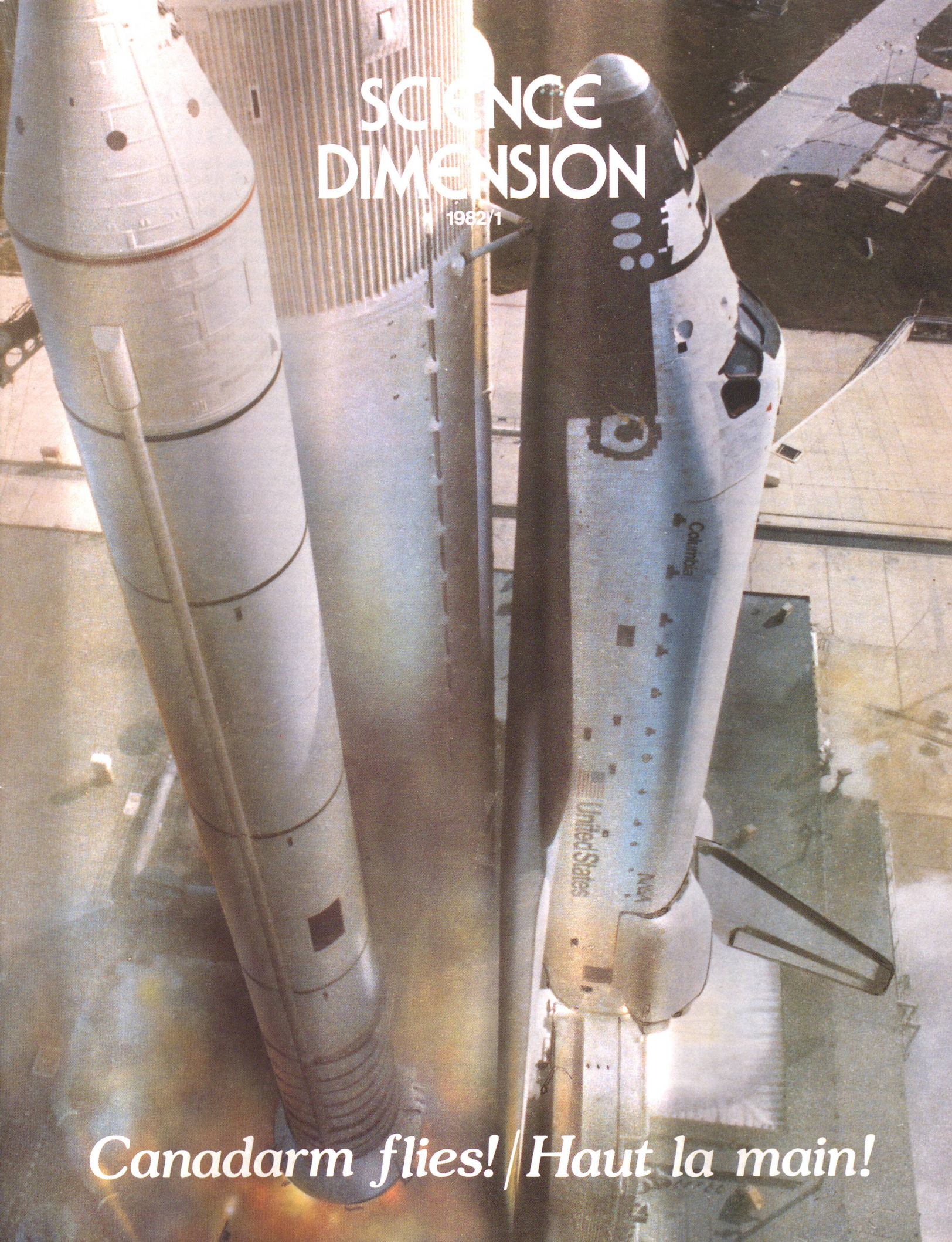


A photograph taken from the perspective of the Space Shuttle Challenger, looking out towards the Space Shuttle Columbia. The Canadarm is extended from the Challenger's payload bay, reaching towards Columbia. The background shows the Earth's surface with various structures and terrain.

SCIENCE DIMENSION

1982/1

Canadarm flies! / Haut la main!

SCIENCE DIMENSION



National Research
Council Canada Conseil national
de recherches Canada

Vol. 14, No. 1, 1982

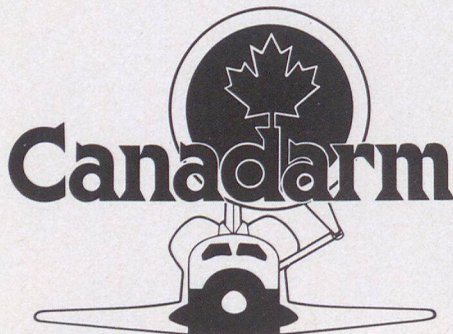
Indexed in the Canadian Periodical Index
This publication is available in microform.

