

SCIENCE DIMENSION

1981/5



THE JUDEK EFFECT / L'EFFET JUDEK

SCIENCE DIMENSION

 National Research Council Canada
Conseil national de recherches Canada

Vol. 13, No. 5, 1981

Indexed in the Canadian Periodical Index
This publication is available in microform.

CONTENTS

-
- 4 The Judek effect**
Collisions that occur too soon
-
- 10 The microbe-bean connection**
Food from air via nitrogen
-
- 18 Briefly...**
-
- 20 Dinosaurs struck out?**
Asteroidal Apocalypse
-
- 28 Environmental sleuthing**
Industrial waste control
-

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

Editor-in-chief Loris Racine
Editor Wayne Campbell
Executive Editor Joan Powers Rickerd
Editor French Texts Michel Brochu
Editorial Production Coordinator Patricia Montreuil
Photography Bruce Kane
Coordinator, Design & Print Robert Rickerd
Design Banfield Advertising Ltd.
Printed in Canada by Beauregard Press Ltd.
31159-0-0858

When the bubble bursts

The problem of pesky hydrogen bubbles in steel becomes particularly acute when the products are steel rails according to NRC physical chemist Stirling Whiteway. Dr. Whiteway, of the Council's Atlantic Research Laboratory (ARL) in Halifax, has been looking into the problem for Nova Scotia's Sydney Steel Company (SYSCO). Hydrogen, the smallest of the elements, sneaks into the molten metal in its atomic form, usually from water vapor, and is capable of moving through the spaces between the iron atoms (picture stacks of bowling balls, and a ping pong ball moving through the spaces between the large balls). As the steel cools and hardens, its ability to hold hydrogen in these spaces decreases. When two atoms meet in larger holes caused by grain boundaries and other defects, the tendency for them to rejoin to form a hydrogen molecule (H_2) is great. As other hydrogen molecules gather in the pocket, a micro bubble forms, exerting pressures of 100 atmospheres or more. The stress imposed can exceed the strength of the steel, which literally starts to zip open, forming a small crack. If a steel rail containing such a crack is placed in service, the additional stress of heavy car loads or cold weather operation can spell disaster. Obviously, then, it is important to remove the hydrogen before the steel cools.

"As early as 1931, rail makers in Sydney had developed strategies for getting the hydrogen out by simply allowing finished rails to sit at high temperatures after the steel had been rolled," says Whiteway. "Given enough time, the hydrogen diffuses out. But this process was at the end of the rail production line and by 1975 it was becoming increasingly inconven-

ient and expensive to carry out."

SYSCO proposed instead that the hydrogen be baked out at the "bloom" stage, when the steel is still in a massive form about 25 x 40 x 600 cm. This strategy depended upon the ability to keep the temperature high enough in the stockpiled blooms for a sufficient period of time to allow the hydrogen to diffuse out. Because it had to be proved to the railway companies, a project guided by Dr. Whiteway was undertaken to obtain the necessary data.

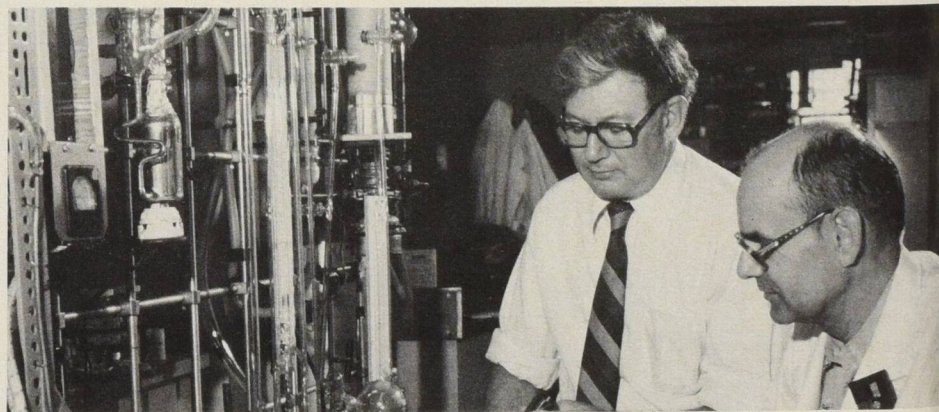
"That's where ARL's research into the diffusion of gases helped," explains Whiteway. "In our laboratory research, we measured the diffusion coefficient of hydrogen for different compositions of rail steel, information that is crucial for predicting how fast hydrogen will move out of the steel. For more information we brought in Prof. R. Hay of the École Polytechnique in Montreal, an expert in acoustic emission monitoring for the detection of flaws in metals. Hay was able to adapt the method to actually detect the formation of tiny microcracks, the process of metal unzipping due to the pressure of the hydrogen molecules."

In the end, Sydney Steel was convinced of the value of the new process, and, more important, the product customers, the railway companies, were also convinced. □

Sadiq Hasnain

At NRC's Atlantic Research Laboratory in Halifax, Stirling Whiteway (left) and Joe Uher have apparatus for measuring the diffusion coefficient of hydrogen in steel. (Walter Crosby, ARL)

Stirling Whiteway (à gauche) et Joe Uher, du Laboratoire de recherches de l'Atlantique du CNRC, à Halifax, mesurent le coefficient de diffusion de l'hydrogène dans l'acier. (Walter Crosby, LRA)

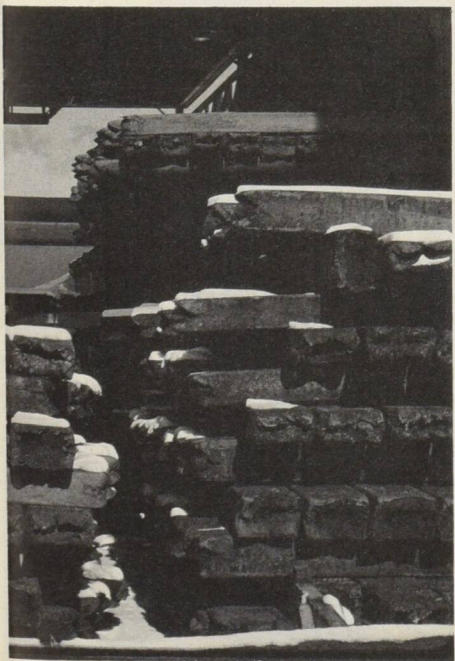


Ces fichues bulles...

Selon Stirling Whiteway, physico-chimiste du CNRC, la formation de bulles d'hydrogène dans l'acier est particulièrement gênante lorsqu'on l'utilise pour fabriquer des rails. Le Dr Whiteway, du Laboratoire de recherches de l'Atlantique (LRA), à Halifax, a étudié la question pour le compte de la Sydney Steel Company (SYSCO), de la Nouvelle-Écosse. L'hydrogène monoatomique, le plus léger des éléments, dérivé de la vapeur d'eau, pénètre dans les métaux en fusion et réussit à se faufiler dans les espaces libres qui séparent les atomes de fer (imaginez-vous une balle de ping-pong se faufilant dans un amas de boules de quilles). À mesure qu'il refroidit et qu'il durcit, la capacité de l'acier à retenir l'hydrogène dans ces espaces diminue. Il arrive fréquemment que deux atomes d'hydrogène se rencontrent dans des trous de plus grandes dimensions formés par les limites de grains et d'autres défauts, et s'unissent pour former une molécule d'hydrogène (H_2). Par la suite, d'autres molécules se rassemblent dans la poche et conduisent à la formation d'une bulle microscopique qui exercera

Empilement d'ébauches de rails chez SYSCO. Avec les précautions nécessaires, les ébauches peuvent être maintenues à une température permettant l'expulsion de l'hydrogène. (LRA)

Stockpile of rail blooms at SYSCO. With proper control, the blooms can be maintained so as to allow hydrogen to diffuse out of the steel. (ARL)



des pressions d'au moins 100 atm. La tension qui en résulte peut parfois dépasser la résistance de l'acier qui commence à se rompre, donnant naissance à une petite fissure. L'utilisation d'un rail fissuré, qui ne pourra résister aux contraintes additionnelles causées par le passage de lourds wagons ou le froid, peut conduire à une catastrophe. Il est donc évident qu'il faut éliminer tout l'hydrogène qu'il renferme avant de le laisser refroidir.

“Dès 1931, les fabricants de rails de Sydney avaient mis au point une méthode de diffusion de l'hydrogène qui consistait simplement à maintenir les rails à une température élevée après le laminage et d'arriver ainsi, au bout d'un certain temps, à éliminer l'hydrogène de l'acier”, explique le Dr Whiteway. “Toutefois, à partir de 1975, ce procédé, qui est appliqué à la dernière étape de la fabrication des rails, était devenu inadéquat et trop coûteux.”

SYSCO proposa que l'on élimine l'hydrogène par chauffage dès l'opération de bloomage, l'acier étant encore sous forme de blocs d'environ 0,25 x 0,4 x 6 m. Pour ce faire, on devait maintenir les masses d'acier à une température suffisamment élevée et assez longtemps pour permettre l'expulsion de l'hydrogène. L'efficacité de cette méthode devant être prouvée aux compagnies ferroviaires, un projet dirigé par le Dr Whiteway fut mis sur pied pour recueillir les données requises.

“C'est là que toute l'utilité des travaux de recherche du LRA sur la diffusion des gaz est apparue”, précise le Dr Whiteway. “Nous avons en effet mesuré les coefficients de diffusion de l'hydrogène de différentes compositions d'acier à rail, ces paramètres étant indispensables au calcul de la vitesse de diffusion de l'hydrogène. Nous avons aussi fait appel aux services du professeur R. Hay, de l'École Polytechnique de Montréal, qui est un spécialiste du dépistage des défauts métalliques par sondage acoustique. Le professeur Hay est parvenu à adapter sa méthode à la détection des microfissures provoquées par la pression des molécules d'hydrogène.

La Sydney Steel Company et, plus important encore, les compagnies ferroviaires sont tout à fait convaincues de l'efficacité de ce nouveau procédé. □

Texte français: Suzanne R. Pellerin

SCIENCE DIMENSION



Conseil national
de recherches Canada

National Research
Council Canada

Vol. 13, N° 5, 1981

Cité dans l'Index de périodiques canadiens
Cette publication est également disponible
sous forme de microcopies.

SOMMAIRE

5 L'effet Judek

Des collisions qui sortent de la norme

11 La fixation de l'azote

Une association fructueuse

19 En bref

21 Les dinosaures: victimes d'un astéroïde?

Vision d'apocalypse planétaire

29 Sur la trace des polluants

L'élimination des déchets industriels

La revue Science Dimension est publiée six fois l'an par la Direction de l'information publique du Conseil national de recherches du Canada. Les textes et les illustrations sont sujets aux droits d'auteur. La reproduction des textes, ainsi que des illustrations qui sont la propriété du Conseil, est permise aussi longtemps que mention est faite de leur origine. Lorsqu'un autre détenteur des droits d'auteur est en cause, la permission de reproduire les illustrations doit être obtenue des organismes ou personnes concernés. Pour tous renseignements, s'adresser au Directeur, Science Dimension, CNRC, Ottawa, Ontario. K1A 0R6, Canada. Téléphone: (613) 993-3041.

Directeur Loris Racine

Rédacteur en chef Wayne Campbell

Rédacteur exécutif Joan Powers Rickerd

Éditeur (textes français) Michel Brochu

Coordonnatrice de la rédaction Patricia Montreuil

Photographie Bruce Kane

Coordonnateur des arts graphiques et de l'impression
Robert Rickerd

Conception graphique Banfield Advertising Ltd.

Imprimé au Canada par Imprimerie Beauregard

31159-0-0858

A belligerent atomic nucleus

The Judek effect

On occasion, scientific discoveries present themselves in unexpected ways. In such cases only the most thoughtful and skilled of experimentalists will realize the significance of an anomalous or unexpected result. For Barbara Judek and her discovery of super-collisional nuclei an additional ingredient was required — that of considerable determination.

Dr. Judek learned the then-novel technique of using a photographic

plate to follow the tracks of nuclear particles when she was working at Edinburgh University in the 1950s. Called the “nuclear emulsion” technique, it employs a special type of photographic emulsion plate for recording these tracks. A fast particle passing through the emulsion has the same effect on the sensitive photographic grains lying in its path as the action of light on an ordinary photographic film. Some of the track characteristics,

their lengths, “straightness”, the amount of blackening and so forth, can be measured and they provide in-

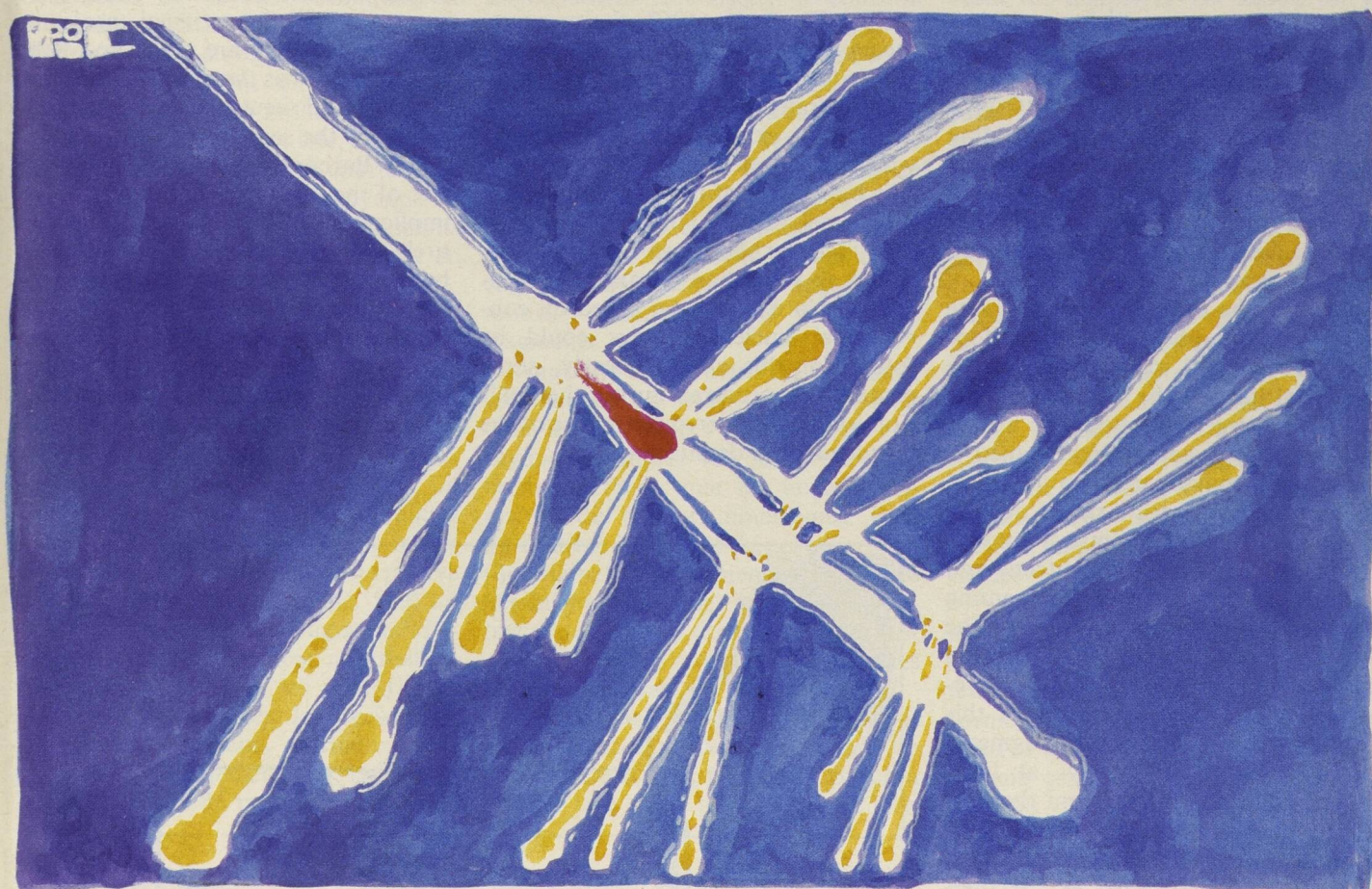
The Herzberg Institute's Dr. Barbara Judek. Quarks that spread out in space may be the answer.

Le Dr Barbara Judek, de l'Institut Herzberg d'astrophysique. Des quarks dispersés dans l'espace pourraient expliquer l'effet qu'elle a découvert.



L'effet Judek

Des noyaux atomiques belliqueux



Les découvertes scientifiques se présentent parfois sous un jour inattendu. Dans pareils cas, seul un expérimentateur attentif et compétent sera à même de saisir l'importance de résultats insolites ou inattendus. Mais dans le cas de Barbara Judek, à qui nous devons la découverte de noyaux présentant une incidence de collision anormalement élevée, il lui aura fallu faire preuve, en plus de ces qualités, d'une détermination considérable.

Alors qu'elle travaillait à l'Université d'Édimbourg dans les années cinquante le Dr Judek s'initia à la technique, nouvelle à l'époque, de "l'émulsion nucléaire". Cette technique fait appel à un type spécial d'émulsion photographique pour enregistrer la trajectoire des particules nucléaires. Une particule se déplaçant à grande vitesse impressionne les sels sensibles de l'émulsion qui se trouvent sur son passage, de la même façon que la lumière impressionne une pellicule photographique ordinaire. La mesure de certaines caractéristiques des "traces" laissées par les particules, leur lon-

gueur, leur "linéarité", la proportion des espaces sombres, etc., nous renseignent sur la nature de ces particules.

Après son émigration au Canada en 1953, le Dr Judek appliqua cette technique à l'étude des rayons cosmiques, c'est-à-dire aux particules élémentaires de haute énergie et aux radiations électromagnétiques en provenance des régions éloignées de l'espace et qui bombardent la Terre. Les expériences du Dr Judek, menées dans le cadre d'un vaste programme de recherche du CNRC sur les rayons cosmiques, consistaient entre autres à envoyer des ensembles de plaques photographiques dans les couches supérieures de l'atmosphère à bord d'un ballon. Cette méthode permet, grâce aux impressions qu'ils laissent sur les plaques photographiques, d'obtenir des indications sur la nature des rayons cosmiques voyageant à haute altitude.

Puis, les plaques sont récupérées et rapportées au laboratoire pour y être développées et examinées afin d'y déceler les traces témoignant du passage des particules énergiques. Lors d'un "évé-

nement" type, un rayon cosmique, ou "particule primaire", voyageant à une vitesse proche de celle de la lumière, entre en collision avec un noyau cible dans l'émulsion. L'impact ébranle les forces de cohésion des neutrons et des protons à l'intérieur du noyau et fait éclater à la fois le projectile et la cible. La figure en forme d'étoile qui en résulte, facilement identifiable et mesurable au microscope, représente les fragments éclatés qui proviennent de la désintégration. De façon générale, les fragments du noyau cible sont fortement déviés de leur trajectoire originale, tandis que les fragments du projectile ne s'en écartent que légèrement et conservent une grande partie de leur énergie pour poursuivre leur route sous forme de "rayons secondaires" dont on peut également suivre la trace jusqu'à ce qu'ils entrent en collision de nouveau ou quittent la plaque.

D'un événement à l'autre, le même scénario familial se répétait: invariablement, une étoile initiale donnait naissance à des rayons secondaires qui, en entrant en collision de nouveau, for-

formation about the nature of the particles.

After Dr. Judek emigrated to Canada in 1953, she applied this approach to the study of cosmic rays — high energy elementary particles and electromagnetic radiation which bombard the earth from outer space. Judek's experiments, part of a larger NRC program on cosmic rays, involved sending stacks of photographic plates into the upper atmosphere by balloon. At high altitudes the incoming cosmic rays would leave evidence of their nature on the photographic plates.

