comme, par exemple, "l'analyse de sensibilité". L'analyse de sensibilité permet de calculer l'influence des perturbations extérieures sur un processus physique donné. C'est ainsi que, par exemple, l'effet des perturbations provoquées par un solvant sur la stabilité d'un chemin de repliement donné peut être déterminé. L'étude quantitative des rapports entre la structure, la fonction et l'activité en général et des interactions entre l'enzyme et le substrat ou entre l'hormone et le récepteur en particulier est un autre domaine d'application vraisemblable. Pour revenir à notre métaphore: l'influence extérieure pourrait être décrite comme le glissement de la totalité du terrain, de la montagne et de la vallée, qui se

produirait au cours d'un tremblement de terre. Ce glissement pourrait avoir plusieurs conséquences: seules certaines sections de la route changeraient; la route serait complètement détruite mais la direction du ravin qui la contient resterait inchangée; ou encore l'ensemble du terrain pourrait subir un bouleversement généralisé. Le Dr Somorjai pense que le repliement protéique s'effectue en plusieurs stades. Le premier stade correspond à la détection de l'orientation générale du ravin où se trouve la route; cette orientation ne devrait pas être affectée par de petites perturbations extérieures, faute de quoi une protéine dénaturée ne retrouverait jamais sa forme native. A proximité du fond de la vallée un nouveau stade intervient où le tracé précis de chaque méandre de la route peut s'avérer essentiel; d'autre part, l'interaction entre l'enzyme et le substrat ou entre l'hormone et le récepteur peut correspondre plus étroitement au bouleversement généralisé du terrain.

Les réponses que l'on trouve à des questions de cette nature ont des implications pratiques d'une portée incalculable puisqu'elles facilitent la mise au point de nouvelles substances (médicaments, hormones, enzymes) ayant une activité biologique accrue. Ainsi donc, des problèmes qui ont été choisis en raison de leur intérêt scientifique intrinsèque et de la stimulation intellectuelle qu'ils suscitent peuvent conduire à des solutions dont les avantages sont immédiats et réels. En fait, le Dr Somorjai, qui occupe également le poste de professeur adjoint au Centre médical de l'Université de l'Illinois, collabore avec le professeur Roderich Walter, chef du Département de biophysique et de physiologie de ce centre, pour mettre au point de nouvelles hormones en s'appuyant sur les considérations théoriques esquissées ci-dessus.

Laissons le Dr Somorjai conclure: "Des problèmes de cette complexité exigent une approche conjointe; il est également essentiel que les frontières traditionnelles existant entre les différentes disciplines scientifiques soient abolies. Seule une approche multidisciplinaire intégrant les concepts et les méthodes de nombreux domaines peut raisonnablement laisser espérer que l'on réussira à trouver des solutions significatives aux problèmes complexes qui se posent en biologie. Telle est, ou devrait être, l'approche de la biologie théorique et elle semble provoquer l'enthousiasme et la stimulation intellectuelle qui ont attiré le jeune Bronowski vers la physique atomique dans les années vingt." □

Texte français: **Claude Devismes**

Cover: "As the old sing, so the young twitter", by Jacob Jordaens (1593-1678), courtesy National Gallery of Canada. The serving and savoring of food in good company is one of the delights of humankind. To scientists and industrialists, however, food has a more significant aspect. While processing and packaging are traditional concerns of the food industry, the search for alternative sources of food is rapidly becoming another. Financial assistance under the National Research Council's Industrial Research Assistance Program is stimulating research and development in these areas. (Story page 4).

Notre couverture: "Les jeunes piaillent comme chantent les vieux", de Jacob Jordaens (1593-1678), tableau reproduit avec la permission de la Galerie nationale du Canada. Servir et savourer des mets en bonne compagnie est l'un des plaisirs de l'humanité. Pour les scientifiques et les industriels, les aliments revêtent cependant un intérêt plus important. Bien que la transformation et le conditionnement des denrées aient toujours constitué la préoccupation traditionnelle de l'industrie alimentaire, la nécessité de découvrir de nouvelles sources alimentaires va rapidement en constituer une autre. L'aide financière fournie dans le cadre du Programme d'aide à la recherche industrielle du Conseil national de recherches stimule la recherche et le développement dans ces domaines (voir article page 5).