CONTENTS

- 4 "Canadarm" in space
Canada's robot arm passes the test
- 12 Corrosion and the surface chemist
Probing protective films
- 16 Equations for aquatic systems
NRC's hybrid modelling technique
- 20 Switchboards in the sky
Ideas on amplifying
- 24 Briefly . . .
- 26 The time projection chamber
Needle in a cosmic haystack

Cover

The moment of truth: *Columbia's* second lift-off last November carried the Canadarm, and it took place amid fears that a shockwave experienced on the craft's maiden flight would damage the sophisticated piece of hardware. A high pressure water spray on rocket nozzles damped the expected jolt, however, and Canada's contribution to the U.S. Space Transportation System performed flawlessly. (See story page 4). (NASA)



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 Acart Graphics
Graphics Coordinator Stephen A. Haines
Printed in Canada by Beauregard Press Ltd.
31159-1-0923

Catering to special diets

Seven thousand Canadians (or one in 3 000) suffer from it; in the British Isles, the incidence is one in 300; in the United States and Australia, however, it is practically non-existent. At one time, it was considered a childhood disease; now adults are developing it with little hope of "growing out of it." Called celiac disease, persons afflicted cannot digest the protein gluten found in wheat, rye, barley, and oats, and therefore must abstain from such foods as bread, cereals, and even ice cream cones which contain gluten. Most foods have to be imported which escalates the cost so much that a celiac's grocery bill can run up to 33 per cent more than average.

When the special food dispensary at the Sick Children's Hospital in Toronto closed two years ago, Kingsmill Food Company Limited, also in Toronto, a small family-owned business for more than 30 years and the only Canadian manufacturer of a complete selection of dietary foods, began selling imported products over the counter and by mail order. However, company

Vice-President Dorion Kingsmill and her father Bill Kingsmill soon realized that the only way to cut the cost of importing "was to produce products ourselves which were not currently manufactured in Canada. We knew we had the market," says Ms. Kingsmill, "but we didn't have the products. The National Research Council's Mini-IRAP program was just what the proverbial 'doctor ordered' for what I call our 'prescription foods.' The doctor and/or dietician directs the allergic person or the person with a metabolic disorder or restricted diet to us. Without access to these foods, a patient's condition could become fatal."

With support under Mini-IRAP (objective of this program is to encourage small companies with limited or no technical staff to solve specific technical problems), the Company has been able to start new product lines, staff has increased, and sales in the last year have doubled. New products have been completed — a self-rising gluten-free flour, which can be used with or without milk or eggs, several types of cookies and cake mixes, frozen bread, a substitute baking egg replacer, low protein jellied desserts, brown rice bread mix, rice flour baking mixes, a rice cereal similar to Cream of Wheat, pancake and quick bread mixes, a gluten-free gravy mix, and beef and chicken soup bases; others are in various stages of development — melba toast, crackers, pastas, a lactose enzyme, and high fibre and high protein baking mixes.

"Our objective," explains Dorion Kingsmill, "is to formulate a cross section of foods for availability in retail outlets for people who are placed on low gluten, low protein, and food allergy diets. Some of our products will be convenience foods which can be used by non-allergic people, senior citizens, or anyone who is unable to bake for themselves." Outlets have been established with Boots drug stores, Woodwards and Dominion, and the company expects sales through this medium to run around \$150 000 the first year.

Concludes Ms. Kingsmill: "There is no question that Mini-IRAP has contributed to our growth which has resulted in the replacement of imported goods with cheaper Canadian ones. We are very much impressed that the whole program has addressed the problem with so little red tape." □



(Dave Webb)

Vice-President Dorion Kingsmill displays some of the products developed by her company for people on special diets.

Mlle Dorion Kingsmill nous montre quelques-uns des produits diététiques que la compagnie dont elle est la vice-présidente a mis au point pour les personnes suivant un régime.

Joan Powers Rickerd

Des besoins alimentaires particuliers

Au Canada, 7 000 personnes, c'est-à-dire une sur 3 000, en sont atteintes; dans les Îles britanniques, elle frappe une personne sur 300; cependant, aux États-Unis et en Australie elle est pratiquement inexistante. Il s'agit de la maladie coeliaque. Considérée pendant un temps comme une maladie infantile, elle apparaît chez l'adulte avec des perspectives de guérison plutôt minces. Elle se manifeste par l'incapacité de digérer le gluten, protéine présente dans le blé, le seigle, l'orge et l'avoine et, par conséquent, les personnes qui en sont victimes ne peuvent consommer aucun aliment à base de ces substances comme, par exemple, le pain, les céréales et même les cornets de crème glacée. La plupart de leurs aliments doivent être importés et ceci peut se traduire par des frais supplémentaires pouvant atteindre 33% de ce que l'on dépense ordinairement pour se nourrir.