Back in the laboratory, each plate went through a photographic development process and was examined for a tracery of lines — the records of paths taken by energetic particles. In a typical "event" a cosmic ray, called a "primary", moving close to the speed of light, collides with a target nucleus in the emulsion. The impact loosens the forces that bind the neutrons and protons of the nucleus, fragmenting both the projectile and the target. The resulting "star", easily identified and measured under a microscope, represents the exploding fragments of this disintegration. The target fragments usually blow out sideways at large angles, while the pieces from the projectile nucleus deflect only slightly from their original path, carrying most of their energy forward as "secondaries". The tracks of these secondaries can then be followed through the plates until they collide again or leave the stack.

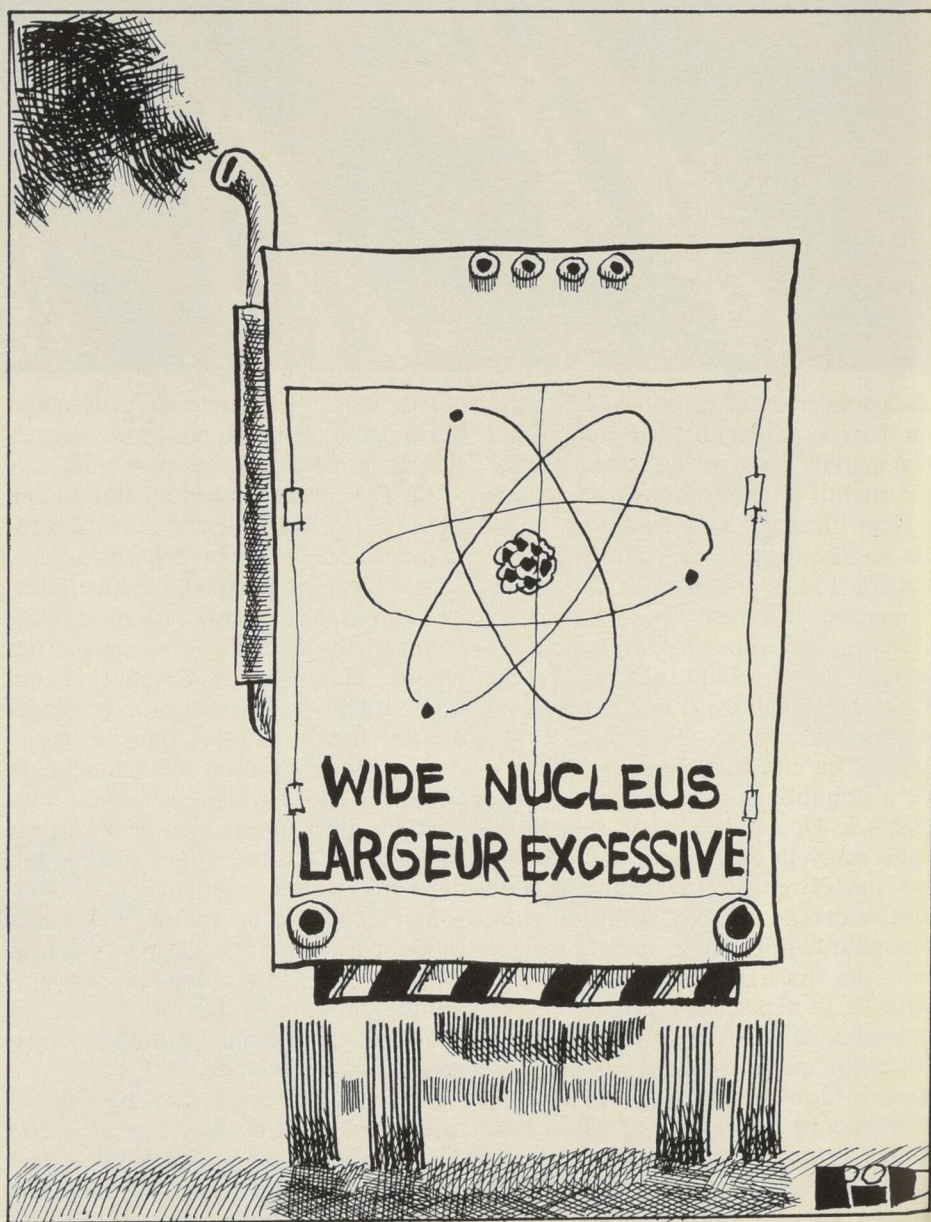
In one event after another, Dr. Judek saw the same familiar pattern. An initial star followed by the tracks of the secondaries. These latter paths would be marked by additional collisions, or stars, every 10 cm or so on average from the initial star. But, in 1965 during one of these investigations of cosmic ray fragments, Judek noticed that an unusually high number of the projectile fragments collided again after distances of only a few millimetres (mm) — extremely short when compared with the average 10 cm distances that "normal" fragments survived prior to collision.

Surprised by this, she proceeded with a systematic investigation of the effect and her suspicions were gradually confirmed: it wasn't simply a statistical coincidence; some of the fragments were really behaving in an anomalous way. Definitive proof of the phenomenon, however, required

time and a great deal of effort. Only a few percent of the fragments behaved in this way and they had to be identified and carefully measured among the much more numerous "normal" fragments. Finally, in 1967, the measurements produced convincing evidence that a few per cent of the lighter fragments (ranging from hydrogen to beryllium) exhibited some property which enhanced their chances of collision by a factor of five to ten times that of normal nuclei. They behaved as if their sizes or the range of forces surrounding them had expanded considerably. No explanation based on conventional nuclear physics could be found for this effect. Clearly, some process has occurred during the collision which has altered the nature of the fragments in a drastic way.

"Previous to this work," comments Dr. Judek, "it had been assumed that the secondary fragments from cosmic rays would behave in the same way as primary nuclei of similar sizes. They are parts of the original projectile nucleus, but they are made up of the same particles as the smaller primaries, protons and neutrons, and held together by the same nuclear forces."

For Barbara Judek, convincing the rest of the scientific community of the implications of her findings was an entirely different matter. Despite corroborative observations by a group from Minnesota, her work was viewed with considerable skepticism. Looking back, Dr. Judek is philosophic about the initial response from the scientific community: "There were several reasons for this attitude," she says. "The



maient d'autres étoiles, éloignées de 10 cm environ de la première. Mais voilà qu'en 1965, alors qu'elle se livrait à l'une de ces observations sur les fragments de rayons cosmiques, le Dr Judek remarqua qu'un nombre anormalement élevé de fragments de projectiles entraient en collision de nouveau à quelques millimètres seulement de la collision initiale, ce qui est une distance extrêmement courte si on la compare à la distance moyenne de 10 cm parcourue par les fragments "normaux" avant qu'ils n'entrent en collision de nouveau.

Surprise par ce comportement inusité, le Dr Judek s'attela à l'investigation systématique du phénomène. Ses soupçons se trouvèrent graduellement confirmés: il ne s'agissait pas d'une simple coïncidence statistique; certains fragments avaient véritablement un comportement anormal. Il lui faudra cependant investir beaucoup de temps et d'efforts avant d'obtenir une preuve concluante de cette anomalie. Seul un faible pourcentage des fragments affichaient un comportement anormal; le Dr Judek tâchera de les identifier et d'établir soigneusement leur récurrence parmi les fragments normaux plus nombreux. Finalement, en 1967, elle amassait assez de preuves pour affir-

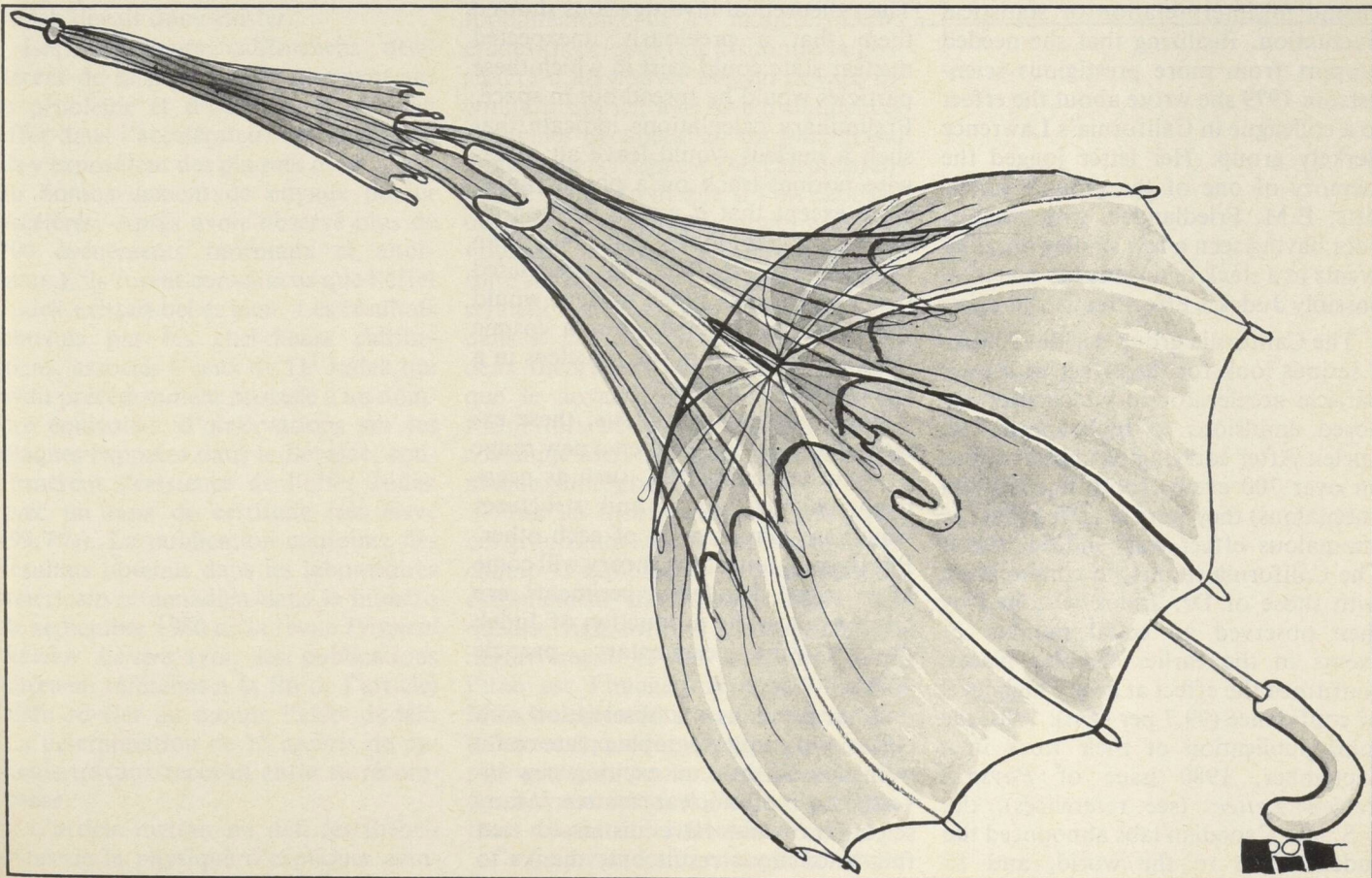
mer qu'un faible pourcentage des fragments provenant d'atomes légers (allant de l'hydrogène au béryllium) possédaient certaines propriétés qui augmentaient leur risque de collision par un facteur de 5 à 10 comparative-ment aux noyaux normaux. Ils se comportaient comme si leurs dimensions avaient crû soudainement ou comme si le champ de forces qui les entoure se trouvait subitement étendu. Aucun modèle de la physique nucléaire traditionnelle ne permet d'expliquer ce phénomène. De toute évidence, la collision engendre un phénomène capable de modifier radicalement la nature des fragments.

"Avant que ne débutent ces travaux", commente le Dr Judek, "on supposait que les fragments secondaires des rayons cosmiques se comportaient de la même façon que les noyaux primaires de mêmes dimensions. Bien qu'ils aient été éjectés du noyau projectile original, ces fragments sont formés des mêmes particules (protons et neutrons) que les noyaux primaires et leur cohésion est assurée par les mêmes forces nucléaires."

Convaincre le reste de la communauté scientifique des implications de ses découvertes fut, pour le Dr Barbara Judek, une tout autre histoire. Ses

découvertes, bien que corroborées par les observations d'un groupe de chercheurs du Minnesota, furent accueillies avec beaucoup de scepticisme. Avec le recul du temps, le Dr Judek est en mesure d'expliquer l'attitude initialement réservée des scientifiques: "Plusieurs raisons justifiaient cette attitude", remarque-t-elle. "Déjà, à cette époque, la technique de l'émulsion nucléaire n'était plus guère utilisée; on ne jurait plus que par les chambres à bulles et les chambres à étincelles modernes, ainsi que par les réseaux de comptage associés à des ordinateurs puissants. De plus, les spécialistes de la physique des particules avaient depuis délaissé les rayons cosmiques pour se tourner vers les accélérateurs de particules. Finalement, l'interprétation théorique de l'effet nécessitait une approche nouvelle; bien peu de gens étaient prêts à l'accepter sur la foi des preuves apportées par un seul chercheur."

Au début des années 70, le Dr Judek exposa un ensemble de plaques d'émulsion photographique dans l'accélérateur Bevalac de l'Université de la Californie, récemment amélioré pour permettre l'accélération des noyaux lourds comme ceux de l'oxygène. L'exposition des plaques à un bombardement



photographic emulsion technique was considered old-fashioned by that time; everyone was using modern bubble and spark chambers and large counter arrays backed up by computers. Also, particle physicists had shifted away from cosmic rays and were using accelerators. Finally, the theoretical interpretation of the effect called for new ideas, and few people were willing to accept it on the basis of evidence from a single scientist."

During the early 1970's, Judek exposed a stack of photographic emulsion plates in the University of California's "Bevalac" accelerator which had recently been upgraded to accelerate heavy nuclei like oxygen. Putting the stacks into a beam of fast oxygen is akin to cosmic ray exposure. Sure enough, the results from Bevalac confirmed Judek's earlier cosmic ray observations. Despite reporting these results to a European conference on cosmic rays in 1975, she received little response from other scientists in the field. No real attempt was made by the international physics community to confirm or disprove her anomalous effect.

But Dr. Judek persisted in her conviction that anomalous nuclei really existed and were not simply an experimental misinterpretation or statistical fluctuation. Realizing that she needed support from more prestigious scientists, in 1979 she wrote about the effect to a colleague in California's Lawrence Berkely group. Her letter jogged the memory of one of the group's physicists, E.M. Friedlander, who recalled once having seen a few similar puzzling events in a stack of cosmic ray plates — possibly Judek's effect really did exist.

The California group decided to take a serious look for the effect with their particle accelerator in which they exposed emulsions to high speed iron nuclei. After carrying out observations on over 700 events (both normal and anomalous) they were satisfied that the anomalous effect was, indeed, there. The California results, in combination with those of Dr. Judek who had by then observed an equal number of events in the earlier Bevalac plates, confirmed the effect at a very high level of confidence (99.7 per cent). With the joint publication of their work in a September, 1980 issue of *Physical Review Letters* (see references), the U.S. and Canadian labs announced the Judek effect to the world, and 15

years of patient determination were rewarded.

The joint paper proved a challenge to theoretical physicists who were forced to explain how a super-collosal nucleus could exist. Examination of the results indicated that while a Judek nucleus is ten times more reactive than normal it is composed of quite ordinary elementary particles. After drawing a blank with a number of conventional explanations, two theoreticians at Carleton University in Ottawa came up with a model which could well explain the anomalous results.

The details of Drs. William Romo and Peter Watson's theory are mathematical but a simple analogy may help. A person swinging a rolled umbrella finds little difficulty walking along the street, but if he swings an open umbrella he is in danger of colliding with passers-by. The umbrella's composition is exactly the same on both cases — fabric, handle and ribs. The only difference is that in the latter case the ribs have been spread out so that the umbrella offers a larger target.

Romo and Watson assumed that nuclear material (like protons and neutrons) is composed of quarks, the elementary building blocks of matter. Their theoretical investigations showed them that a previously unexpected nuclear state could exist in which these particles would be spread out in space. Preliminary calculations indicate that such a nucleus would leave an otherwise normal track on a photographic plate except that it would become involved in far more collisions than usual. The two theoreticians speculated that an extended Judek nucleus would sometimes be formed when a cosmic ray primary hits a normal nucleus in a photographic emulsion.

For theoretical physicists, these extended nuclear states open a new range of exciting possibilities, such as negatively charged nuclei and structures which are mirror twins of each other. But the real test of the theory will come after more detailed experiments are carried out in the production of Judek nuclei using elementary particle accelerators.

What began as the observation of a curiosity on a photographic plate could well blossom into an exciting new investigation of nuclear matter. Many scientists would have dismissed that first anomalous result but, thanks to

Barbara Judek's persistence, we are learning something new and unexpected about how nature works at the sub-microscopic level. □

David Peat

David Peat is a freelance writer working in Ottawa

For further reading

Friedlander, E.M., Gimpel, R.W., Heckman, H.H., Karant, Y.J., Judek, B., and Ganssauge, E. Evidence for Anomalous Nuclei among Relativistic Projectile Fragments from Heavy-Ion Collisions at 2 GeV/Nucleon. *Physical Review Letters*, Vol. 45, No. 13. 29 September 1980.

Romo, W.J., and Watson, P.J.S. The Judek Effect and Hidden Colour Excitations of Nuclei. *Physics Letters*, Vol. 88B, Nos. 3, 4. 17 December, 1979.

d'atomes d'oxygène accélérés provoque des effets semblables à ceux de l'exposition aux rayons cosmiques. Comme il fallait s'y attendre, les résultats du Bevalac confirmèrent les observations antérieures du Dr Judek sur les rayons cosmiques. Bien qu'elle ait fait état de ces résultats lors d'une conférence sur les rayons cosmiques tenue en Europe en 1975, le Dr Judek ne reçut que peu de commentaires des autres scientifiques travaillant dans le même domaine. Aucune tentative véritable ne fut faite, de la part de la communauté internationale de physique, pour confirmer ou infirmer l'existence de l'effet en question.

Malgré tout, rien ne put faire démor- dre le Dr Judek de sa conviction que les noyaux anormaux existaient vraiment et qu'ils n'étaient pas le fait d'une interprétation erronée de la part de l'expérimentateur ou d'une aberration statistique. Prenant conscience de la nécessité de recueillir l'appui de scienti- fiques prestigieux, elle écrivit en 1979 à un collègue du groupe Lawrence Berkeley, en Californie, pour lui faire part de sa découverte. À la lecture de sa lettre, un des physiciens du groupe, E.M. Friedlander, se souvint d'avoir déjà observé semblable anomalie dans un ensemble de plaques impressionnées par des rayons cosmiques: l'effet Judek devait donc exister.

Les chercheurs californiens déci- dèrent de se pencher sérieusement sur le problème et d'observer le fameux effet dans l'accélérateur de particules. Ils y exposèrent des plaques d'émulsion au bombardement de noyaux de fer accélérés. Après avoir observé plus de 700 événements (normaux et anor- maux), ils furent convaincus que l'effet Judek existait bel et bien. Les résultats obtenus par les chercheurs californi- ens, associés à ceux du Dr Judek qui avait précédemment procédé à un nom- bre équivalent d'observations sur les plaques exposées dans le Bevalac, con- firmèrent l'existence de l'effet Judek avec un taux de certitude très élevé (99,7%). La publication conjointe des résultats obtenus dans les laboratoires américain et canadien dans le numéro de septembre 1980 de la revue *Physical Review Letters* (voir les publications citées en référence à la fin de l'article) allait révéler au monde l'effet Judek. La détermination de 15 années de pa- tients travaux recevait enfin sa récom- pense.

L'article mettait au défi les théori- ciens de la physique d'expliquer com-

ment un noyau présentant une inci- dence de collision aussi élevée pouvait exister. L'examen des résultats montra que, bien que le noyau Judek soit dix fois plus réactif qu'un noyau ordinaire, il est composé de particules somme toute très ordinaires. N'ayant pas réussi à expliquer le phénomène à l'aide des théories traditionnelles, deux théoriciens de l'Université Carleton d'Ottawa ont bâti un modèle qui pour- rait bien permettre d'expliquer le com- portement anormal des noyaux.

La théorie des Drs William Romo et Peter Watson fait appel à des connais- sances mathématiques étendues mais une analogie simple peut nous aider à mieux en saisir le cheminement. Une personne qui porte à son bras un para- pluie fermé peut, sans problèmes, se promener sur le trottoir; mais si son parapluie est ouvert, elle risque d'ac- crocher d'autres piétons au passage. La composition du parapluie est la même dans les deux cas: étoffe, manche et baleines. La seule différence tient à ce que, dans la deuxième situation, les baleines sont tendues de sorte qu'il est plus facile de heurter la cible, repré- sentée ici par le parapluie.

La théorie de Romo et Watson pré- suppose que les éléments du noyau, protons et neutrons, se composent de quarks, hypothétiques constituants fondamentaux de la matière. Leurs études théoriques ont démontré la pos- sibilité d'un nouvel état du noyau, in- connu jusqu'ici, à la faveur duquel ces particules occuperaient un plus grand volume dans l'espace. Des calculs préli- minaires montrent que si l'on exposait des plaques photographiques à de tels noyaux on enregistrerait une trajec- toire normale, sauf que les collisions y seraient beaucoup plus fréquentes que dans le cas d'un noyau normal. Les deux théoriciens ont émis l'hypothèse que le noyau Judek volumineux est formé lors de la collision d'un rayon cosmique avec un noyau normal sur la plaque photographique.

Pour les théoriciens de la physique, ces grands noyaux ouvrent un nouveau champ d'exploration aux possibilités extrêmement intéressantes parmi les- quelles figurent les noyaux chargés négativement et les structures dont l'une est l'image miroir de l'autre. Mais leur théorie ne sera vraiment mise à l'épreuve que lorsque des expériences plus poussées permettront de produire des noyaux Judek à l'aide d'accéléra- teurs de particules élémentaires.

Ce qui avait commencé par la simple

observation d'un tracé anormal sur une plaque photographique pourrait bien déboucher sur une passionnante étude de la matière nucléaire. Contrairement au Dr Judek, beaucoup de scientifiques n'auraient tenu aucun compte de ce premier tracé anormal alors que, grâce à la détermination de celle-ci, il nous est désormais possible de jeter un regard neuf sur les agissements surpre- nants de la nature au niveau subnu- cléaire. □

Texte français: Line Bastrash

Lectures complémentaires

Friedlander, E.M., Gimpel, R.W., Heckman, H.H., Karant, Y.J., Judek, B., et Ganssauge, E. Evidence for Anomalous Nuclei among Relativistic Projectile Fragments from Heavy-Ion Collisions at 2 GeV/Nucleon. *Physical Review Letters*, Vol. 45, N° 13. 29 sep- tembre 1980.

Romo, W.J., et Watson. P.J.S. The Judek Effect and Hidden Colour Excitations of Nuclei. *Physics Letters*, Vol. 88B, N°s 3 et 4. 17 décembre, 1979.

Symbiosis, fertilizer and a molecular farm

The microbe-bean connection

NSERC

While it may just be another acronym to most people, NSERC, or the Natural Sciences and Engineering Research Council, has special meaning for scientists like Desh Verma and his colleagues in the university scientific community. Besides awarding fellowships and scholarships that allow science and engineering graduates to continue their studies (a vital role, given the projected shortages of trained scientists in Canada) the Council is a major source of funds to keep university labs running and equipped with the highly specialized (and very expensive) tools needed to do scientific research. As Canada's principal federal agency funding

basic research in science and engineering, NSERC will disburse upwards of \$197 million this year (1981-82) in support of university science across Canada. To encourage excellence, the Council identifies four outstanding university scientists annually and awards them its prestigious E.W.R. Steacie Memorial Fellowship, created in memory of a former president of the National Research Council. For scientists like Dr. Verma, one of this year's winners, the Fellowship frees him up from teaching duties for two years, allowing him to concentrate on his research. Because the McGill researcher works in a field related to food and agriculture, one of the areas of science judged vital to our national

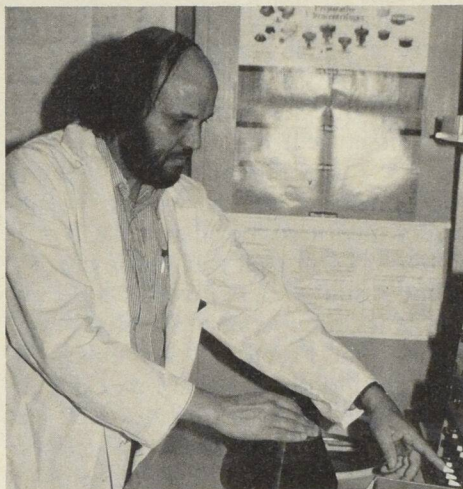
interest by NSERC (the others are energy, communications, oceans and environmental toxicology) he also receives what is known as a Strategic Grant to further support his research. Such a Grant could hardly be more appropriate for a project aimed at understanding and ultimately exploiting the biological process responsible for supplying living systems with nitrogen, an essential element in protein building.

Thus, NSERC is more than mere acronym to researchers like Desh Verma, and to ensure that it has meaning beyond the university community, Science Dimension begins with this issue to feature science supported by the Council on a regular basis.

Desh Pal Verma, a biologist at McGill University, has received one of the 1980-82 E.W.R. Steacie Fellowships from the Natural Sciences and Engineering Research Council (NSERC). The award allows Dr. Verma to concentrate on his research into the genetics of a fertile, rare symbiosis between plant and microbe. The study could, ultimately, improve the world's supply of food.

On the door of a biology laboratory at McGill University in Montreal a student has taped this sign: *Molecular Farm*. It's a witty and accurate label. Here, for the past eight years, Dr. Desh Pal Verma and many co-workers have been digging up facts about the unique partnership between legumes (beans, peas and other plants with seed pods) and the microbes which dwell in nodules in their roots. In exchange for home and sustenance, the minute guests provide their plant hosts with fertilizer which they make out of nitrogen drawn directly from the air.

To make the multitude of proteins essential to life, plants must have nitrogen. Their roots can draw this vital nutrient from soil in the form of decaying organic matter or chemically bound to oxygen as nitrate, but when plants grow rapidly as food plants do, this natural source is soon exhausted. The prime factor setting limits on the



McGill University's Desh Verma. Untangling the mysteries of an ancient relationship.

Le Dr Desh Verma, de l'Université McGill, essaie d'élucider les mystères d'une association de longue date.

productivity of farm crops and forest lands is the availability of nitrogen.

Yet nitrogen is abundant. Seventy-nine per cent of the earth's atmosphere is nitrogen, in the form of the inert gas N_2 . But the nitrogen in the winds blowing through their leaves and branches cannot be used by plants until it has been "fixed", that is, incorporated into a chemical form that allows cells to utilize it in protein building.

After World War I and the invention of the Haber process for fixing atmo-

spheric nitrogen (in effect reducing it to ammonia, or NH_3 , which can be used by life), artificial fertilizers came onto the market and led to a dramatic upsurge in food productivity. These fertilizers have come into widespread use in the interim, and in 1981 it is expected that farmers on this planet will spread some 40 million tons of nitrogenous fertilizer on their fields; this tonnage should quadruple by the end of the century.

But, there are serious drawbacks to this trend. The cost, for instance, is staggering. Building the new fertilizer plants to feed the world's burgeoning population will require billions of dollars in capital. Too, fossil fuels are consumed in the process, a drain on non-renewable energy supplies. Finally, fertilizing is inefficient, with rarely more than a third of the fertilizer actually being taken up by plants; the remainder is washed away, often nourishing strangulating blooms of algae in rivers.

Against this bleak background, the significance of biological nitrogen fixation is evident. Though only a few microorganisms — certain bacteria, certain algae — have mastered the trick, nevertheless the quantity of atmospheric nitrogen which they fix is at least three times greater than the total fixed industrially. Some biological nitrogen fixers live independently in

La symbiose au service de l'agriculture

Une association fructueuse

Le CRSNG

Pour la plupart des gens ce n'est peut-être qu'un sigle de plus, mais pour le Dr Desh Verma et ses collègues du secteur universitaire ce nom de CRSNG, c'est-à-dire Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie, a une signification particulière. En effet, en plus d'accorder des bourses de recherche ou d'études qui permettent à des diplômés en sciences ou en génie de poursuivre leurs études (jouant déjà en cela un rôle vital face à la pénurie attendue de scientifiques au Canada), cet organisme représente, pour les laboratoires universitaires, une source majeure de financement grâce à laquelle ils peuvent fonctionner et acquérir l'équipement

hautement spécialisé et coûteux indispensable à la recherche scientifique. Ainsi, le CRSNG déboursa plus de 197 millions de dollars au cours de l'année financière 1981-82 pour soutenir la recherche universitaire canadienne. Il sélectionne chaque année quatre chercheurs universitaires remarquables et leur accorde la prestigieuse Bourse commémorative E.W.R. Steacie, créée en mémoire d'un ancien président du CNRC pour encourager l'excellence. En ce qui concerne le Dr Verma, scientifique de l'Université McGill comptant parmi les boursiers de cette année, cette bourse le libère de ses tâches d'enseignement pendant deux années et lui permet de se consacrer entièrement à ses travaux de recherche. Ceux-ci

touchent un domaine lié à l'alimentation et à l'agriculture, secteurs que le CRSNG juge d'intérêt vital pour le pays au même titre que l'énergie, les communications, les océans et la toxicologie de l'environnement. Ce chercheur a également reçu une bourse thématique qui lui a permis d'étudier le processus biologique de la fixation de l'azote, élément essentiel à la synthèse des protéines.

Le CRSNG représente donc plus qu'un simple sigle pour des chercheurs comme le Dr Desh Verma et, pour s'assurer que le monde universitaire ne sera pas seul à en saisir toute l'importance, Science Dimension ouvrira désormais ses colonnes aux travaux de recherche subventionnés par ledit conseil.

Le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG) a décerné une des Bourses commémoratives E.W.R. Steacie 1980-82 au Dr Desh Pal Verma, biologiste de l'Université McGill, lui permettant ainsi de concentrer tous ses efforts sur ses travaux de recherche touchant la génétique d'une symbiose fructueuse et rare entre une plante et un microbe. Les résultats que l'on peut en attendre sont susceptibles de conduire à un accroissement de la production agricole mondiale.

C'est dans un laboratoire de biologie de l'Université McGill, à Montréal, fort à propos baptisé "ferme moléculaire", que le Dr Desh Pal Verma et plusieurs de ses collègues étudient depuis huit ans l'association particulière qui existe entre les légumineuses (haricots, pois et autres plantes dont le fruit est une gousse) et les micro-organismes qui se développent dans les nodules de leurs racines. Bien que ces micro-organismes vivent au dépend des légumineuses, ils leur fournissent en retour de l'engrais qu'ils synthétisent directement à partir de l'azote contenu dans l'air.

Pour synthétiser la multitude de protéines indispensables à la vie, les plantes ont besoin d'azote. Leurs racines peuvent prélever cet élément vital dans la matière organique en

décomposition ou les nitrates contenus dans le sol, cependant, lorsque les plantes ont une croissance rapide comme c'est le cas pour les cultures alimentaires, ces sources naturelles sont rapidement épuisées. La productivité d'une terre ou d'une forêt dépend principalement de la quantité d'azote disponible.

Pourtant, l'azote est abondant. Il compose, sous forme de gaz inerte (N_2), 79% de l'atmosphère terrestre. Cependant, pour être absorbé par les plantes, l'azote contenu dans l'air doit être "fixé" ou incorporé dans un composé qui rend son utilisation possible pour la synthèse des protéines.

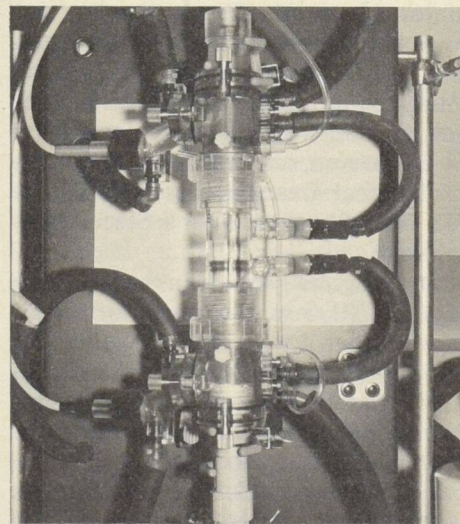
Après la Première Guerre mondiale et à la suite de la découverte du procédé Haber de fixation de l'azote atmosphérique qui consiste à réduire cet élément pour obtenir de l'ammoniac (NH_3) utilisable par la matière vivante, les engrais artificiels firent leur apparition et entraînèrent un accroissement considérable de la productivité agricole. Leur emploi s'est généralisé depuis et on a calculé que les agriculteurs de notre planète répandront quelque 40 millions de tonnes d'engrais azotés sur leurs champs en 1981 et on prévoit que l'on atteindra vraisemblablement les 160 millions de tonnes d'ici la fin du siècle.

Cette tendance présente toutefois de sérieux inconvénients. La construction

de nouvelles usines d'engrais pour répondre aux besoins alimentaires d'une population ne cessant de croître exigera des investissements atteignant plusieurs milliards de dollars. L'opération s'accompagnera par ailleurs d'une

Les deux bandes rouges sur le tracé électrophorétique correspondent à deux types de lég'hémoglobines. Ce gros appareil d'électrophorèse produit des champs électriques qui permettent la séparation des protéines et leur extraction en quantités suffisantes pour la préparation d'échantillons purs. (Dr Desh Verma)

Two species of leghemoglobin show up as two bands of red in this large electrophoretic apparatus, which, using electric fields, separates proteins in quantities sufficiently large to prepare pure samples. (Dr. Desh Verma)

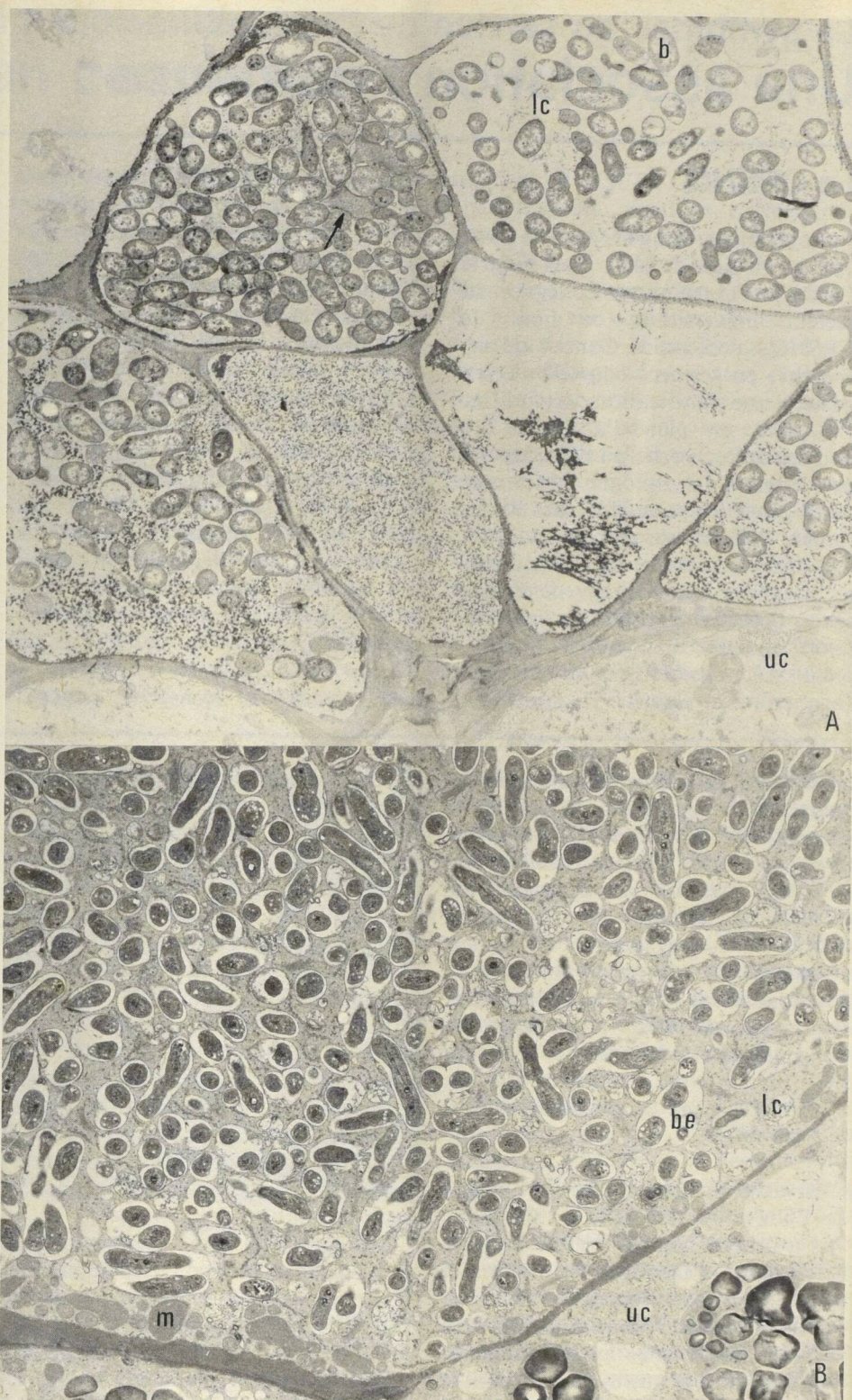


the soil while others live with and in plants so that together both achieve what neither could do alone. Of this latter group, by far the most important for mankind, and the best known, are bacteria of the genus *Rhizobium*, which inhabit nodules in the roots of legume plants.

When a bacterium known as *Rhizobium japonicum* infects a cell in the root of a soybean plant — the specific legume with which this microorganism has evolved a symbiotic association — it divides, multiplies and becomes subtly altered until there are as many as 2,000 so-called bacteroids inside a single cell. Though grossly swollen, the cell is not damaged. Shake the dirt off the roots of an infected soybean and you will see the clusters of whitish nodules, each about the size of a ball-bearing, formed from these bacteria-packed cells. After infection the plant does not sicken; on the contrary, it puts on a spurt of growth. For what in the Haber process requires brute force (temperatures in the hundreds of degrees, and pressures hundreds of times greater than that at sea level), bacteria achieve at ordinary temperatures and pressures, powered by solar energy; they draw atmospheric nitrogen from pores in the soil, convert it into ammonium, and give it to the bean plant.

From the nitrogen fixed by its symbiotic partner, the plant makes amino acids. These in turn are assembled into the proteins from which, when we eat bean curd, tofu or other soybean food products, we build our bodies. But soybeans, peanuts, chickpeas and other legumes currently play a minor role in feeding the people of the world. Can the fertile partnership between legumes and nitrogen-fixing bacteria somehow be transferred to the plants which play major roles in our diets — to corn, rice or wheat? To answer such a question, a host of fundamental facts about the intricate molecular mechanisms involved in this strange symbiosis must be discovered, and it is for his research in this vital area that Desh Pal Verma has been honored with a Steacie Fellowship.

Desh Verma grew up in the small village of Tikri in the north of India. "Even when I was young," he recalls, "I had something of the scientist in me. I was fascinated with how things work. When I was 13, for instance, I built my first radio from basic components, a skill which allows me to fix laboratory equipment in emergencies."



Legume cells infected by *Rhizobial* bacteria (the small, potato-like dark globs) magnified 4,800 dia. by an electron microscope. Above: Parasitism. The granulation visible between the bacteria indicate that these pea shoot cells are being destroyed. Below: Symbiosis. A soybean cell, greatly swollen by bacteria (only a portion of the cell can be seen) remains in perfect condition. To the experienced eye, all the cell's vital machinery, such as mitochondria and other organelles, are visibly intact. (Dr. Desh Verma)

Cellules de légumineuses (petits globules de couleur foncée) infectées par la bactérie rhizobiale et grossies 4 800 fois au microscope électronique à balayage. Ci-dessus: Le parasitisme. Les granulations que l'on voit entre les bactéries indiquent que ces cellules de pousse de pois sont attaquées par les micro-organismes. Ci-dessous: La symbiose. Bien que la pénétration bactérienne l'ait fait considérablement enfler, cette cellule de soja demeure en parfait état (seulement une partie de la cellule est visible). Pour l'oeil averti il est facile de reconnaître que tous les éléments vitaux de la cellule comme, par exemple, les mitochondries et d'autres organites ne sont pas endommagés. (Dr Desh Verma)

consommation supplémentaire de combustibles fossiles et elle contribuera de ce fait à l'épuisement des ressources non renouvelables. Finalement, l'utilisation d'engrais n'est pas rentable du fait que les plantes absorbent rarement plus que le tiers du produit répandu sur les champs, le reste étant lessivé par la pluie qui l'entraîne dans les rivières où il favorise souvent la prolifération de plantes et d'algues étouffantes.