Il y a deux ans, lorsque le Service diététique du Sick Children's Hospital de Toronto ferma ses portes, la Kingmill Food Company Limited de la même ville prit la relève. Créée il y a plus de trente ans, cette petite entreprise familiale, la seule au Canada qui soit spécialisée dans la préparation d'une aussi grande variété de produits diététiques, commença à vendre des produits importés en magasin et par correspondance. Cependant, Dorion Kingmill, vice-présidente de la compagnie, et son père, Bill Kingmill, ne tardèrent pas à s'apercevoir que la meilleure façon de réduire leurs frais était de fabriquer eux-mêmes les produits qui n'étaient pas disponibles au Canada et qu'ils avaient jusqu'alors importés. "Nous savions que le marché était là", explique Mlle Kingmill, "mais nous n'avions pas les produits. Le MINI-PARI du Conseil national de recherches (PARI est l'abréviation de Programme d'aide à la recherche industrielle) joua donc le rôle de la proverbiale ordonnance médicale pour ce que j'appelle nos 'aliments prescrits'. Les personnes atteintes d'allergies alimentaires ou d'autres troubles du métabolisme et devant suivre des régimes alimentaires très sévères nous sont référées par le médecin ou le diététicien et si elles ne reçoivent pas les aliments diététiques dont elles ont besoin, leur survie risque d'être menacée."

Grâce à l'appui du MINI-PARI, dont l'objectif est d'encourager les petites entreprises possédant un effectif technique réduit ou inexistant à résoudre elles-mêmes les problèmes particuliers qui les confrontent, la compagnie

en question a été en mesure de lancer une nouvelle série de produits, d'augmenter son effectif et de doubler son chiffre d'affaires au cours de l'an dernier. Parmi ces nouveaux produits on peut citer une farine exempte de gluten et pouvant être utilisée avec ou sans lait et oeufs, plusieurs types de biscuits et de mélanges à gâteaux, du pain congelé, un mélange pouvant remplacer les oeufs dans la préparation de pâtisseries, des desserts gélifiés à faible teneur en protéines, des mélanges à pains au riz brun, des mélanges à gâteaux à la farine de riz, une céréale de riz semblable à de la semoule, des mélanges à pains déjà levés et des mélanges à crêpes prêts à cuire, un mélange à sauce exempt de gluten et des bouillons de bœuf et de poulet. D'autres aliments tels que des toasts Melba, des biscuits salés, des pâtes, du lactose et des mélanges à gâteaux à haute teneur en fibres et en protéines sont à différents stades de mise au point.

"Notre objectif", explique Dorion Kingmill, "est de lancer toute une gamme d'aliments qui seront vendus au détail pour des personnes tenues de suivre des régimes à faible teneur en gluten ou en protéines ou d'autres régimes prescrits dans les cas d'allergies alimentaires. Nos produits comprendront également des aliments prêts à servir que les personnes âgées ou incapables de préparer des repas élaborés pourront utiliser mêmes si elles ne souffrent pas d'allergies." Ces produits seront vendus au détail par les pharmacies Boots et par les chaînes de magasins Woodwards et Dominion et, pour la Kingmill Food Company Limited, ceci se traduira par un accroissement du chiffre d'affaires qui, prévoit-on, atteindra 150 000 dollars la première année.

Mais laissons Mlle Kingmill conclure: "Le MINI-PARI a incontestablement contribué au développement de notre entreprise en nous permettant de remplacer des produits importés par des produits, moins chers, de fabrication canadienne. Nous avons également été très impressionnés par le fait que le programme ait permis de résoudre les problèmes avec aussi peu de formalités administratives." □

Texte français: Annie Hlavats

SCIENCE DIMENSION



Conseil national
de recherches Canada

National Research
Council Canada

Vol. 14, N° 1, 1982

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

SOMMAIRE

- 5 **Le bras spatial canadien**
Une brillante première
- 13 **La corrosion des métaux**
Portrait robot des films d'oxyde protecteur
- 17 **Nouvel outil pour la recherche en hydraulique**
La technique de modélisation hybride du CNRC
- 21 **Centraux satellisés**
Révolution dans l'amplification
- 25 **En bref . . .**
- 27 **La chambre de projection temporelle**
À la recherche d'un grain de sable dans l'Univers

Notre couverture

La minute de vérité: Pour sa seconde mission, en novembre dernier, *Columbia* était équipée du bras spatial canadien et l'on craignait que ce produit d'une technologie d'avant-garde ne soit endommagé par une onde de choc que l'analyse des données du premier vol avait permis de déceler. L'onde de choc en question a pu être absorbée grâce à une injection massive d'eau sous les tuyères et le bras mécanique constituant la contribution canadienne au Système de transport spatial américain a parfaitement fonctionné. Voir article page 5. (NASA)