Face à ces aspects négatifs, l'importance de la fixation biologique de l'azote est évidente. Bien que seuls quelques micro-organismes (certaines bactéries et algues) soient capables de fixer l'azote atmosphérique, les processus de fixation qu'ils utilisent sont au moins trois fois plus efficaces que ceux de l'industrie. Certains fixateurs d'azote sont présents dans le sol alors que d'autres vivent en association avec des plantes et se complètent mutuellement. De ce dernier groupe, ce sont les bactéries du genre *Rhizobium* qui sont les plus connues et de loin les plus importantes pour l'humanité; elles se développent dans les nodules des racines des légumineuses.

Lorsqu'une bactérie *Rhizobium japonicum* infecte une cellule racinaire de soja, légumineuse avec laquelle elle vit en association symbiotique, celle-ci se divise et les cellules filles subissent quelques légères modifications pour accommoder jusqu'à 2 000 de ces micro-organismes dits bactérioides. Bien que considérablement élargies, ces cellules ne sont pas endommagées. Lorsque l'on élimine la terre qui recouvre les racines de soja infectées on peut voir des amas de nodules blanchâtres de la taille d'une petite bille et constitués de cellules bourrées de bactéries. Cette infection ne nuit pas à la santé de la plante; au contraire, elle favorise son développement. Pour les résultats que le procédé Haber permet d'obtenir au moyen de températures de plusieurs centaines de degrés et de pressions des centaines de fois supérieures à la pression atmosphérique, les bactéries ne demandent que des températures et des pressions ordinaires et l'énergie du Soleil; elles tirent l'azote atmosphérique du sol poreux et le convertissent en ammonium que la plante peut utiliser.

À partir de l'azote fixé par son partenaire symbiotique, la plante synthétise des acides aminés. Ceux-ci sont par la suite assemblés en protéines dont nous nous nourrissons sous forme de caillé au soja, de tofu ou d'autres produits

alimentaires. Cependant, le soja, les arachides, les pois chiches ainsi que d'autres légumineuses ne jouent actuellement qu'un rôle mineur dans l'alimentation de la population mondiale. Ne serait-il pas possible de faire bénéficier les plantes qui jouent un rôle plus important dans notre régime alimentaire, comme le maïs, le riz ou le blé, de cette association fertile qui existe entre les légumineuses et les bactéries responsables de la fixation de l'azote? Pour être en mesure de répondre à cette question, il est nécessaire d'élucider les mécanismes moléculaires complexes qui interviennent dans cette symbiose particulière, et c'est pour le récompenser des recherches qu'il a effectuées dans ce domaine d'importance vitale que le Dr Desh Pal Verma s'est vu décerner une Bourse commémorative E.W.R. Steacie.

Desh Verma a grandi dans le petit village de Tikri, au nord de l'Inde. "Même lorsque j'étais jeune", explique-t-il, "j'étais déjà attiré par la Science. Je voulais savoir comment les choses fonctionnaient. À 13 ans, par exemple, je fabriquai mon premier poste de radio avec quelques pièces de base et ceci me permet maintenant de réparer l'équipement de laboratoire en cas d'urgence." Après avoir obtenu son B.Sc. et son M.Sc. en morphologie végétale à l'Université d'Agra, il quitta l'Inde pour venir au Canada et, en 1970, il obtenait son Ph.D. à l'Université de Western Ontario où il effectua des travaux sur la capacité des plantes de survivre aux radiations ionisantes. Il étudia pendant deux autres années à l'Institute of Cancer Research, à Philadelphie, qu'il décrit comme un "organisme très dynamique où la compétition est vive", puis il entra à McGill où il fut attiré par un domaine tout nouveau: la botanique moléculaire.

Au début des années 70, de nombreux spécialistes de biologie moléculaire s'intéressaient aux possibilités d'incorporer dans le matériel génétique des plantes les gènes bactériens "fixateurs d'azote" pour leur permettre d'assurer leur propre fertilisation. D'après le Dr Verma, ceci semblait plus difficile "que de croiser des pommes avec des oranges". "Je doutais un peu de la faisabilité de ce projet", ajouta-t-il, "car il ne suffit pas d'introduire des gènes de bactéries dans des plantes, il faut également assurer leur expression se traduisant dans ce cas par la production de l'enzyme nitrogénase responsable de la

fixation de l'azote et favoriser le déroulement de ce processus en fournissant l'énergie biologique nécessaire. En outre, alors que la cellule végétale a besoin d'oxygène pour survivre, la nitrogénase est très sensible à cet élément. Je m'intéressais plutôt aux gènes intervenant dans la symbiose; ma stratégie consistait à expliquer leur mécanisme d'expression et à trouver un moyen de les manipuler afin de transférer à d'autres plantes la capacité de collaboration entre bactéries et légumineuses." Ceci est peut-être facile à dire, mais bien plus difficile à réaliser.

"Reconnaître les gènes intervenant dans la symbiose", ajoute le Dr Verma, "est aussi difficile que de chercher un chat noir dans la nuit, il n'existe aucun point de repère pour vous guider."

Cependant, à la suite d'une série d'expériences élégantes et délicates, le Dr Verma et ses collègues réussirent à dresser les grandes lignes de ces gènes si bien masqués.

"Je commençai d'abord par chercher un moyen d'étudier un gène végétal particulier", explique-t-il. "En général, le matériel génétique des cellules végétales n'est pas très abondant, mais les nodules des racines des légumineuses riches en protéines appelées légghémoglobines attirèrent immédiatement mon attention."

Rencontrée uniquement dans les nodules des racines des légumineuses, la légghémoglobine ressemble par sa couleur et ses fonctions à l'hémoglobine qui donne sa couleur rouge au sang et qui véhicule l'oxygène des poumons aux cellules. En effet, elle colore l'intérieur des nodules de soja en rose comme on peut le voir en les sectionnant et elle est également constituée d'une protéine et d'une molécule d'hème qui fixe l'oxygène.

L'objectif du Dr Verma était de déterminer le code génétique de la synthèse de la légghémoglobine non pas sous la forme qu'il revêt dans l'ADN du noyau, mais tel qu'il est exprimé dans l'ARN messager, au niveau de la synthèse des protéines. De nombreux chercheurs ont essayé d'isoler ces séquences particulières du matériel génétique de cellules eucaryotes (ou contenant un noyau), mais peu d'entre eux y sont parvenus.

Les gènes sont des petits segments de molécule d'ADN constitués de deux brins entortillés. Tout comme les lettres d'un mot de passe, les unités chimiques qui se suivent comme des maillons d'une chaîne le long de cha-

After taking his B.Sc. and M.Sc. in plant morphology at the University of Agra he left India for Canada, and in 1970, finished his Ph.D. at the University of Western Ontario, where he worked on the ability of plants to survive ionizing radiation. For two years he studied at the Institute of Cancer Research in Philadelphia — “a very active, competitive place,” he says — and then on to McGill, where he was attracted to a field just coming of age — plant molecular biology.

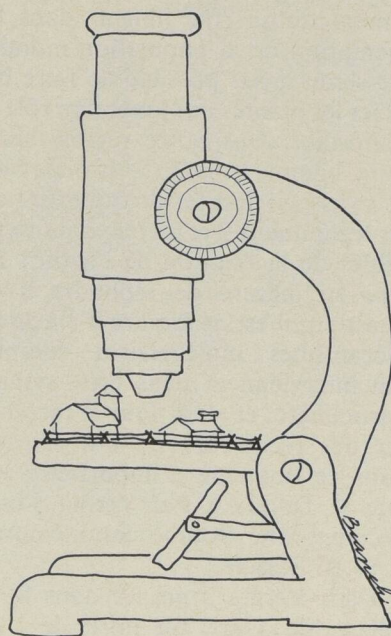
Early in the 1970's many molecular biologists were enthusiastically talking about teaching plants to fertilize themselves by providing them with nitrogen-fixing genes from bacteria. To Verma, these plans sounded more difficult than breeding apples with oranges. “I became somewhat dubious,” he says. “Even if you were physically successful in putting bacterial genes directly into plants you then have to get the plant to express them — in other words, to synthesize the enzyme nitrogenase that fixes nitrogen, and to support this process with the biological energy it needs. The problem here is that while the plant cell needs oxygen to live, nitrogenase is very sensitive to oxygen. The strategy I developed was to leave the nitrogen-fixing functions where they are, in the bacteria, and try to understand the leguminous plant genes that are involved in the symbiotic relationship; then, once we learned to manipulate them, transfer the ability to cooperate with bacteria from legumes to other plants.” Easily said, perhaps, but much more difficult to carry out.

“Searching for all the genes involved in symbiosis,” says Verma, “is like searching for a black cat in a dark room — there are very few landmarks to guide you.”

In a series of elegant and subtle experiments, Verma and his collaborators have pinned down, at least in outline, their elusive quarry.

“I began looking for a model system that would allow me to study a specific plant gene,” he explains. “Usually, a plant cell does not make abundant quantities of any gene product, but legume root nodules right away caught my attention; they contain an abundant protein known as leghemoglobin.”

Found only in legume root nodules, leghemoglobin is remarkably similar, in color and function, to the hemoglobin which colors human blood red, and which carries oxygen from our



lungs to our cells. If you slice open a soybean nodule with your fingernail, you see that its interior is tinted pink by leghemoglobin. Like our hemoglobin, the plant molecule is composed of a protein component and a so-called heme ring which binds the oxygen.

What Dr. Verma wanted to do was isolate the gene in the plant cell that held the code for making leghemoglobin, not in the form that it is found in the nucleus, as DNA, but as it is expressed at the site where protein synthesis takes place, as messenger-RNA. Many people were trying to isolate such sequences from eukaryotic cells (cells with a nucleus) but few had succeeded.

Genes are short segments of a twisted, double-stranded molecule known as DNA. Like letters spelling out code words, the chemical units strung out along each of its strands carry instructions telling the cell exactly what to do. The message is copied — and somewhat edited — to form a single-stranded molecule, messenger-RNA, the mirror image of a DNA strand. Messenger RNA carries the genetic instructions out from the nucleus to the cell's workbench where they are translated into the assembly of amino acids that make up proteins like leghemoglobin. DNA makes RNA; RNA makes proteins; proteins make us and all other living things.

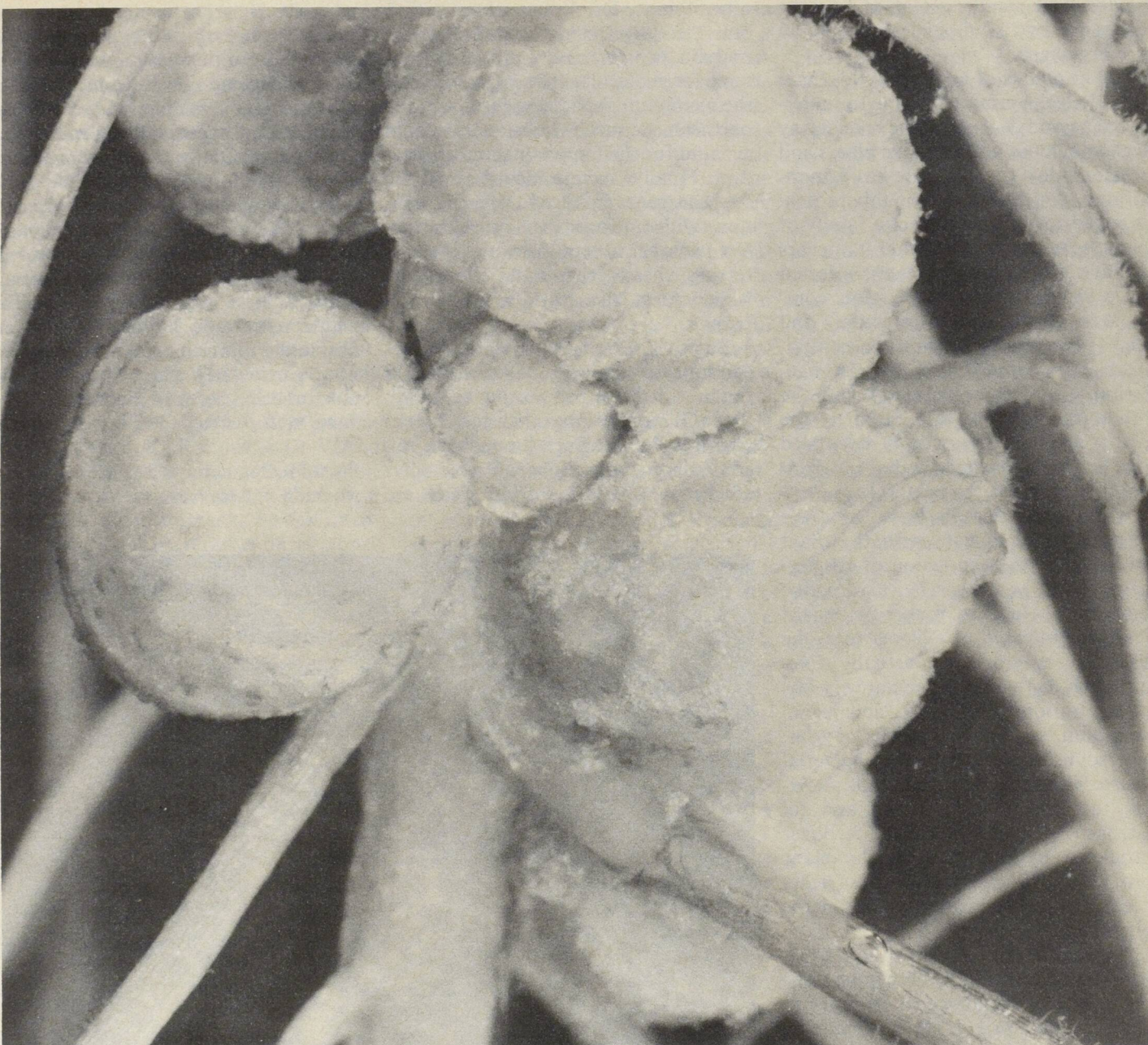
What Verma did was separate the messenger RNA sequences found out-

side the nucleus of an infected soybean root cell by their size, using techniques called ultracentrifugation and electrophoresis. Since leghemoglobin is the most abundant protein in these cells, he reasoned that it must be coded for by the messenger-RNA which occurred most frequently. To clinch his identification, he mixed this abundant messenger-RNA with a laboratory system that translates the messenger-RNA code into protein; the system obediently manufactured leghemoglobin.

The next step, putting his hands on the actual gene for leghemoglobin, the DNA from the soybean cell nucleus, was not so easy — nor, for that matter, was it cheap. It required the expansion of Verma's “molecular farm” and the purchase of elaborate equipment — including a lab bench covered by a negative-pressure hood for containing biohazards — and expensive enzymes, isotopes and other supplies. It required the cooperation of students, fellow scientists in a number of countries, the application of the latest techniques of molecular biology, and many long hours of work.

Here, in brief, is how it was done. The entire set of soybean genes, its genome, was snipped up into millions of short fragments of DNA. Each fragment was then inserted into a bacterium and cloned, thereby creating a huge gene “library”. The problem now was to fish out from a labful of test tubes the clone containing the DNA fragment coding for leghemoglobin. Verma's solution was to make a probe, a radioactively-labelled molecule similar in structure to leghemoglobin DNA, and hence with a tendency to bind to it.

David Thomas, a molecular geneticist at the National Research Council in Ottawa, helped construct the probe. In Montreal, rough versions of the desired DNA were made, modelled on the RNA which Verma had already isolated, and shipped to Thomas in Ottawa, who then inserted these gene copies into bacteria, cloned them, and sent them back. Verma then isolated the cloned DNA, tagged it with radioactive tracers, and used it to screen the gene library of the soybean cell. “It was a very complex system,” he says. “And it took years of hard work.” The first soybean genomic libraries screened with this “hot” probe failed to yield a leghemoglobin gene, but finally not one but two clones “lit up”. In the February 5, 1981, issue of *Nature*, Verma and his co-workers re-



que brin contiennent les instructions que doit suivre la cellule. Le message est transcrit et quelque peu complété pour donner une molécule ayant un seul brin, l'ARN messenger, qui est l'image spéculaire d'un brin d'ADN. Celle-ci transporte l'information génétique relative à l'assemblage des acides aminés en protéines comme la légghémoglobine du noyau au site de leur synthèse. Ainsi, l'ADN intervient dans la synthèse de l'ARN, l'ARN intervient dans la synthèse des protéines et les protéines sont des éléments constitutifs de tous les organismes vivants.

Le Dr Verma classa, en fonction de leur taille, les séquences d'ARN messenger se trouvant à l'extérieur du noyau d'une cellule de soja infectée. Il utilisa pour cela des techniques appelées ultra-

centrifugation et électrophorèse. Comme la légghémoglobine est la plus abondante des protéines contenues dans ces cellules, il raisonna que sa synthèse devait être codée par l'ARN messenger rencontré le plus fréquemment. Pour s'en assurer, il mélangea ce dernier à une préparation permettant la traduction du code en protéines et la légghémoglobine fut aussitôt synthétisée.

L'étape suivante, qui a consisté à isoler le gène responsable de la synthèse de la légghémoglobine contenu dans l'ADN nucléaire d'une cellule de soja, a été plus difficile et plus coûteuse à réaliser. Elle demanda l'expansion du laboratoire du Dr Verma et l'acquisition d'équipement élaboré, notamment d'un banc équipé d'une hotte à pres-

C'est dans des nodules de racines de légumineuses, comme ceux que l'on voit ici, que se déroule la fixation de l'azote. Image grossie 22 fois au microscope optique. (Dr. Desh Verma)

Root nodules such as these from a legume plant are the site of nitrogen fixation. Light microscope magnification: 22 dia. (Dr. Desh Verma)

sion négative pour le confinement des expériences ainsi que l'achat d'enzymes, d'isotopes et d'autres matériaux coûteux. Elle fit appel à la collaboration d'étudiants et de scientifiques de pays étrangers ainsi qu'à l'application des dernières techniques de pointe de biologie moléculaire et coûta de nombreuses heures de travail.

Ceci fut réalisé de la façon suivante. Les gènes du soja, qui constituent son génome, furent tous réduits en millions

ported their results: a map of how the genes for two kinds of leghemoglobin are organized.

In the course of arriving at this basic knowledge, Verma has come to understand a good deal about the crucial way leghemoglobin helps legume plants and *Rhizobia* live together. He has demonstrated, conclusively, that this protein is coded for by not one but a family of plant genes. He showed that it appears about a week after soybean is infected by *Rhizobia* (nitrogen fixation commences 10 days after infection) and that it is assembled from two components, one contributed by the bacterium (the heme structure) and the other (the protein) elaborated by the plant; also, the structure is assembled just inside the membrane that the plant builds to enclose the bacteria.

Verma still doesn't know how the bacteria communicate with the plant and control the expression of the leghemoglobin genes, but he can describe how both partners mutually benefit from the interaction. Nitrogenase, the bacterial enzyme that actually fixes nitrogen, can only function at very low concentrations of oxygen, and leghemoglobin, we know, absorbs oxygen. The soybean plant bathes its bacterial guests with leghemoglobin, thus allowing the enzyme to function and fix nitrogen. In exchange for the fertilizer produced by the bacteria, the plant provides a home and the nutrients needed to sustain its guest microorganisms.