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 Acart Graphics
Coordonnateur (graphiques) Stephen A. Haines
Imprimé au Canada par Imprimerie Beauregard
31159-1-0923

CANADARM

LE BRAS SPATIAL

SUMMA CUM LAUDE

UN BRILLANT DÉBUT

Canada

Press area, Kennedy Space Centre, Florida: Thursday, 12 November, 1981, 10 a.m. EST. Across the turning basin where NASA barges unload material too large for trains or airplanes, the U.S. Space Transportation System huddles: the orbiter *Columbia*, her two solid-fuel boosters, and her external fuel tank. There is a lot of energy in those four containers. The external tank houses millions of litres of "cryogenics", hydrogen and oxygen under such cold and pressure that they liquefy. This will feed the orbiter's three main engines, which can be throttled up or back, turned off, and re-started. Not so the boosters, which once ignited cannot be doused. They are simply linear bombs.

The countdown is at two minutes and proceeding smoothly. Eight days ago, it got as far as thirty-one seconds before the Flight Director scrubbed the launch. If today's event can make it past that point, the refurbished *Columbia* will fly for the second time: the last few minutes of the count are automatic, and no one can prevent liftoff once the 30-second mark is past. Ninety seconds. Five kilometres away, *Columbia*

and her add-ons are clearly visible in the bright Florida sunshine. She looks impossibly majestic, and you have to remind yourself that, like all endeavor, *Columbia* is still the work of women and men. That humanity emerges in her details. Encasing her external tank is a layer of plastic insulation resembling that on many a basement wall. *Columbia* owes even her ethereal whiteness to sprayed-on latex paint, the kind you use to cover up the children's crayons. Her miraculous heat-shield tiles are waterproofed with humble Scotchguard; and — best of all — woodpeckers from the surrounding bird sanctuary like to nest in her external-tank insulation and must be chased away. Dogs, fruit flies, chimpanzees, and people have gone into space. One of these days Uncle Sam's going to orbit a woodpecker as well.

Thirty seconds! A cheer rises. The launch complex comes to sudden life as immense amounts of water flow underneath five rocket nozzles which will soon spew fire. The waterspray should damp the shock wave that would otherwise rebound and ring *Columbia* like a bell. That happened on the first mis-

sion, was discovered after subsequent data analysis, and has been rectified only recently. At least, one hopes it has been rectified. For *Columbia* is not ferrying just herself into space this morning. Thanks to a Canadian industrial team coordinated by the National Research Council, she will also take with her one of the world's most sophisticated robots — her "arm in space."

Ten seconds; five seconds. T. Launch Complex KSC-39A is awash in pale gold flame.

A liftoff seen on television, cine film, or still picture is a thing of beauty. But in the flesh, it overwhelms all senses, not just sight. This beauty walks with power. As flame meets waterspray, steam hides the pad. By the time her main engines are up to thrust, *Columbia's* nose has swayed more than a metre, for she is still tethered by thick steel restraints. Then she swings back to vertical, and the solid boosters kick in. The restraints explode away. *Columbia* is free. Suddenly, the snout of her external tank rises clear of the tower with careless ease; and she appears, mounting on a

Centre de presse du Centre spatial Kennedy, en Floride: jeudi 12 novembre 1981 à 10 h, heure locale. À l'autre extrémité du bassin de manoeuvres où les péniches de la NASA débarquent du matériel trop volumineux pour un transport ferroviaire ou aérien, le système de transport spatial américain comprenant l'étage orbital *Columbia*, ses deux accélérateurs à poudre et son réservoir de carburant extérieur attendent la mise à feu. Ces quatre éléments renferment une énergie considérable. Le réservoir extérieur contient des millions de litres d'hydrogène et d'oxygène maintenus à une température cryogénique et à une pression si élevée qu'ils sont liquéfiés. Ce carburant alimente les trois moteurs principaux que l'on peut faire fonctionner à plein régime, arrêter, et rallumer. Ce n'est pas le cas des accélérateurs qui, une fois mis à feu, ne peuvent plus être éteints et deviennent alors des bombes en puissance.

Le compte à rebours qui, il y a huit jours avait dû être arrêté 31 secondes avant le lancement, est arrivé à deux minutes et se poursuit sans incident. Si

tout se passe bien aujourd'hui, la navette *Columbia*, remise en état, entreprendra son second vol: les dernières minutes du compte à rebours sont automatiques et rien ne peut empêcher le lancement après le passage du fatidique seuil de 30 secondes. À 5 km de là et 90 secondes avant le décollage *Columbia* et ses groupes auxiliaires sont parfaitement visibles sous le brillant soleil de Floride. Son aspect est particulièrement majestueux et il faut se souvenir qu'il s'agit là, comme dans le cas de n'importe quelle autre entreprise, du fruit du travail d'hommes et de femmes. Ce labeur humain transpire dans tous ses détails. Son réservoir extérieur est protégé par une couche d'isolant plastique qui ressemble à celui que l'on trouve dans de nombreux murs de sous-sols. Cette blancheur éthérée, c'est à une couche de peinture latex pulvérisée, la même que celle dont on se sert pour repeindre les murs de nos maisons, que *Columbia* la doit. Ses miraculeuses tuiles de protection thermique sont hydrofugées avec du Scotchguard et, le plus étonnant de tout, des piverts du sanctuaire aviaire avoisinant aiment faire leur nid dans