"By early '76," Verma says, "I realized that there had to be not just one but a whole slew of genes in order to achieve symbiosis." He has recently discovered evidence for such genes in a set of more than 20 proteins produced by the soybean and, apparently, necessary to the development of symbiosis. Verma calls the proteins nodulins, and he found them by developing a sensitive immunological probe.

In sum, the method involves raising antibodies in test animals to the host of proteins found in infected root cells, then removing all those antibodies that are also raised in uninfected root cells. This leaves only the antibodies targeted on proteins that arise as a result of the symbiotic or infected state — the nodulins, and, of course leghemoglobin. Verma's research team is now working out ways of isolating relatively large quantities of these newly discovered proteins.

And after this, what next? Among

other things, Dr. Verma plans to fish out the genes which code for the nodulin proteins; also, he intends to look for molecules that might traverse the membrane separating the symbiotic partners — such substances could account for their apparent communication. Finally, having identified all the soybean genes involved in its cooperation with nitrogen fixing *Rhizobia*, Verma hopes to look for ways of transferring these genes into the plants which form the world's main food crops.

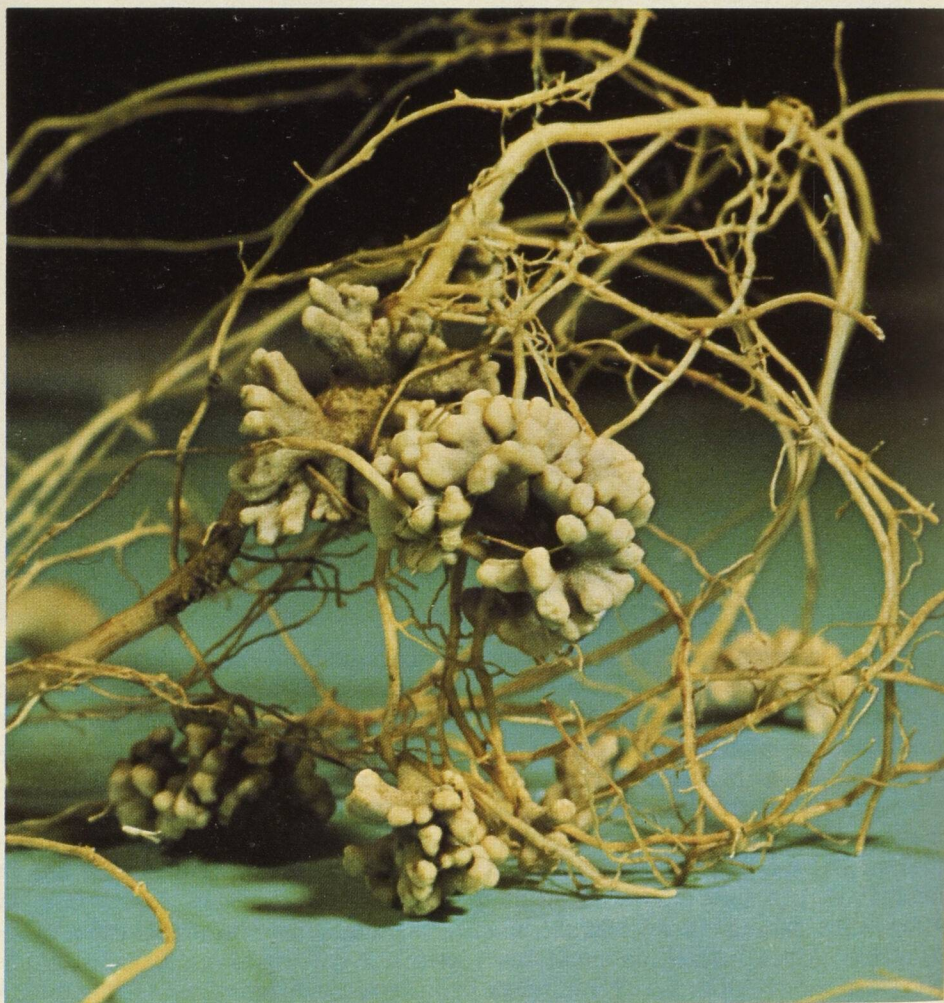
But to hope that this work, if successful, will eliminate malnutrition and famine in the world would be naive; that will require more than just a technical revolution. Such a condition can come about only after equitable ways of distributing the world's food are

adopted. It is not naive, however, to expect a range of useful applications to spin off from this basic research; tests to select legume varieties which best fix nitrogen, for example; and, from the study of how plants and microbes manage to live happily together, measures are possible for controlling pathogenic infections both in plants and animals.

Desh Verma, and his fellows, are obsessed. "There's hardly a moment in my life when I'm not thinking about biology," he says. "I'm fascinated with science, and I find symbiosis an absolutely mind-boggling phenomenon, particularly where it has turned out to be so useful to mankind." □

Séan McCutcheon

Séan McCutcheon is a freelance writer working in Montreal.



The root system of a field pea plant, showing the nodules responsible for nitrogen fixation. These swellings are root cells that contain *Rhizobial* bacteria in "walled off" structures where they are able to convert the nitrogen of the atmosphere into a form available to the plant. Besides providing this anaerobic or oxygen-free environment, the plant supplies "trigger" substances that initiate the fixation process.

Racines de pois des champs avec les nodules fixateurs d'azote. Dans ces renflements, ou cellules radiculaires, des bactéries rhizobiales séparées par des cloisons fixent l'azote atmosphérique pour donner un composé utilisable par la plante. Celle-ci fournit en contrepartie un milieu anaérobie, ou exempt d'oxygène, favorable à la fixation de l'azote et produit des substances qui déclenchent cette réaction.

de petits fragments d'ADN. Chacun de ces fragments fut introduit par la suite dans une bactérie et cloné, procédé qui permit d'obtenir une énorme collection de gènes. Le problème consistait alors à reconnaître dans cette multitude de gènes celui qui contenait le code de la légghémoglobine. Pour cela, le Dr Verma se servit comme sonde d'une molécule marquée, semblable par sa structure au segment d'ADN comprenant le code de la légghémoglobine, d'où son affinité pour cette substance.

Le Dr David Thomas, généticien du Conseil national de recherches, à Ottawa, participa à la construction de cette sonde. À Montréal, des reproductions de l'ADN désiré furent synthétisées d'après l'ARN que le Dr Verma avait déjà isolé. Une fois obtenues, elles furent envoyées au Dr Thomas, à Ottawa, qui s'empessa de les introduire dans des bactéries et de les cloner puis de les retourner à l'expéditeur. Le Dr Verma isola alors l'ADN cloné et, après l'avoir marqué à l'aide de traceurs radioactifs, l'utilisa pour sonder la collection de gènes de soja. "Ce fut une tâche très compliquée", dit-il, "et son exécution demanda plusieurs années de travail acharné." Le triage de la première collection de génomes de soja à l'aide de cette méthode ne donna aucun résultat mais, finalement, on détecta deux gènes de la légghémoglobine en même temps. Les résultats du Dr Verma et de ses collègues furent publiés dans le numéro du 5 février 1981 de la revue *Nature* sous forme de carte montrant la séquence des gènes de deux types de légghémoglobines.

Au cours de ces recherches, le Dr Verma a beaucoup appris sur le rôle de la légghémoglobine dans l'association entre les légumineuses et *Rhizobia*. Il a prouvé de façon concluante que le code responsable de la synthèse de cette protéine n'est pas compris dans un seul gène, mais dans une série de gènes végétaux. Il a également montré que la légghémoglobine commence à être synthétisée environ une semaine après l'infection du soja par cette bactérie (la fixation de l'azote commençant dix jours après l'infection) et qu'elle est constituée de deux éléments, une molécule d'hème et une protéine respectivement produites par la bactérie et la plante. Cette substance est assemblée à l'intérieur de la membrane qui sépare les bactéries de la cellule végétale.

Le Dr Verma ne comprend pas encore comment les bactéries communiquent avec la plante et régissent l'ex-

pression des gènes responsables de la synthèse de la légghémoglobine, mais il peut expliquer comment ces deux partenaires bénéficient mutuellement de cette interaction. La nitrogénase, enzyme bactérienne responsable de la fixation de l'azote, n'est active que lorsque la concentration de l'oxygène présent est très faible. Cependant, en produisant de la légghémoglobine qui, comme nous le savons, absorbe cet élément, la plante favorise l'activité de l'enzyme et la fixation de l'azote. En échange de l'engrais que la bactérie lui apporte, la plante l'héberge et lui fournit les substances nutritives dont elle a besoin.

"Dès le début de l'année 76", ajoute le Dr Verma, "je réalisai que la symbiose était non pas le résultat de l'expression d'un seul gène, mais de toute une série de gènes." Le Dr Verma a récemment découvert que ces gènes intervenaient dans la synthèse de plus de vingt protéines de soja, ou nodulines, apparemment nécessaires à la symbiose et, à l'aide d'une méthode d'analyse immunologique très fine, il a réussi à les mettre en évidence.

La méthode utilisée consistant à inoculer les protéines contenues dans les cellules végétales infectées à des animaux de laboratoire en vue de déclencher la production d'anticorps puis à éliminer ceux d'entre eux spécifiques aux protéines également présentes dans les cellules non infectées. Ceci permettait d'isoler les anticorps engendrés par les protéines uniquement synthétisées dans des conditions de symbiose, c'est-à-dire les nodulines et, évidemment, la légghémoglobine. L'équipe de chercheurs du Dr Verma essaie actuellement de mettre au point un moyen d'extraire des quantités relativement grandes de ces protéines nouvellement découvertes.

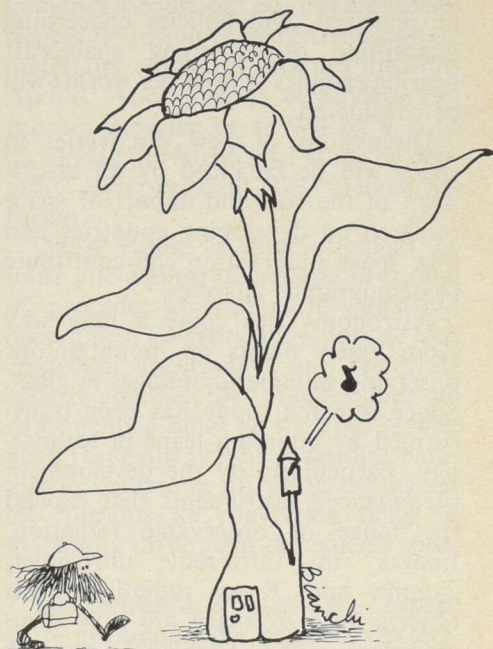
Après cela, que prévoit-on? Le Dr Verma envisage d'isoler les gènes responsables de la synthèse des nodulines et de mettre en évidence des molécules qui traverseraient la membrane séparant les bactéries et la plante et qui assureraient leur communication apparente. Finalement, lorsque tous les gènes du soja intervenant dans la symbiose avec *Rhizobia*, bactéries fixatrices d'azote, auront été identifiés, le Dr Verma essaiera de découvrir un moyen de les transférer aux plantes qui constituent les principales cultures vivrières mondiales.

On ne peut toutefois pas s'attendre à ce que ces travaux résolvent le pro-

blème de la sous-alimentation et de la famine dans le monde; ceci demandera plus qu'une simple révolution technologique et ne sera réalisé que si les ressources alimentaires mondiales sont réparties équitablement. Cependant, on peut tout de même espérer une gamme de retombées intéressantes de cette recherche fondamentale; on entrevoit, par exemple, la mise au point de procédés permettant de sélectionner des variétés de légumineuses en fonction de leur capacité de fixer l'azote et on espère que l'étude de la symbiose entre plantes et microbes pourra favoriser la découverte de moyens de lutter contre les infections pathogènes qui affectent les plantes et les animaux.

Le Dr Desh Verma, comme ses collègues, est passionné par son travail. "La biologie mobilise mon esprit presque en permanence", avoue-t-il. "La Science me fascine et je trouve que la symbiose est un phénomène absolument merveilleux, surtout lorsqu'il nous est donné de juger de l'importance qu'elle revêt pour l'humanité."

Texte français: Annie Hlavats



Briefly...

COSPAR convenes

Next May, Canada will have its first opportunity to host a plenary meeting of COSPAR, the international committee on space research. Nearly a thousand delegates and visitors are expected to gather in Ottawa for the general and topical meetings of the organization. Established in 1959 with Canada among the founding members, COSPAR (for Committee on Space Research) fosters international cooperation in space research, a fact reflected in the number of nations participating and the diversity of disciplines involved. Delegates from over 31 nations will represent such fields as planetary biology, environment, geophysics and spectroscopy.

Since its founding, COSPAR's participants have developed the talents of a switch hitter, probing the hidden secrets of space while investigating the earth's atmosphere, oceans and resource wealth. Topics under review will include the Solar Maximum Year, how the sun's energy and particle streams interact with earth's environment and remote sensing through satellite observation. Recent discoveries among the giant planets and their satellites will be reviewed, and policies concerning quarantine of returning spacecraft bearing samples from other worlds will be considered.

Discussions of new discoveries in space will be balanced by an assessment of the role and impact of space research on developing countries and how space observation can contribute to demographic analyses.

Astronomy has come a long way from lonely nights on mountaintops observing shimmering images in glass. Space research today has been transformed by quantum leaps in technology, particularly by the development of advanced instruments that expand the range of observable radiation. Images in infra-red, ultraviolet, gamma and X-ray radiation from objects deep in space are now commonplace. The COSPAR meeting should provide Canadian industry with the opportunity to witness what is being done in space technology and where contributions can be made.

Fashion conscious geneticist

If NRC geneticist David Thomas has it his way, soon he'll be moving out of his blue gene phase and into the more glamorous, trendy world of designer genes. No, the allusion isn't to Thomas's sartorial aspirations, but rather to his work on a "cloning vehicle" for inserting valuable genes into yeast cells. Until now, bacteria like *E. coli* have been the organisms of choice in recombinant DNA research, but scientists like Thomas have turned to yeasts because the fermentation industry already has extensive knowledge of their growth conditions, and they are, like animals and plants, more advanced or "eukaryotic" cells. As a eukaryote, yeast has capabilities not found in bacteria, such as a system for attaching sugar molecules to proteins to form an important class of substances called glycoproteins (interferon is a glycoprotein, as are several valuable enzymes). Like bacteria, however, yeasts also contain the small loops of DNA found in bacteria that act as vehicles for inserting foreign genes into cells. Called plasmids, these DNA loops exist apart from the cell's main body of genetic information (the genome) and can be pulled out and inserted back into the cell with relative ease. The key to recombinant DNA technology lies in the ability of molecular biologists to open these DNA loops with special enzymes, splice in the gene of interest, close the loop again, and put the "recombined" plasmid back into the cell. Thereafter the cell, most often *E. coli*, reproduces itself, and along the way reproduces or 'clones' the plasmid containing the foreign gene.

However, any such vehicle worth its salt must come with a host of other genetic signals that enable the cell not only to clone the plasmid but to translate the gene message into the valued protein as well. To monitor the success of putting this structure together for use in yeast, Dr. Thomas uses a gene whose expressed protein product is an enzyme that acts on a substrate to liberate indigo, a dye that turns the cells blue. This "blue gene" is used simply because it is so easy to assay.

Thomas's next step, now that he has shown that his plasmid vehicle works well in yeast, is to introduce along with the blue gene what he facetiously calls "designer genes", those which code for valued proteins.

Free fall factories

North American and European industrialists are anxiously waiting out the trial flights of the NASA Space Shuttle and the inception of the "business" flights. Their interest centers on the possibility of "factories" in space according to Dr. William Wilcox of Clarkson College of Technology in New York. In a speech given at NRC in September, he said that the low gravity and minimal pressure of space offered distinct advantages in the fabrication of materials. Wilcox was quick to point out, however, that the conditions in orbit are not *zero* gravity and *absolute* vacuum. There are gravity effects in near earth orbit as well as the influence of the carrier spacecraft's mass to consider. Gas pressure in space is minimal, but *there*, and is compounded by outgassing from the spacecraft. These conditions were observed over the course of numerous melting and re-freezing experiments during the Apollo, Apollo-Soyuz and Skylab missions. Wilcox's own experiments in skylab investigated localized currents in the molten metals.

The behavior of a variety of materials was investigated and led to some disappointing reassessments. Producing spheres like ball bearings without containers (necessary on Earth) wasn't as easy as predicted, and characteristics like gas diffusion and convection currents in materials differed from expectations.

Space fabrication remains a promising field of endeavor, however, and with the many devices being developed for use in the Shuttle, Wilcox suggested Canadian industry would be well advised to look into the potential of this new area.

En bref

COSPAR se réunit

C'est au mois de mai prochain que se tiendra pour la première fois au Canada une assemblée plénière du Comité de la recherche spatiale, COSPAR (Committee on Space Research). On prévoit que près de 1 000 délégués et visiteurs se rassembleront à Ottawa pour les réunions générales et thématiques de cet organisme. Créé en 1959 et comptant le Canada parmi les pays fondateurs, le COSPAR favorise la collaboration internationale dans le domaine de la recherche spatiale comme le démontrent le nombre des nations participantes et la diversité des disciplines concernées. Des délégués de plus de 31 nations représenteront des domaines comme la biologie planétaire, l'environnement, la géophysique et la spectroscopie.

Depuis la création de COSPAR ses participants ont acquis une vaste gamme de compétences qui leur permettent de s'attaquer aux secrets de l'espace tout en sondant l'atmosphère, les océans et les richesses naturelles de la planète. Au nombre des sujets qui y seront traités figurent l'Année d'activité maximum du Soleil, l'effet de l'énergie et des courants de particules solaires sur l'environnement terrestre et la télédétection par satellite. On passera également en revue les récentes découvertes sur les planètes géantes et leurs satellites et on se penchera sur les mesures de quarantaine à imposer aux véhicules spatiaux rapportant des échantillons d'autres planètes. Les discussions consacrées aux nouvelles découvertes spatiales seront suivies d'une évaluation de l'incidence de la recherche spatiale sur les pays en voie de développement et du rôle qu'elle y joue, et l'on examinera par ailleurs de quelle façon la télédétection spatiale peut être appliquée à l'analyse démographique.

L'astronomie a beaucoup évolué et le progrès technologique a transformé la recherche spatiale. Les instruments modernes permettent de détecter les rayonnements infrarouges, ultraviolets, gamma et X de corps célestes lointains. La réunion du COSPAR devrait donc permettre à l'industrie canadienne de prendre connaissance de ce qui se fait en technologie spatiale et de voir quelles contributions elle pourrait y apporter.

Des bactéries aux levures

Jusqu'à présent on a préféré utiliser des bactéries comme l'*E. coli* pour les travaux de recherche sur la recombinaison génétique, mais des généticiens comme le Dr David Thomas, du CNRC, ont été attirés par les levures car leurs conditions de croissance sont bien connues de l'industrie de la fermentation et parce que ce sont des organismes supérieurs ou eucaryotes, au même titre que les animaux ou les plantes. En raison de leur nature, les levures peuvent exécuter des fonctions plus élaborées que les bactéries; elles sont capables, par exemple, d'attacher des glucides à des protéines pour former une catégorie importante de substances appelées glycoprotéides (l'interféron ainsi que plusieurs autres enzymes de grande valeur sont des glycoprotéides). Comme les bactéries, elles contiennent cependant de petites boucles d'ADN, appelées plasmides, qui servent de véhicule pour insérer des gènes étrangers dans des cellules. Ces plasmides, étant indépendants du matériel contenant l'information génétique ou génome, peuvent être extraits d'une cellule puis réintroduits assez facilement. La clef de la recombinaison génétique réside dans la capacité des biologistes d'insérer un gène désiré dans une boucle d'ADN à l'aide d'enzymes particulières puis de réintroduire ce plasmide "recombiné" dans la cellule. Après cette opération, chaque reproduction de la cellule ou, le plus souvent, de l'*E. coli* s'accompagne de la reproduction du plasmide contenant le gène étranger.

Cependant, pour qu'un véhicule s'avère efficace il doit être muni de signaux génétiques qui assurent non seulement son clonage, mais également l'exécution du message qu'il comporte et qui peut se traduire par la synthèse d'une protéine importante. Pour vérifier le succès de l'application de cette technique aux levures, le Dr Thomas s'est servi d'un gène responsable de la synthèse d'une enzyme dont l'action sur un substrat s'accompagne de la production d'indigo qui teint les cellules en bleu. Ce "gène bleu" est tout simplement utilisé parce qu'il est facile à reconnaître. Ayant trouvé que l'utilisation de plasmides comme véhicules de recombinaison génétique est possible chez ces levures, le Dr Thomas pré-

voit d'y insérer, en même temps que le gène bleu, des gènes responsables de la synthèse de protéines de grande valeur.

Usines orbitales

Les industriels nord-américains et européens attendent avec impatience l'achèvement des vols d'essais de la navette spatiale de la NASA et l'avènement des vols "commerciaux". Selon le Dr William Wilcox, du Clarkson College of Technology, de New York, ils s'intéressent à la possibilité de construire des "usines" dans l'espace. Au cours d'une conférence donnée au CNRC en septembre, il a déclaré que la faible gravité et le vide qui règnent dans l'espace constituent des avantages certains pour la fabrication de matériaux. Wilcox s'est toutefois empressé d'ajouter que les corps satellisés ne bénéficient ni d'une absence *totale* de gravité ni d'un vide *absolu*. Les effets de la pesanteur se font sentir en orbite rapprochée de la Terre et il faut également tenir compte de la masse du vaisseau porteur. Si la pression des gaz est minime dans l'espace elle *existe* malgré tout et elle est renforcée par le déballastage des réservoirs du vaisseau. L'existence de ces conditions a été mise en lumière au cours des nombreuses expériences de fusion et de réfrigération de matériaux conduites lors des missions Apollo, Apollo-Soyuz et Skylab. Les propres expériences de Wilcox à bord du Skylab portaient sur l'étude de courants localisés dans des métaux en fusion.

On a étudié le comportement de toute une gamme de matériaux et on a dû procéder à certaines réévaluations décevantes. La fabrication hors de tout contenant (nécessaire sur Terre) de sphères comme celles utilisées dans des roulements à billes ne s'est pas révélée aussi facile que prévue et certains paramètres comme la diffusion des gaz et les courants de convection dans les matériaux différaient des calculs théoriques.

La fabrication d'objets dans l'espace offre néanmoins des perspectives intéressantes et, compte tenu du nombre des dispositifs actuellement mis au point pour les missions de la navette, Wilcox pense que l'industrie canadienne aurait avantage à examiner le potentiel de ce nouveau champ d'activités.

The iridium connection

Dinosaurs struck out?

Was an asteroid the foul ball that knocked the dinosaurs out of the game of life?

Browsing heads jerked upright at the bursts of light and sound over the horizon. Fright compounded into terror as waves of heat and wind stampeded the giant lizards through the forests. No sooner had calm returned than gloom surrounded them — mid-day becoming night as vast clouds of dust forming in the upper air obscured the sun. Darkness by dust, unlike the cooling of true night, trapped heat and produced a rain of grit. The irritant strangled forest leaves and stifled the dinosaurs while the oceans bore a carpet of dead fish. Soaring temperatures and lack of fodder toppled the huge vegetarian saurians while the meat-eaters rejoiced and gorged. Then the “terrible lizards” followed their victims into extinction. For a time quiet reigned as the few remaining plants and small animals surviving the holocaust struggled to create new generations.

A century of investigation has failed to account for the disappearance of the dinosaurs 65 million years ago. From the latter part of the 19th century, when an ice age seemed the probable culprit, paleontologists have sought to identify what world-wide conditions could have extinguished three-quarters of existing life. Besides the great reptiles, a wide spectrum of plant life, including oceanic plankton, were victims. Universal extinction requires stupendous forces — forces never detected in the adagio of the geologic record. Almost in desperation, some paleontologists have turned outward — seeking other forces and allying with other disciplines for explanations. Turning away from the rocks, science has sought a solution among the stars.

North American and European researchers gathered last May in Ottawa for the second extinction symposium co-sponsored by the National Museum of Natural Sciences and NRC's Herz-



Was Alberta's *Stenonychosaurus* a victim of an invader from outer space? (John Bianchi)

La disparition du *Stenonychosaurus* de l'Alberta est-elle due à un phénomène extraterrestre? (John Bianchi)

La disparition mystérieuse des dinosaures

L'iridium nous fournit un indice

Les dinosaures ont-ils été victimes d'un astéroïde égaré?

Les bêtes, occupées jusqu'ici à brouter, relèvent brusquement la tête, effrayées à l'aspect du ciel qui s'éclaire et s'emplit de déflagrations sonores. La panique s'empare des reptiles géants qui fuient à travers la forêt, assaillis par des vagues de chaleur et des rafales de vent. Le calme revient mais les animaux sont maintenant enveloppés de ténèbres car d'énormes nuages de poussière montent de la terre et cachent le Soleil, transformant le jour en nuit.

Cette atmosphère obscurcie par la poussière, contrairement à l'obscurité rafraîchissante de la nuit, emprisonne la chaleur au sol et provoque une pluie de sable qui entraîne l'asphyxie des végétaux; bientôt les dinosaures suffoquent et les poissons morts forment une nappe à la surface des océans. Les températures élevées et le manque de végétation ont tôt fait de décimer les énormes sauriens herbivores, alors que les bêtes carnivores se réjouissent de ce festin inespéré et se repaissent. Puis celles-ci disparaissent à leur tour. Tout

redevient tranquille; seuls quelques plantes et petits animaux ont survécu à l'holocauste et continuent la lutte pour assurer la continuation de leur espèce.

Après un siècle d'investigations, on n'a pas encore élucidé le mystère de la disparition des dinosaures il y a 65 millions d'années. Depuis la dernière moitié du 19^e siècle, époque où l'on attribuait leur disparition à la venue d'une ère de glaciation, les paléontologistes cherchent à identifier les causes de l'extinction, à l'échelle planétaire, des trois quarts des êtres vivants. En plus des grands reptiles, un large éventail de vie végétale, y compris le plancton océanique, a également disparu. Une extinction aussi universelle ne peut être le fait que de phénomènes extrêmement puissants, phénomènes dont aucun des bouleversements géologiques répertoriés jusqu'ici ne rend compte. En désespoir de cause, des paléontologistes ont levé les bras au ciel, leur index accusateur pointant vers les étoiles, pour y chercher la solution en faisant appel à d'autres disciplines.

En mai dernier, le deuxième symposium sur l'extinction, coparrainé par le Musée national des sciences naturelles et l'Institut Herzberg d'astrophysique, réunissait à Ottawa des chercheurs venus d'Europe et d'Amérique du Nord pour discuter de la validité d'une nouvelle théorie proposée par une équipe de chercheurs de l'Université de Californie. Alors qu'ils effectuaient des prospections géologiques en Italie, Luis et Walter Alvarez ont détecté des taux anormalement élevés d'iridium, élément présent à l'état de traces dans la roche qui forme la "croûte" terrestre, dans une région géologique où l'on a signalé la disparition de dinosaures. On croit que tout l'iridium originellement introduit sur la Terre lors de la formation du système solaire est resté emprisonné sous la roche crustale lorsque celle-ci s'est refroidie. Tout nouvel

Des comètes renfermant des cyanures auraient empoisonné la biosphère et détruit le plancton océanique, perturbant l'ensemble de la chaîne trophique. (Betty et Dennis Milon)

Cyanide-bearing comets have been suggested as a poison source, killing oceanic plankton and short-circuiting the global food chain. (Betty & Dennis Milon)





Is another extinction threat hanging over us in the depths of the universe? (Hale Observatories)

Les profondeurs de l'univers recèlent-elles une autre menace d'extinction pour l'humanité? (Observatoire Hale)

berg Institute of Astrophysics. The meeting was convened to review the evidence for a new theory propounded by a team from the University of California. Luis and Walter Alvarez, investigating geologic records in Italy, discovered abnormally high levels of iridium, a trace element in crustal

rocks, in a location geologically coincident with the disappearance of the dinosaurs. The supply of iridium granted the earth during the formation of the solar system is believed to have sunk below the cooling crustal rocks. Fresh stocks of this noble metal must come from space, borne to earth by dust, meteorites or other encountered planetisimals. According to the Alvarez group, a 10 km-wide asteroid struck the earth, vaporizing in the process and creating a shield of dust that halted photosynthesis, scything the food chain supporting ponderous

lizards and their neighbors.

The Berkeley team's thesis has brought an almost audible sigh of relief from paleontologists who subscribe to the "catastrophe" school of extinction. Only a few years ago, a widely considered theory suggested the earth had been dosed with high levels of radiation from a nearby supernova, eliminating a wide range of lifeforms through radiation effects or climatic upheaval. (See *Science Dimension*, 1978, No. 3.) Supernova possibilities were discussed at the first extinction symposium held in 1976. Supernovae, however, are messy affairs, filling space with the offal of their passing. No evidence of a nearby stellar demise has been detected in space or earth's records. An asteroid offers solace to those perplexed by the simultaneous nature of the extinctions.

The new theory is keyed to rock formations well known to paleontologists. Geologists identify rocks of the Mesozoic Era (220 to 65 million years ago) and find the fossil patterns interrupted sharply. Biologists separate that era into periods of life form types whose termination at the end of the Cretaceous is simultaneous with the interruption of the stony register. After a brief hiatus, known as the K-T Boundary, typified by a layer of clay containing few fossils, the Tertiary period rocks can be observed. It is the Boundary clay which interests the symposium participants. Its origins and significance are the subject of dispute among geologists, biologists, and now, astronomers. Studies have been made of land-based sites of this Boundary for years, and now deep undersea core samples are bringing to light even more information about it.

Among the more significant of the many investigations was a highly detailed view of the K-T Boundary in a Spanish site by Dutch geologist Jan Smit. "We traced mineral levels and biological indicators from deep in the Cretaceous through the Boundary up into the Tertiary rocks," he relates. "At this site the K-T clay is about 10 cm thick. At the bottom one millimetre level we found a sudden sharp increase in platinum group metals such as iridium, osmium and chromium. There was also a startling abundance of arsenic, as well as numerous glassy spherules typical of either meteoritic or volcanic activity. None of the pre-Boundary fossils we identified 'crossed over' into the Tertiary rocks, but nu-

apport de ce métal noble ne peut donc venir que de l'espace. Ce voyageur serait arrivé sur notre Terre porté par des poussières, des météorites ou d'autres aérolithes égarés. Selon cette équipe de chercheurs, un astéroïde de 10 km de diamètre serait entré en collision avec la Terre; il aurait, en se désintégrant, formé un écran de poussière qui aurait stoppé la photosynthèse et perturbé la chaîne alimentaire essentielle à la survie des énormes sauriens et de leurs congénères.

La théorie avancée par l'équipe californienne a rassuré les paléontologistes qui sont en faveur d'une interprétation cataclysmique de l'extinction. Il y a quelques années, la théorie alors en vogue voulait que la disparition de la presque totalité des êtres vivants ait été causée par des taux de radiation élevés émanant d'une supernova dans le voisinage de la Terre, ou par le bouleversement climatique qui s'ensuivit (voir le N° 3 de *Science Dimension* de 1978). La possibilité d'une extinction due à une supernova fut discutée lors du premier symposium de 1976. Toutefois, les supernovae laissent habituellement des traces de leur passage. Or l'on n'a trouvé, dans l'espace ou dans les annales géologiques de la Terre, aucune preuve qu'une supernova ait ainsi secoué la Terre. La thèse de la chute d'un astéroïde rassure ceux que laisse perplexes la simultanéité des disparitions.

La nouvelle théorie s'appuie sur des caractéristiques des formations géologiques déjà connues des paléontologistes. Les géologues, en identifiant les roches du Mésozoïque (il y a 220 à 65 millions d'années), ont constaté que les formations fossilifères se termi-

naient abruptement. Les biologistes subdivisent l'ère mésozoïque selon les formes de vies qui y ont évolué; celles-ci disparaissent à la fin du Crétacé, fin qui coïncide avec une interruption des couches géologiques associées à cette ère. Après un bref hiatus, situé à la limite géologique Crétacé-Tertiaire et caractérisé par la présence d'une couche argileuse pauvre en fossiles, on peut observer des formations rocheuses appartenant à l'ère tertiaire. C'est cette couche limite qui intéresse les participants au symposium. Son origine et sa signification se prêtent à des interprétations divergentes de la part des géologues, des biologistes et, maintenant, des astronomes. Pendant des années, cette couche a fait l'objet de prospections à partir de sites terrestres. Les opérations de carottage effectuées sur les grands fonds marins nous l'ont fait mieux connaître.

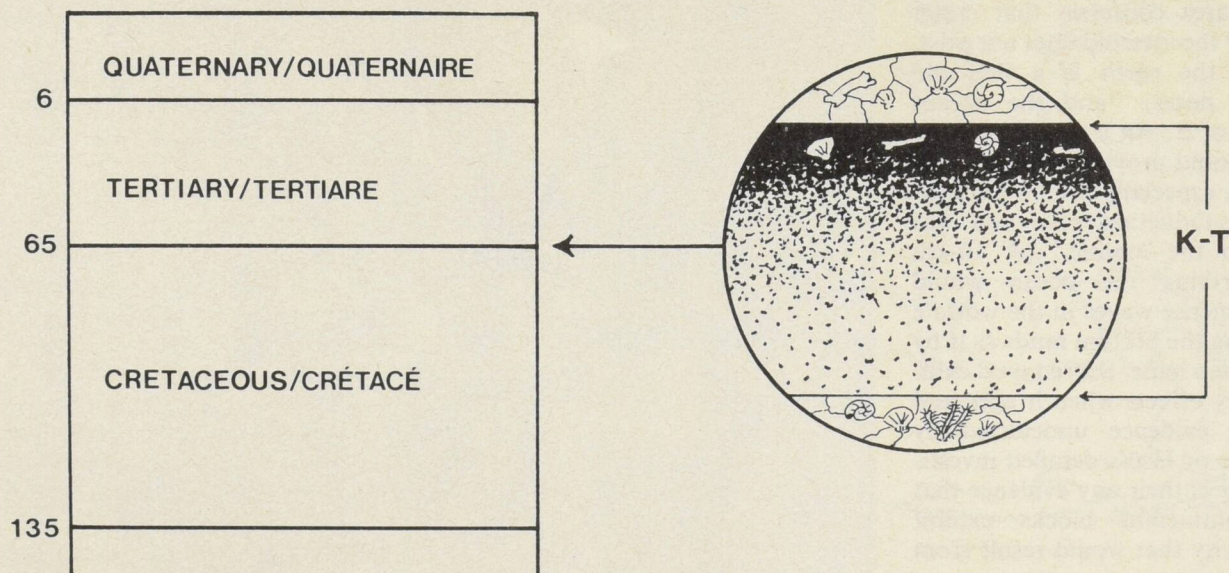
Un géologue hollandais, Jan Smit, a pu reconstituer de façon très précise la composition de cette couche d'argile, en prospectant sur le territoire espagnol. "Nous avons évalué les concentrations minéralogiques et repéré les indicateurs biologiques d'échantillons prélevés au niveau du Crétacé supérieur, de la couche limite et des roches tertiaires", précise celui-ci. "À cet endroit, la couche argileuse présentait une épaisseur d'environ 10 cm. Au niveau du premier millimètre inférieur, nous avons détecté un accroissement soudain des métaux platinoïdes (iridium, osmium et chrome), ainsi qu'une étonnante quantité d'arsenic. Nous avons de plus trouvé de nombreuses sphérules de verre, caractéristiques d'une activité météorique ou volca-

nique. Aucun des fossiles identifiés au cours de la période antérieure à la formation de la couche limite n'apparaît dans les roches tertiaires; cependant, de nombreuses formes de vie microscopiques nouvelles sont apparues au bout d'une période d'évolution qui nous semble se situer entre dix et cinquante mille ans. Nous en avons conclu que le bouleversement qui s'est produit à la fin du Crétacé avait dû être soudain et profond."

"Nous nous sommes trop préoccupés des dinosaures", rétorque Kenneth Hsü, du Geologisches Institut de Zurich, "et pas assez du plancton, dont la disparition est beaucoup plus significative. Quelle qu'en soit la cause, l'élimination soudaine du phytoplancton océanique a rompu la chaîne alimentaire et privé les formes de vie plus évoluées de leur source de nourriture. Les échantillons prélevés sur les fonds marins nous ont permis de détecter des changements survenus dans la faune et la flore terrestres à l'intérieur d'une période de trois cents ans. Nous avons constaté une disparition soudaine de la faune et de la flore

Une couche d'argile limoneuse forme la limite entre le Crétacé supérieur (antérieur à 65 millions d'années) et le Tertiaire (datant de 65 à 6 millions d'années). La partie inférieure de cette couche limite, caractérisée par la rareté ou l'absence de fossiles, marque la fin d'une période où les formes de vie étaient abondantes. (John Bianchi)

Sandwiched between the rocks of the Upper Cretaceous (before 65 million years ago) and the Tertiary (65 - 6 million years ago) is the silty clay of the K-T Boundary. The bottom of the boundary exhibits few, if any, fossils at the end of a period teeming with life. (John Bianchi)



merous new micro-species emerged after what we calculated as a 10-50 thousand year development period. From our finds we conclude that whatever occurred at the end of the Cretaceous seems to have been abrupt and severe."

"Too much attention has been given the dinosaurs," says Kenneth Hsü, scientist at the Geologisches Institut of Zurich, "when the planktonic extinctions are so much more significant. Whatever the cause, sudden elimination of oceanic phytoplankton severed the food chain, leaving the larger life forms without sustenance. Our deep sea core samples allowed us to pinpoint changes in the biota to within 300-year periods. These results exhibited a cutting off of the life forms coincident with those found by Smit. Elimination of ocean plankton while leaving most fresh water life intact indicates to me collision with a comet rather than an asteroid. An icy body, possibly carrying cyanides, entering the ocean could have altered the ocean chemistry, and poisoned the biosphere for a period, before stability returned several thousand years later. An oceanic impact would account for the atmospheric temperature rise that seems to typify the period. We still need more information on smaller life forms in order to clarify the record. Even after extensive work over many years the picture remains muddy."