l'isolant du réservoir extérieur et doivent constamment en être chassés. Des chiens, des mouches à fruits, des chimpanzés et des humains ont pris la route de l'espace. Un de ces jours prochains l'Oncle Sam va également satelliser un pivert.

Trente secondes! Une clameur s'élève. Le poste de lancement s'anime soudainement alors que d'énormes masses d'eau surgissent sous cinq tuyères de fusée qui cracheront bientôt du feu. Cette massive injection d'eau a pour objet d'absorber l'onde de choc qui sans cela rebondirait et ferait sonner *Columbia* comme une cloche. C'est ce qui s'est passé lors de la première mission, comme on l'a découvert après analyse des données à l'issue du vol. Le problème a été résolu récemment, du moins on l'espère, et ce matin *Columbia* va emporter plus qu'elle-même dans l'espace. En effet, grâce à une équipe industrielle canadienne coordonnée par le Conseil national de recherches, elle emportera avec elle un des robots les plus perfectionnés du monde: son bras spatial.

Dix secondes; cinq secondes. Mise à feu. Le pas de tir KSC-39A est envelop-

sheet of fire. The noise is incredible. Suddenly, 5 km seems uncomfortably close. I cannot think; I could not shout. Much nearer the launch complex and this "white noise" would literally tear me apart.

Up in the sky, *Columbia* and her propellant cluster roll over one-half a turn. It is a move of ponderous grace, like the broaching of a whale. She will stay this way, upside-down with earth above her, till she prepares to land.

Loudspeakers at the viewing site chant height, speed, and downrange distance. At two minutes, travelling about 10 000 km/h, *Columbia* has dwindled to a bright speck. "SRB separation," say the loudspeakers. I see a white puff as her spent solid rocket boosters are blown away, riding parachutes down to their recovery ships. *Columbia* is 100 km above the Atlantic Ocean. She will burn her main engines for six minutes longer, jettison

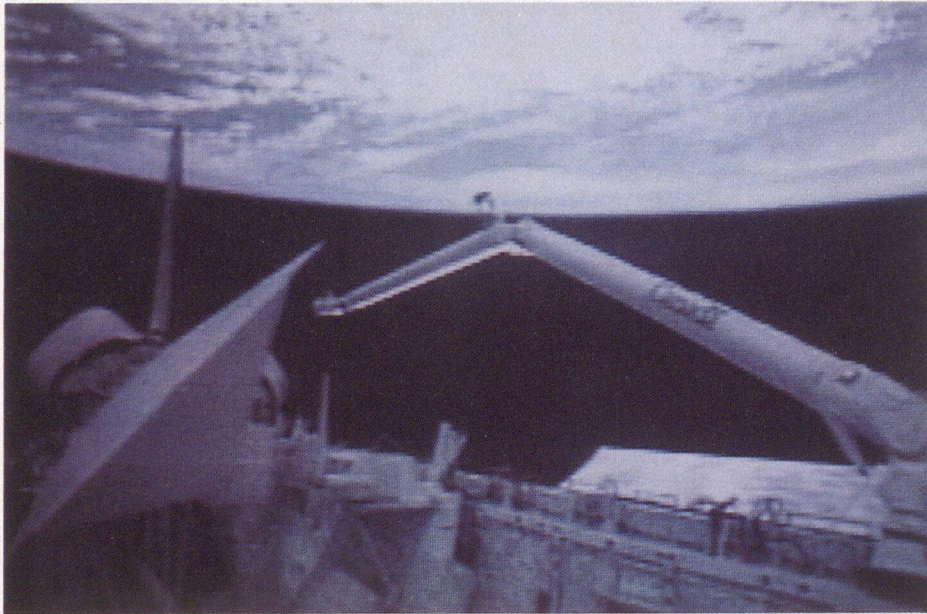
her external tank — now scorched, no longer unstained — and fire her secondary propulsion system to achieve her intended orbit. She will then become the world's first spacecraft to have done so more than once. God help the woodpeckers.