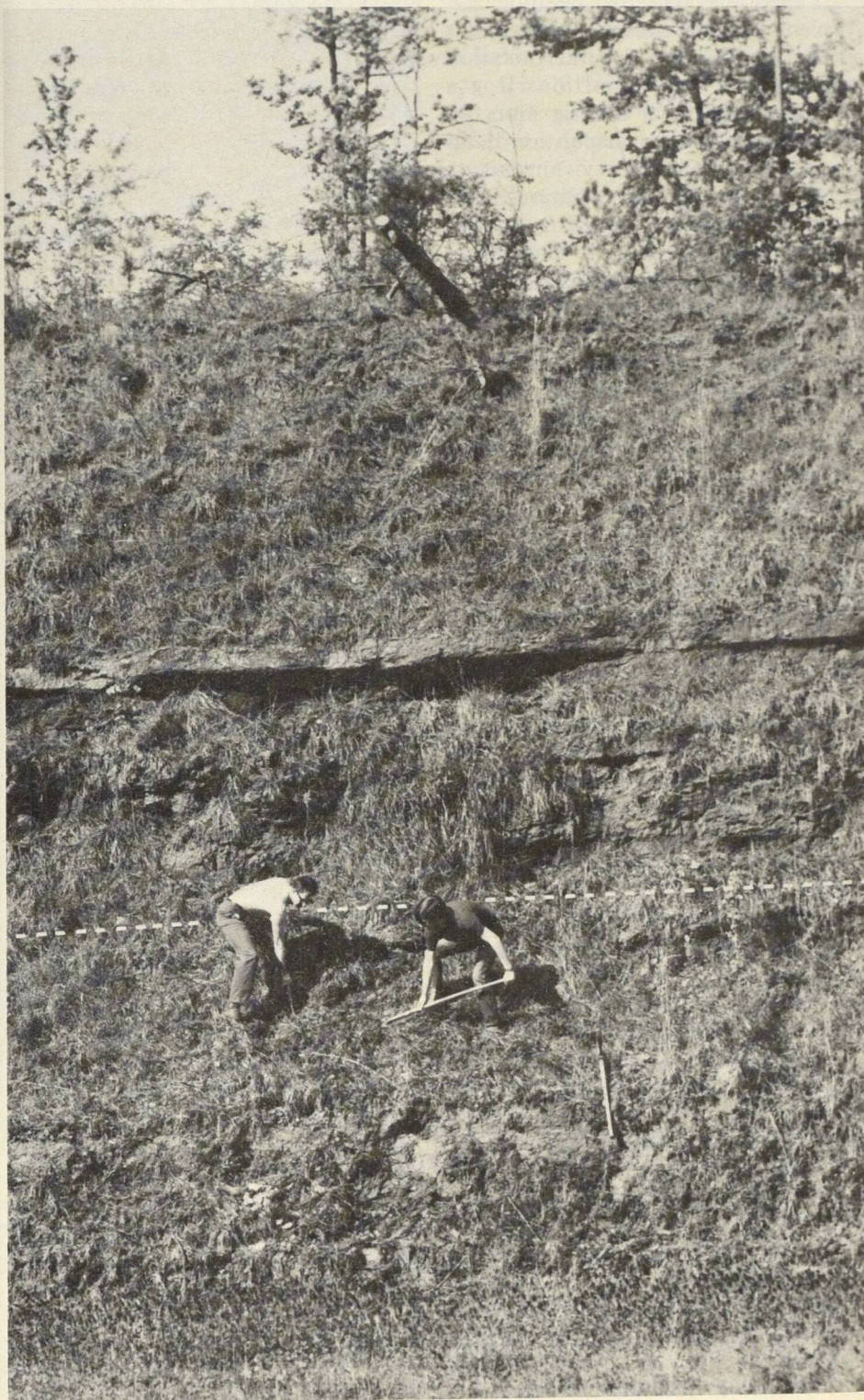
Mud clouds the picture in other ways and offers a stumbling block to the Alvarez thesis. Although the iridium findings, which appear to be universal, point to an extraterrestrial visitor, they fail to establish its character or itinerary. Did it strike the land or sea? Walter Alvarez confesses that crater evidence for the asteroid does not exist. "However, the earth is a big, old place," he notes, "and the oceans cover most of it. An asteroid entering the ocean would provide us today with little record, especially if it struck near a tectonic subduction zone and was carried into the mantle." A 10-km asteroid striking the ocean would produce immense waves in the world's seas, stirring the bottom muds as if by a gigantic soup ladle. Stirred mud exhibits turbidity effects when it ages and hardens — evidence undetected by either Smit's or Hsü's detailed investigations. Nor is there any evidence that drifting continental blocks exhibit seismic activity that would result from such an impact.

Faced with the clues of a sudden infusion of noble metals and abrupt extinction of fossil records, but lacking the impact evidence of an asteroid, some earth scientists require more data. Some researchers argue the evidence for abrupt termination is misleading. These "gradualist" school researchers suggest the record itself was truncated. Dewey McLean, paleogeologist of the Virginia Polytechnic Institute, reminds us "our sole source of information are rocks and the fossils

they contain. To understand what happened at the end of the Cretaceous, we

Drs. Dale Russell and David Jarzen of the National Museum of Natural Sciences begin exploration of a Cretaceous-Tertiary boundary site. Tertiary period rocks form the outcropping above them. (D. Shackleton)

Les Drs Dale Russell et David Jarzen, du Musée national des sciences naturelles, s'appêtent à explorer la couche géologique qui sépare le Crétacé du Tertiaire. Les roches qui forment l'affleurement rocheux au-dessus d'eux appartiennent à l'ère tertiaire. (D. Shackleton)



océaniques, disparition qui coïncide avec les découvertes de Smit. La disparition du plancton océanique, alors que les espèces vivant en eau douce sont demeurées intactes, m'incline à penser qu'il s'agirait d'une comète plutôt que d'un astéroïde. Un corps formé de glace et renfermant probablement des cyanures pourrait, en pénétrant dans l'océan, avoir perturbé l'équilibre chimique de celui-ci et empoisonné la biosphère; la situation ne se serait rétablie que quelque milliers d'années plus tard. Un bouleversement océanique rendrait compte de l'élévation de la température atmosphérique qui caractérise cette période. Il nous faudra sonder encore plus avant le filon des micro-organismes pour comprendre ce qui s'est passé. Même après de nombreuses années de travaux intensifs, la perception que nous en avons reste vague."

La thèse avancée par l'équipe californienne se bute encore à d'autres énigmes. Bien que la découverte d'iridium introduit ultérieurement sur l'ensemble de la planète semble accuser un voyageur extraterrestre, elle ne nous fournit aucun indice sur la nature ou sur l'itinéraire de celui-ci. Est-il tombé sur la terre ou dans la mer? Walter Alvarez avoue qu'à sa connaissance aucun cratère d'impact ne vient corroborer la thèse de la chute d'un astéroïde. "Toutefois, la Terre est grande et bien vieille", ajoute-t-il, "et l'océan en recouvre la plus grande partie. Advenant que l'astéroïde soit tombé dans l'océan, il n'en resterait aujourd'hui que peu de traces, à plus forte raison s'il était tombé près d'une zone de subduction tectonique et avait été entraîné dans le manteau." Un astéroïde de 10 km aurait, en tombant dans l'océan, provoqué d'énormes vagues à la surface des mers et remué la vase du fond à la façon d'une louche gigantesque. La vase ainsi dérangée aurait, une fois vieillie et durcie, laissé des traces de turbidité, ce que ni les études fouillées de Smit ni celles de Hsü n'ont pu démontrer. Un tel impact aurait également entraîné une activité sismique susceptible de modifier la dérive des continents, or rien de tel n'a été enregistré.

L'introduction soudaine de métaux nobles, liée à une disparition tout aussi soudaine des populations fossiles, ne réussit pas à convaincre certains spécialistes des sciences de la Terre, qui exigent une preuve de l'impact de l'astéroïde. D'autres chercheurs, partisans

de la thèse "gradualiste", avancent même que les signes de la disparition brutale des formes fossiles auraient été mal interprétés et que seul le témoignage de leur présence aurait été ainsi effacé d'un trait. Comme le fait remarquer Dewey McLean, paléontologiste du Virginia Polytechnic Institute, "les roches et les fossiles qu'elles contiennent sont notre unique source d'information. Pour comprendre ce qui s'est passé à la fin du Crétacé, nous devons connaître et confronter tous les éléments d'information que renferment ces roches, et notre investigation ne fait que commencer. La thèse d'un hiatus entre le Crétacé et le Tertiaire ne tient pas compte de la régression rapide des océans et de l'érosion des sols qui l'a accompagnée et qui ont bouleversé les formations du Mésozoïque et les ont fait basculer dans la mer. Les espèces ne se sont pas éteintes aussi rapidement qu'on le prétend, ni de façon aussi sélective. C'est le témoignage de leur existence qui a été brusquement rayé de la carte.

"Je crois plutôt que leur disparition fut progressive, s'étendant peut-être sur des dizaines ou des centaines de milliers d'années peut-être", poursuit McLean, "ce qui a permis à certaines espèces de s'adapter aux nouvelles conditions tandis que d'autres étaient éliminées. L'incident qui a amorcé le processus fut la hâte presque impudente avec laquelle le sous-continent indien s'est détaché de la Gondwanie et a traversé l'équateur pour occuper sa position actuelle aux côtés de l'Asie. Cette migration aurait provoqué le déversement d'énormes flots de lave, engloutissant les formations fossilifères, au moment où l'Inde aurait glissé sur des 'panaches' du manteau inférieur de la Terre. Les gaz volcaniques auraient perturbé l'équilibre gazeux de l'atmosphère et des mers, en augmentant leur teneur en carbone, et abaissé le pH océanique. Les émissions d'anhydride carbonique dans la partie supérieure de l'atmosphère auraient emprisonné la chaleur et provoqué une élévation de la température suffisante pour stopper le



must read and correlate *all* elements of the records and we are only just beginning the process. Discussions of the Cretaceous-Tertiary 'boundary' fail to take into account the very rapid oceanic regression accompanied by erosion of soils that cut into the late Mesozoic record and tumbled it into the seas. Species of life do not die off so fast as all that — especially so selectively. It was the *record* of their existence that was suddenly wiped clean.

"I feel the extinction process took place over tens or hundreds of thousands of years," he continues, "allowing some species to adapt to changing conditions while eliminating others. The initiating event was the almost indecent haste shown by the subcontinent of India in breaking off its attachment with Gondwanaland and crossing the equator to consummate its present liaison with Asia. The movement precipitated one of the greatest outpourings of lava on record as India passed over a group of deep mantle 'plumes'. Volcanic gases upset the carbon balance in the atmosphere and seas and reduced oceanic pH values. Expelled carbon dioxide in the upper atmosphere trapped heat and elevated the temperature enough to stop the reproductive capacity of the big reptiles, but allowed the smaller animals to continue. Magma from the plumes well up from close to the core-mantle boundary, much lower than normal volcanoes. The deep origins of the plumes *could* account for the iridium anomaly — distributing the noble metals around the world in volcanic ash."

Symposium participants were unanimous in expressing interest in the iridium discoveries and stressed the stimulation for new research they provided. Discussions of future work centered on the need for more detailed biological investigations, including, for example, explanations of why so many insect pollinated plants were replaced by wind pollinated ones. Was this due to changes in environmental chemistry or climatic changes as yet poorly understood? More statistics on which micro life forms survived and which extinguished were called for, as were suggestions that trace element and isotope analyses be carried out on the fossil records. Astronomers will seek more information on the composition and fractionation of earth impacting bodies. Voyager's images of Saturn's ring system, especially the bizarre

kinks, are forcing astrophysicists to reconsider many questions regarding planetary close encounters with their smaller neighbors. Finally, scientists who understand atmospheric transport mechanisms will consider whether an asteroid could produce a dust cloud that could block almost all sunlight and be sustained in the atmosphere long enough to bring a halt to photosynthesis. Luis Alvarez' contention that the asteroid's visit produced "many times over the conditions generated by the Krakatoa volcano in 1883" will have to await the next symposium on the Cretaceous-Tertiary Environmental Change for evaluation. □

Stephen A. Haines

For further reading

Alvarez, L., Alvarez, W., Asaro, F., Michel, H.V.; "Extraterrestrial Cause for the Cretaceous — Tertiary Extinction." *Science*, Vol. 208, p. 1095 (6 June 1980)

Beland, P. and others; "Cretaceous — Tertiary Extinctions and Possible Terrestrial and Extraterrestrial Causes" *Syllogeus* No. 12, National Museums of Canada, Ottawa, 1977.

McLean, D.M. "A Terminal Mesozoic Greenhouse" *Science*, Vol. 201, p. 401 (4 August 1978).

Russell, D.A. *A Vanished World*, National Museum of Natural Sciences, Ottawa 1977.

What was lost?

Long before movie screens were infested with the image of a black rodent sporting red Bermuda shorts, white gloves and brogues, theatre-goers enjoyed the animated cartoon antics of an ancient giant lizard known as Gertie the Dinosaur. Since the discovery of reptile fossils early in the 19th century, mankind has been intrigued by the origins, size and disappearance of the creatures who ruled the earth for 130 million years. Gertie represented the prevailing view of the dinosaurs during the early years of this century — ponderous, gigantic, possessing only sufficient intellect to maintain a precarious, plodding existence.

Dale Russell, paleobiologist with Canada's National Museum of Natural Sciences and organizer of the K-TEC symposia, deplores the persistence of the retarded behemoth viewpoint. He has studied the full reach of physical development of the dinosaurs and derived some conclusions about intellectual progress. "The rate of encephalization of animal life underwent an increase about 200 million years ago," he contends. "According to the older rates of increase, a human level of 'brain power' would have been attained about 60 million years ago. Development of intelligence among land animals results from diverse environmental condi-

tions, among other things. For example, land conditions can be contrasted to oceanic life where the highest levels of intelligence are exhibited by those animals and birds which reinvaded the seas from the land. Terrestrial circumstances of competition, size, mobile versus static defence methods, body metabolic rates in the face of changing climates — these are conditions contributing to intellectual growth. How these elements combine to improve intellect is far from clear, but it offers an area ripe for further investigation.

"Canada is in a particularly opportune position to pursue these questions," he continues, "because of the extensive fossil remains found on the Prairies. Dinosaur diversity seems to have increased over time and the fossils are stimulating fresh thinking on what developments were taking place at the time of the extinctions. Carnivorous dinosaurs were evolving into bipedal, highly mobile creatures with grasping forefeet, stereoscopic vision and an intelligence approaching that of some modern mammals. Given more time, they could have fulfilled a trend toward temperature tolerance similar to that of birds. Where these trends might have led is purely speculative, but it is easy to imagine an upright saurian about 2 m tall, weighing about 75 kg with a brain capacity and grasping ability that could enable it to modify its environment to suit its needs."

processus de reproduction des grands reptiles, sans que les petits animaux n'en soient affectés. Le magma provenant des panaches, lesquels prennent naissance à proximité de la limite du noyau et du manteau, surgit d'une couche beaucoup plus profonde que celui des volcans 'ordinaires'. Les racines profondes des panaches *pourraient* expliquer la présence de l'iridium suspect, ce métal noble ayant été dispersé à la surface du globe lors de la retombeée des cendres volcaniques."

Les participants du symposium se sont tous montrés très intéressés par les découvertes d'iridium; ils y voient un facteur de stimulation pour la recherche future. Cette dernière devra porter sur l'investigation de phénomènes biologiques qui n'ont pas encore été expliqués. Par exemple, pourquoi un si grand nombre de plantes entomophiles (fertilisées par les insectes) ont-elles été remplacées par des plantes anémophiles (fertilisées par le vent)? Est-ce dû à une modification de l'équilibre chimique de la planète ou à un changement climatique que nous ne parvenons pas encore à expliquer? D'autres données statistiques devront être recueillies pour déterminer quels sont les micro-organismes qui ont survécu et quels sont ceux qui ont été éliminés et des analyses devront être effectuées afin d'identifier les isotopes et les éléments présents à l'état de traces dans les formations fossilifères. Les astronomes devront obtenir plus d'information sur la composition et la fragmentation des corps qui entrent en collision avec la Terre. Les images du système d'anneaux de Saturne transmises par la sonde Voyager, et plus particulièrement leur étrange structure torsadée, obligent les astrophysiciens à revoir bon nombre d'idées reçues sur la rencontre d'une petite planète avec sa voisine plus grosse. Finalement, les scientifiques qui s'intéressent aux mécanismes de la circulation atmosphérique devront démontrer si un astéroïde a pu produire un nuage de poussière capable de bloquer presque toute la lumière du Soleil et de demeurer assez longtemps dans l'atmosphère pour stopper la photosynthèse. Il nous faudra attendre le prochain symposium consacré aux modifications environnementales qui ont accompagné le passage du Crétacé au Tertiaire pour juger de la validité de la thèse de Luis Alvarez selon laquelle la chute de l'astéroïde aurait entraîné "des perturbations infiniment plus importantes

que celles causées par l'éruption du Krakatoa en 1883". □

Texte français: Line Bastrash

Lectures suggérées

Alvarez, L., Alvarez, W., Asaro, F. et Michel, H.V. "Extraterrestrial Cause for the Cretaceous — Tertiary Extinction". *Science*, vol. 208, p. 1095 (6 juin 1980).

Béland, P. et autres. "Cretaceous — Tertiary Extinctions and Possible Terrestrial and Extraterrestrial Causes". *Syllogeus* N° 12, Musées nationaux du Canada, Ottawa, 1977.

McLean, D.M. "A Terminal Mesozoic Greenhouse". *Science*, vol. 201, p. 401 (4 août 1978).

Russell, D.A., *Le monde disparu des dinosaures de l'Ouest du Canada*. Musée national des sciences naturelles, Ottawa, 1977.

Qui étaient-ils?

Bien avant que nos écrans de cinéma ne soient envahis par une souris affublée d'un bermuda rouge, de gants blancs et de brodequins, les cinéphiles prenaient plaisir à regarder s'animer sur l'écran un énorme reptile préhistorique qui avait nom Gertie. Depuis la découverte des reptiles fossiles au début du 19^e siècle, l'Homme a toujours été intrigué par l'origine, les dimensions et la mystérieuse disparition de ces créatures qui ont régné sur la Terre durant 130 millions d'années. Gertie est l'incarnation des préjugés qui avaient cours au début du siècle: les dinosaures étaient des bêtes lourdes, gigantesques, dotées d'une intelligence leur permettant tout juste de mener une existence fruste et précaire.

Dale Russell, paléobiologiste du Musée national des sciences naturelles et organisateur des symposiums sur l'extinction, déplore que cette conception d'une créature monstrueuse et stupide persiste de nos jours. L'étude de l'évolution des caractéristiques physiques des dinosaures lui a permis de tirer quelques conclusions relatives à leur évolution intellectuelle. "Le taux d'encéphalisation chez les espèces animales s'est accru il y a environ 200 millions d'années", commente-t-il. "Si l'on se fit aux taux d'accroissement plus anciens, une capacité intellectuelle correspondant au niveau humain aurait dû être atteinte il y a 60 millions d'années. Le développement de l'intelligence chez les animaux est influencé par diverses conditions du milieu. On peut, par exemple, opposer le milieu terrestre au milieu océanique, où l'on a enre-

gistré les plus hauts niveaux d'intelligence chez des animaux et des oiseaux qui, après avoir évolué sous une forme terrestre, sont retournés à la mer. Les conditions qui caractérisent la vie terrestre, c'est-à-dire la compétition, l'espace, les méthodes de défense faisant appel à la mobilité, le métabolisme évoluant avec les conditions climatiques, favorisent le développement intellectuel. Par quelle association contribuent-elles au développement de l'intelligence? Nous l'ignorons mais nous avons là un champ fertile en recherches.

"Le Canada est bien placé pour étudier ces questions", poursuit Russell, "car on a en effet mis à jour, dans les Prairies, une grande quantité de fossiles. Il semble que les dinosaures ont, au cours des siècles, connu une évolution diversifiée; les fossiles nous fournissent de nouveaux indices quant aux développements qui ont pu intervenir au moment de leur extinction. L'évolution des dinosaures carnivores s'acheminait vers une créature bipède, agile, dotée de membres antérieurs préhensiles, d'une vision stéréoscopique et d'une intelligence s'apparentant à celle des mammifères modernes. S'ils avaient vécu plus longtemps, peut-être se seraient-ils acclimatés comme les oiseaux? Où cette évolution les aurait-elle menés? Le champ est ouvert à la spéculation. . . mais ne pourrait-on pas imaginer un saurien ayant à peu près les caractéristiques suivantes: taille: 2 m; poids: 75 kg; signes particuliers: se tient debout et est doté d'un cerveau et d'une capacité de préhension qui lui permettent de modifier son environnement selon ses besoins."

Pursuit of pollutants

Environmental sleuthing

An industrial waste spill in Regina points up the need for further research on the migration of pollutants through soil.



The ecological career of PCB's, or polychlorinated biphenyls, and other industrial wastes is causing increasing concern among scientists in industry and government agencies. Because they are pervasive in the environment and resistant to degradation, chlorinated hydrocarbons, including PCB's, have emerged as a special problem. Unlike many of the recently-developed industrial chemicals under scrutiny today, this chemical family has a long and distinguished history going back to the end of the last century. They were a godsend to the fledgling electrical industry as a fireproof insulating oil with high dielectric strength capable of operating safely at high temperatures. PCB's also found widespread use in such diverse products as paints and typist's copy paper. But the very characteristic that made them so valuable, their durability, proved to be a mixed blessing when the time came to dispose of used materials. Research into the effects of PCB's on the environment revealed that many years of use had left the environment permeated with low levels of the chlorinated hydrocarbons. PCB's have been detected in a wide variety of animal life, from polar bears and birds to lake trout and coho salmon.