As the white column disappears high into the morning sky, there is time to consider the background of this unique craft, and the significance of the remote manipulator arm securely clipped inside her cargo bay. *Columbia*, though clothed in the most advanced materials, is, after all, basically an idea: a boxcar with wings. The Space Transportation System, as the name implies, means that travel beyond the earth has progressed from exploration to exploitation: NASA soon will treat the void above our atmosphere as a commercial resource. The Space Shuttle is thus not just a bigger, better rocket, but something wholly new — the first true spaceship. Only its external tank gets tossed, tumbling down to break up in the Indian Ocean. The solid-fuel boosters parachute to earth for repeated service, while the orbiter herself is re-usable up to a hundred times.

Initially, *Columbia* and her three sister orbiters will ferry up satellites pre-built by NASA's clients, placing them in precise orbits for a lower sum per kilogram than NASA has yet been able to charge. By the turn of the century, the Shuttle fleet may be constructing solar-power stations several kilometres to a side, or assembling manned Space Operations Centers from thousands of components orbited one load at a time. Each orbiter is the size of a DC-9 and is engineered to haul 30 t of cargo into low earth orbit again and again.

Long-distance haulage, however, is not the same as stevedoring. A boxcar *Columbia* may be; but once in space, she also needs to handle her 30 t of cargo. This is the task of the Shuttle Remote Manipulator System, which the National Research Council has christened Canadarm. When her engines switch off and the Shuttle coasts into orbit, her men and women astronauts won't be suiting up to take spacewalks in order to stow satellites in, or unstow them from, the cargo bay. Instead, the astronauts and mission specialists will turn to a control station at the rear of the orbiter's cabin. Their commands will open the doors of the cargo bay to a harsh space environment, and then the astronauts will grasp hand controls and put Canadarm to use. Still in the shirtsleeve environment of their cabin, spacemen will become workmen — all thanks to the Canadian arm.

Canadarm will release the satellites it



Bending its elbow, the arm undergoes its first test in space; the Earth provides a backdrop above.

Le bras subit son premier essai en pliant le coude avec, au-dessus de lui, la Terre comme toile de fond.



(NASA)

Alli Kurtis Studios

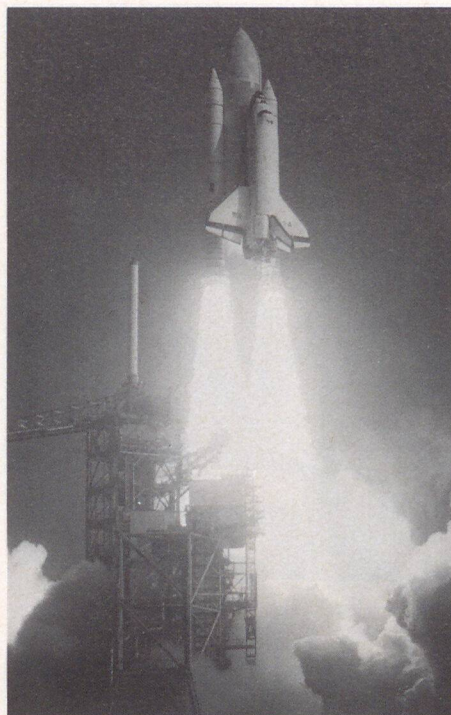
pé dans un rideau de flammes à reflets dorés.

Le spectacle d'un lancement vu à la télévision, au cinéma ou sur une photo est vraiment grandiose. Mais lorsqu'on y assiste en personne, il assaille tous les sens et non pas seulement celui de la vue. Cette beauté est accompagnée de puissance. À la jonction des flammes et du torrent d'eau, la vapeur obscurcit la tour de lancement. Lorsque les moteurs principaux ont atteint la poussée nominale, le nez de *Columbia* a oscillé de plus de 1 m car elle est encore reliée à sa tour par de puissantes attaches d'acier. Lorsqu'elle reprend la verticale, les accélérateurs à poudre entrent en jeu. Les attaches sont dégagées par des boulons explosifs et *Columbia* est soudainement libre. Tout à coup, l'extrémité de son réservoir extérieur surgit au-dessus de la tour avec une aisance déconcertante et la navette amorce sa montée sur un rideau de feu. Le bruit est incroyable. On constate alors que 5 km représentent vraiment une proximité inconfortable. Mes pensées s'arrêtent, je ne pourrais pas crier. Si j'étais plus près du complexe et de ce "bruit blanc", je serais littéralement désintégré.

Là haut dans le ciel, *Columbia* et ses réservoirs de propergols effectuent un demi-tour sur eux-mêmes. C'est une manoeuvre d'une lenteur majestueuse, qui évoque l'image d'une baleine roulant à la surface de l'eau. C'est l'attitude qu'elle conservera, c'est-à-dire sur le dos, la Terre au-dessus, jusqu'à ce qu'elle se prépare à atterrir.