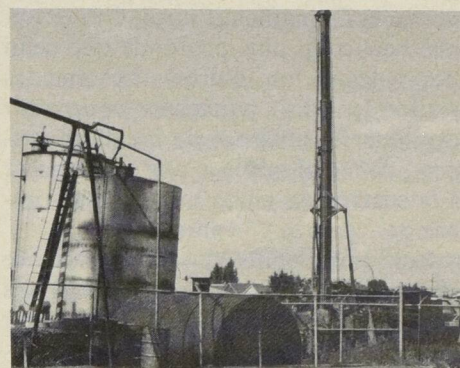
Although NRC's Environmental Secretariat and its Associate Subcommittees have surveyed and assessed the pollution caused by PCB's and other

chemicals for several years, not until two years ago was there an occasion to deal with the problem as an NRC field exercise.

In 1976, a Regina electrical equipment factory discovered a broken pipe had spilled PCB-bearing transformer oil into the ground. When people became aware of the spill, a public debate developed in the media over possible contamination of the ground water, a major source of Regina's domestic water supply. The Saskatchewan government asked NRC to help in determining the extent of the spill and the effect it might have on the city's drinking water and environment. An *Ad Hoc* Panel of scientists was convened under the chairmanship of Dr. Gordon Butler, retired director of the Division of Biological Sciences. "Such special investigations are not new to NRC," he says. "In the past, the Council has investigated 'incidents' involving aircraft accidents and building failures. Procedures exist to establish these operations. The Panel was picked to include a cross-section of scientists whose combined experiences would enable them to make the investigation and certain recommendations in a very short time."

Only the vaguest picture of the geologic structure and water movement patterns under the factory existed. Thus, an analysis of the area's geology and hydrology was one of the first priorities. Drilling rigs were used to bring up samples of soils, silts and clays overlying the bedrock and the scientists began to put together a picture of the flow of waters within the substructure. Immediately below the porous fill supporting the factory site was a layer of Regina clay. "Ordinarily, clays are good barriers to the movement of PCB's," says Dr. J.R. Roberts, a scientist in NRC's Division of Biological Sciences handling the field operations, "but we found evidence of numerous fractures in the clay bed which could permit downward migration of the pollutants."

As the flow patterns of the area were determined, the level of PCB's in the affected area was established. Determining pollutant levels accurately requires clean surroundings and careful handling. "It meant," notes Roberts,



A drilling rig operates adjacent to storage tanks on the factory site. Once containing PCB-based oils, they now hold harmless mineral oil currently in use. (Photo: J.R. Roberts, Div. of Biological Sciences)

Une installation de forage côtoie, sur l'emplacement de l'usine, des réservoirs ayant déjà contenu des huiles à base de PCB et servant maintenant à l'entreposage d'huile minérale, produit inoffensif dont on se sert actuellement. (Photo: J.R. Roberts, Division des sciences biologiques)

"maintaining the hygienic standards of a well-equipped laboratory at a field site, and commercial drilling rigs hardly fit this definition; even some of the lubricating oils used in the rigs



Drilling for soil samples on the Regina factory site reached depths of 27 m to evaluate pollutant migration. (Photo: J.R. Roberts, Div. of Biological Sciences)

À l'usine de Regina, des échantillons de sol ont été prélevés jusqu'à la profondeur de 27 m afin de déterminer la migration des polluants dans le sol. (Photo: J.R. Roberts, Division des sciences biologiques)

La chasse aux polluants

Enquête sur un cas de pollution de l'environnement

Un déversement accidentel de déchets industriels à Regina montre la nécessité de continuer la recherche sur la migration des polluants dans le sol.

La menace que représentent les polychlorobiphényles, ou PCB, pour l'environnement, ainsi que les autres déchets industriels, inquiète de plus en plus les chercheurs au service de l'industrie ou des organismes gouvernementaux. Par suite de leur présence généralisée dans l'environnement et de leur lenteur à se dégrader, les hydrocarbures chlorés, dont font partie les PCB, posent un problème particulier. Contrairement à la plupart des produits chimiques récemment mis au point par l'industrie et qui font présentement l'objet d'analyses, les hydrocarbures chlorés ont une histoire qui remonte à la fin du siècle dernier. Ils ont contribué au développement d'une industrie naissante, celle de l'électricité, en lui fournissant une huile isolante ininflammable, dotée d'une grande résistance diélectrique et pouvant être utilisée sans danger aux hautes températures. Les PCB sont également largement employés dans la fabrication des peintures et du papier destiné à la reprographie. Malheureusement, la caractéristique même qui les a rendus si précieux, leur stabilité, constitue maintenant l'un de leurs plus grands désavantages lorsqu'il s'agit de les éliminer. Les travaux de recherche sur les effets des PCB ont démontré qu'au fil des ans de faibles quantités d'hydrocarbures chlorés ont été introduites dans l'environnement. Les polychlorobiphényles sont présents chez une grande variété d'espèces animales, allant des ours polaires et des oiseaux à la truite de lac et au saumon coho.

Le Secrétariat de l'environnement du CNRC et ses sous-comités associés étudient depuis plusieurs années la pollution engendrée par les PCB et d'autres produits chimiques, mais il leur a fallu attendre jusqu'à 1979 pour avoir l'occasion de s'attaquer au problème sur le terrain.

En 1976, un fabricant de matériel électrique de Regina découvrit qu'une canalisation brisée était à l'origine d'une fuite d'huile contenant des PCB

et provenant d'un transformateur électrique et de son infiltration dans le sol. La population fut bientôt alertée de l'incident, qui donna lieu dans les médias à un débat public sur la contamination possible des eaux souterraines, l'une des principales sources d'approvisionnement en eau potable de la ville. Le gouvernement de la Saskatchewan demanda l'aide du CNRC pour évaluer la quantité déversée et ses effets possibles sur la qualité de l'eau potable de la ville et sur l'environnement. Une commission spéciale placée sous la présidence du Dr Gordon Butler, ancien directeur de la Division des sciences biologiques, fut mise sur pied. "Nous avons l'habitude de telles études", commente celui-ci. "Par le passé, le CNRC a enquêté sur des 'incidents' résultant d'accidents d'aviation ou de défaillances de bâtiments. Certaines méthodes d'enquête ont été mises au point pour faire face aux situations de cette nature. La commission a mobilisé les compétences de scientifiques appartenant à diverses disciplines; la combinaison de leur expérience devrait nous permettre de procéder à l'enquête et d'aboutir à des recommandations en très peu de temps."

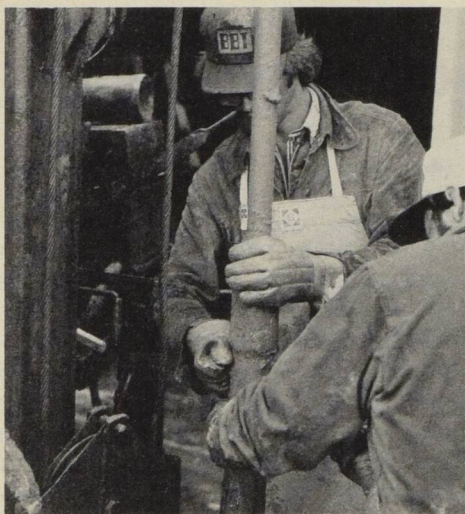
Les chercheurs ne disposaient, au départ, que de données très vagues sur la formation géologique et sur le mode d'écoulement des eaux sous l'usine en question. Priorité fut donc donnée à l'analyse de la composition géologique et hydrologique de la région. À l'aide d'appareils de forage, les chercheurs ont prélevé des échantillons des différents types de sols, de vases et d'argiles qui recouvraient la roche sous-jacente; à partir des données recueillies, ils ont analysé l'écoulement des eaux à travers le sous-sol. Ils ont repéré, immédiatement sous le matériau de remplissage poreux servant d'assise à l'usine, une couche d'argile de Regina. Au dire du Dr J.R. Roberts, chercheur à la Division des sciences biologiques du CNRC et chargé des travaux sur le terrain, "les sols argileux opposent habituellement une barrière efficace à la migration des PCB dans le sol; cependant, dans le cas qui nous occupe, la formation argileuse s'est fracturée en de nombreux endroits, livrant passage aux

polluants."

Une fois le mode d'écoulement des eaux de la région établi, les chercheurs ont pu estimer le taux de PCB susceptible d'être observé dans la région contaminée. La détermination précise du taux de polluants requiert que l'on porte une attention particulière à la propreté des installations et à leur manipulation. "Cela signifie", poursuit le Dr Roberts, "qu'il nous fallait recréer sur le terrain les conditions d'hygiène propres à un laboratoire bien équipé, tâche que l'utilisation d'appareils de forage de type commercial ne facilitait guère: les lubrifiants utilisés dans ces appareils peuvent eux-mêmes contenir des traces de PCB. Ainsi, lorsque l'on constate que deux carottes provenant de sondages situés à peu de distance l'un de l'autre peuvent présenter une différence du taux de contaminants de l'ordre de 1 pour 10 000, on saisit mieux toute la signification du mot 'propreté'."

"Pour mener à bien une étude sur le terrain, l'on doit aussi réduire au minimum la préparation nécessaire lors de l'échantillonnage et obtenir une précision élevée pour des taux de contaminants très bas. Nous avons eu la chance, à Regina, de bénéficier des méthodes d'analyse récemment mises au point chez nous pour des travaux de même nature."

Une jeune firme ontarienne, SCIEX Limited, avait déjà mis au point une gamme d'appareils permettant l'analyse des gaz présents à l'état de traces dans l'atmosphère (Trace Atmospheric Gas Analyzers, TAGA) et spécialement conçus pour la détection des vapeurs émises par des substances explosives, ainsi que pour certaines applications dans les domaines médical et de l'environnement. Elle avait, de plus, réalisé un appareil de détection portatif pour l'analyse de la pollution de l'air par les hydrocarbures; cet appareil a été mis à contribution lors de l'étude de Regina. Le Dr Bruce Thomson, responsable de "l'opération SCIEX", apporte ce commentaire; "C'était la première fois que notre technologie était utilisée à des fins d'échantillonnage du sol et il nous a fallu très rapidement mettre au point de nouvelles techniques."



A sample core is lifted from the bore. Operators wore gloves to prevent skin contact, avoiding contamination of the sample and providing for worker safety. (Photo: J.R. Roberts, Div. of Biological Sciences)

Carotte prélevée lors d'un sondage. Par mesure de sécurité, les ouvriers portent des gants pour éviter tout contact des PCB avec la peau et empêcher la contamination de l'échantillon. (Photo: J.R. Roberts, Division des sciences biologiques)

could contain traces of PCB's. When you realize that two adjacent test bores could differ in contaminant levels by a factor of ten thousand, it's easier to appreciate the significance of the word 'clean'."

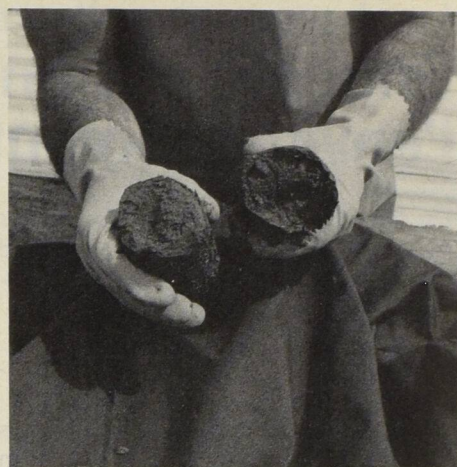
"A good field study requires that there is minimum effort in sample preparation, and relatively high accuracy at low contamination levels. Fortunately, at Regina we could use the analytical techniques recently developed in Canada for just such work."

A young Ontario firm, SCIEX Limited, had developed a line of trace atmospheric gas analyzers (TAGA) for use in detecting vapors given off by explosives, as well as for certain medical and environmental applications. The company had already established a mobile facility for air pollution analysis of hydrocarbons and they were requested to assist with the Regina investigation. Dr. Bruce Thomson, who led the SCIEX operation, comments: "This was the first time we applied our technology to soil samples and some new techniques had to be devised quickly. The mobile unit processed over 700 samples during a nine-day period. The experience was helpful to our development work, which receives support from IRAP (NRC's Industrial Research Assistance Program)."

When the Panel had outlined the distribution of PCB's at the site, they

could then proceed to assess the potential of the pollutants to infiltrate into the Regina ground water system. "PCB's in water don't produce instantaneous reactions in people," notes Gordon Butler. "Their effects are usually realized after exposure over a long period of time — usually many years. The Regina spill, while unfortunate, poses no *immediate* threat to the city water supply. Negotiations are now under way to find a suitable method of short-term containment of the polluted soil. Unfortunately, no operational program for the ultimate disposal of toxic chemical waste exists, and we have to do something better than simply relocate PCB-laden dirt."

Understanding the experience gained at Regina is a necessary first step in the development of an industrial waste strategy. "This investigation demonstrated just how little we really know about sub-surface pollutant migration," comments Butler. "Without a clearer knowledge, it is impossible to predict with confidence how pollutants move and interact with the environment. But the greater problem is how to dispose of society's accumulating waste. Some real work remains to be done in finding the most efficient and least expensive methods. PCB's, for example, *could* be disposed of by 'mineralizing' them in a high temperature furnace like a cement kiln. Many other workable suggestions have been put forward but have all failed to gain

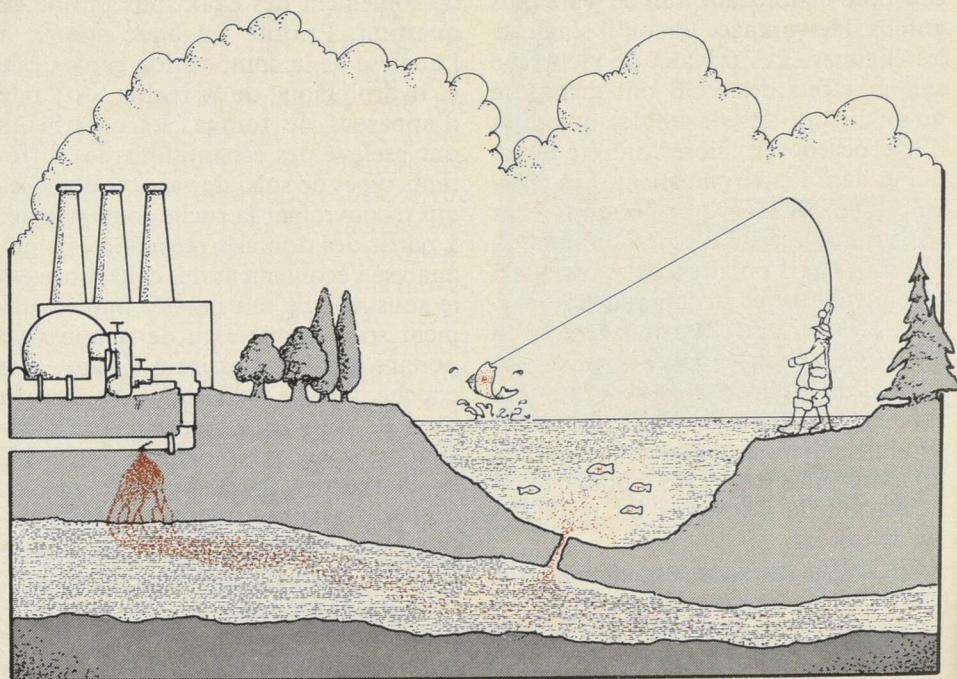


Soil bores were broken by hand and the test sample taken from the centre to ensure purity. (Photo: J.R. Roberts, Div. of Biological Sciences)

Les carottes sont brisées à la main et seule la partie centrale est conservée pour les essais afin de garantir la pureté de l'échantillon. (Photo: J.R. Roberts, Division des sciences biologiques)

wide acceptance, in good part because of the politics of the issues." According to Butler the need is immediate since storage methods for wastes aren't uniform and, in many instances, are suspect. The Regina case was simply the tip of a very large iceberg, and policies must be formulated and implemented to deal with problems of such scope. NRC can make many contributions, but society, industry and government must combine forces to deal with the growing problem. □

Stephen A. Haines



L'appareillage portatif a permis l'analyse de 700 échantillons en 9 jours. L'expérience a permis de faire avancer nos travaux de recherche; nous avons d'ailleurs reçu l'appui du PARI (Programme d'aide à la recherche industrielle du CNRC)."

Après avoir déterminé les taux de PCB déversés dans la région, les chercheurs ont entrepris d'évaluer les possibilités de contamination du réseau d'eaux souterraines de Regina. "L'eau contaminée par les PCB ne produit pas d'effets immédiats chez la population", fait remarquer le Dr Gordon Butler, "les effets ne se manifestent généralement qu'à la suite d'une exposition prolongée couvrant habituellement de nombreuses années. Ainsi, bien que fâcheux, le déversement de PCB à Regina ne constitue pas une menace *immédiate* pour l'approvisionnement en eau de la ville. Des négociations sont en cours pour trouver une façon d'empêcher le sol contaminé de causer plus de dommages. Malheureusement, il n'existe actuellement aucun programme pour l'élimination définitive des déchets chimiques toxiques et nous ne pouvons nous contenter de simplement déplacer la terre contaminée."

Bien saisir la portée de l'incident de Regina constitue un premier pas vers l'implantation d'une politique d'élimination des déchets industriels. Le Dr Butler ajoute: "Cette étude montre que nous avons beaucoup de choses à apprendre sur la migration souterraine des polluants. Sans une connaissance plus approfondie, il nous est impossible de prédire de façon fiable la dispersion des polluants et leur interaction avec l'environnement. L'élimination de la masse toujours grandissante de déchets engendrés par notre société constitue le problème le plus préoccupant et les méthodes les plus efficaces et les moins coûteuses de le faire restent encore à déterminer. L'une des solutions *consisterait* à éliminer les PCB en les "minéralisant" dans un four à haute température, du type de ceux que l'on utilise pour le ciment, par exemple. D'autres solutions ont également été proposées mais aucune n'a emporté l'adhésion de la majorité, en grande partie à cause des implications politiques du débat." Selon le Dr Butler, il s'agit d'un besoin pressant car les méthodes d'entreposage varient beaucoup et, en plusieurs cas, elles sont mêmes suspectes. L'incident de Regina n'est que la partie visible d'un énorme iceberg: il illustre la nécessité de formuler et d'implanter une politique qui permette de faire face à de tels problèmes dans l'avenir. Le CNRC est prêt à faire sa part mais la société, l'industrie et le gouvernement devront eux aussi conjuguer leurs efforts pour résoudre le problème causé par l'accumulation des déchets industriels. □

Texte français: Line Bastrash



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

National Research Council Canada
Conseil national de recherches Canada

OTTAWA
CANADA
K1A 0R6

Publication Office - Bureau des publications

CUT - DÉCOUPEZ

1981/5

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

NAME - NOM	
TITLE - TITRE	
ORGANIZATION - ORGANISME	
STREET - RUE	
CITY - VILLE	
PROVINCE	POSTAL CODE POSTAL COUNTRY - PAYS

FOLD OUT

IS YOUR ADDRESS LABEL CORRECT?

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

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

VOS NOM ET ADRESSE COMPORTENT-ILS UNE ERREUR?

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

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

FOLD-IN - PLIEZ VERS L'INTÉRIEUR

CUT - DÉCOUPEZ

 National Research Council
Canada
Ottawa, Canada
K1A 0R6

Conseil national de recherches
Canada
Ottawa, Canada
K1A 0R6

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

Cover: Back in the 1960's, NRC's Dr. Barbara Judek noticed a peculiarity in the behavior of cosmic rays after they struck molecules in the atmosphere. Initially viewed with skepticism, Judek's work is now accepted and could lead to a fundamental change in our understanding of quarks, the building blocks of the proton and neutron. (Design photograph: Bruce Kane, NRC)

Notre couverture: Les premières observations du Dr Judek, du CNRC, sur le comportement bizarre des rayons cosmiques après leur collision avec des molécules dans l'atmosphère remontent aux années soixante. Reçues d'abord avec scepticisme, les découvertes du Dr Judek sont aujourd'hui reconnues et pourraient conduire à une modification fondamentale des notions que nous avons acquises sur la nature des quarks, ces hypothétiques éléments constitutifs de la matière. (Photo et conception artistique: Bruce Kane, CNRC)