Des hauts-parleurs installés autour du périmètre ouvert au public égrenent la hauteur, la vitesse et la distance atteintes sur la trajectoire. Au bout de deux minutes, se déplaçant à environ 10 000 km/h, *Columbia* n'est plus qu'un point brillant. "SRB separation", annoncent les hauts-parleurs. J'aperçois un panache de fumée blanche au moment où les accélérateurs à poudre vides sont largués et, soutenus par des parachutes, tombent vers le lieu de récupération en mer. *Columbia* est maintenant à 100 km d'altitude au-dessus de l'Atlantique. La combustion de ses moteurs principaux durera six minutes de plus, puis elle se débarrassera de son réservoir extérieur, maintenant noirci par les flammes, et mettra en oeuvre son système de propulsion secondaire pour atteindre l'orbite prévue. Elle sera ainsi devenue le premier vaisseau spatial du monde à avoir accompli plus d'un voyage. Que Dieu vienne en aide aux piverts.

Laissons le panache de fumée se dissiper dans les profondeurs du ciel matinal et faisons un peu l'historique de cette machine exceptionnelle en examinant le rôle du télémanipulateur fer-



Le bras spatial canadien s'élance vers l'espace. Après avoir fait étape à Ottawa, à Toronto, à Houston et en Floride, le bras, qui représente la contribution du CNRC et de Spar à l'effort spatial nord-américain, se dirige vers son environnement naturel.

Canadarm leaves earth. After stops in Ottawa, Toronto, Houston and Florida, the NRC-Spar contribution to North America's space effort heads for its natural environment.

mement fixé à l'intérieur de sa soute. Abstraction faite des matériaux d'avant-garde qui la composent, *Columbia* est avant tout une idée: un wagon équipé d'ailes. Comme l'implique l'appellation de système de transport spatial également utilisée pour désigner ce type de véhicule, les incursions au-delà de l'atmosphère terrestre sont passées du stade de l'exploration à celui de l'exploitation, l'intention de la NASA étant de traiter le vide extra-atmosphérique comme une richesse exploitable. La navette spatiale n'est donc pas tout simplement une fusée plus grosse et aux performances améliorées mais quelque chose d'entièrement nouveau, c'est-à-dire le premier vrai vaisseau spatial. Seul son réservoir extérieur n'est pas réutilisé puisque, livré à lui-même, il se désintègre en tombant dans l'océan Indien. Les accélérateurs à poudre sont ramenés à terre pour être réutilisés, l'étage orbital pouvant lui-même faire jusqu'à cent fois la navette entre la Terre et l'espace.

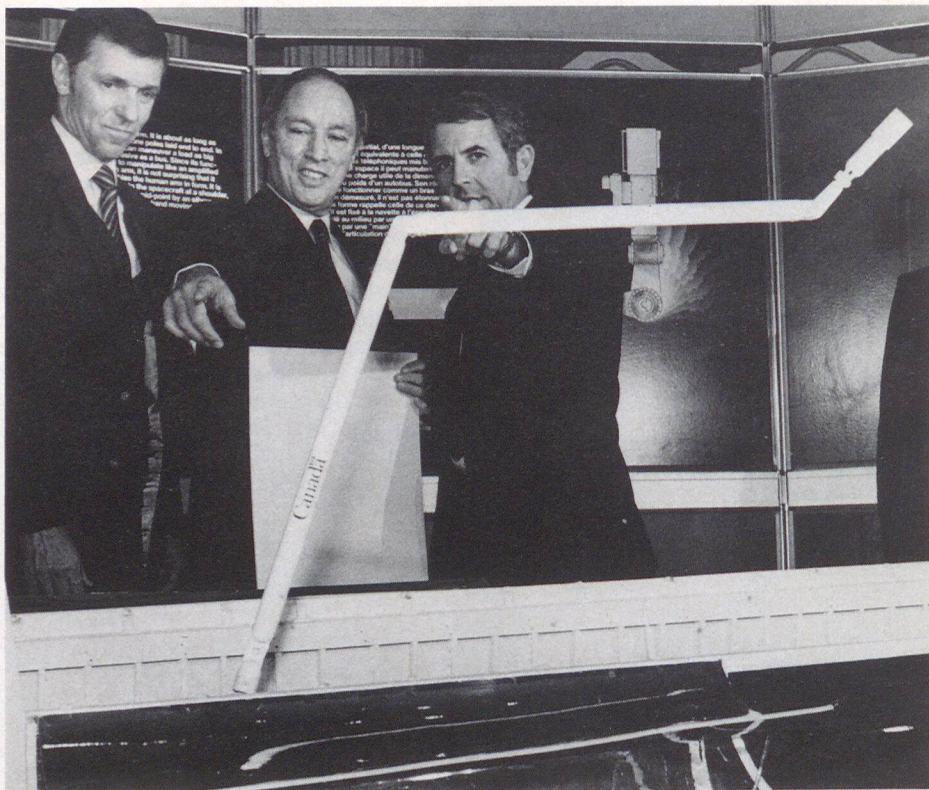
Pour commencer, *Columbia* et trois autres navettes de même type placeront sur orbite des satellites construits par les clients de la NASA contre paiement d'une somme qui sera inférieure au kilo à celle qu'elle facture actuellement. À la fin du siècle, la flotte de

navettes spatiales servira peut-être à construire des centrales solaires de plusieurs kilomètres de côté ou à assembler des centres d'opérations spatiales habités, à partir de milliers de composants amenés à pied d'oeuvre au cours de voyages successifs. Chaque étage orbital, qui a les dimensions d'un DC-9, est suffisamment puissant pour placer 30 t de fret sur orbite basse.

Le transport sur de longues distances ne peut cependant être comparé à du débardage. *Columbia* est peut-être une sorte de wagon mais une fois arrivée à destination elle doit également manutentionner ses 30 t de fret. Et c'est là qu'intervient le télémanipulateur que le Conseil national de recherches appelle tout simplement le bras spatial. Après l'arrêt des moteurs qui accompagne l'arrivée sur orbite de la navette, l'équipage n'aura pas à revêtir de scaphandres pour extraire des satellites de la soute en vue de les placer en vol libre ou, inversement, pour s'en saisir à l'extérieur et les placer en soute. Au lieu de cela, les astronautes et les spécialistes de mission prendront place dans un poste de commande situé à l'arrière de la cabine de l'étage orbital. Ils commanderont l'ouverture des portes de la soute, la plongeant dans le sévère environnement spatial, puis, à l'aide de commandes manuelles, feront exécuter au bras les manoeuvres nécessaires. Ainsi, grâce au bras canadien, les astronautes seront devenus des travailleurs de l'espace en bras de chemise.

Le bras placera les satellites sur l'orbite assignée en ne leur communiquant qu'une impulsion insignifiante. Il pourra également, après que la navette s'en sera approchée, se saisir de satellites déjà à pied d'oeuvre pour les placer à l'intérieur de la soute en vue de leur retour à terre. Une sorte de collet conçu pour se fixer sur le dispositif d'amarrage spécial du satellite à saisir et opérant à l'intérieur d'un cylindre tient lieu de main à ce bras. Dès que le contact est établi le collet se resserre sur le dispositif d'amarrage et se rétracte pour l'amener à s'encaster avec le satellite dans l'extrémité du cylindre. Plus tard, d'autres outils pourront remplacer cette main pour donner au bras spatial plus de précision que la main de l'Homme. Il s'agit donc plus que d'un bras spatial puisqu'il sera également muni de doigts doués de dextérité.

Mais n'anticipons pas car cette seconde mission (STS-2) de *Columbia* est encore un vol d'essai. Ses pilotes, les astronautes Dick Truly et Joe Engle, vont se servir de son télémanipulateur de toutes les manières possibles pour démontrer son aptitude aux travaux beaucoup plus difficiles qui l'attendent. Les ingénieurs canadiens et ceux



During their cross-Canada tour, astronauts Engle and Truly demonstrated the Canadarm to Prime Minister Trudeau.

Au cours de leur récente visite au Canada, les astronautes Truly et Engle ont expliqué le fonctionnement du bras spatial canadien au premier ministre Trudeau.

removes in exact position in space, imparting little spin or nudge when it lets go. The arm will also reach out to grapple existing satellites with which the orbiter has achieved rendez-vous, bringing them inside the cargo bay for return to earth. In place of a hand, Canadarm has an "end effector", a wire-snare device designed to fit over a special target/grapple fixture on the satellite. As soon as this capture occurs, the end effector pulls the fixture and the satellite attached to it snug against the end effector's rim. Ultimately, other armtips may be used to give Canadarm more precision than the human hand: not simply an arm in space, but also dexterous fingers.

Such work, however, is still in the future. STS-2, the second launch of *Columbia*, is still a flight test. In it, astronauts Dick Truly and Joe Engle are to use the manipulator in as many ways as possible, proving its efficacy for the more strenuous tasks ahead. Canadian and NASA engineers mated the arm with the orbiter in June of last year, two months after *Columbia*'s maiden flight. This is the first time Canadarm has been into space.

The instant *Columbia* cleared her gantry, six seconds into her flight, control over her passed from Cape Canaveral, Florida, to Houston, Texas. Thus *Columbia*'s departure is the signal for the Canadian delegation to

leave as well. We turn from squinting at the skies, and hurry to board the connecting flight to Houston. The engineers are both confident and apprehensive, like a father at a birth. They have worked flat out for seven years checking each detail times beyond counting. They know no reason why Canadarm should not work perfectly. But the fact remains: this is a test. The outcome cannot be known with utter certainty. Nature always has the final say.

Above Texas, between Orlando and Houston: Through the airplane's window I can see, miles below, a landscape as foreign to Canada as the surface of Mars. Houston lies no farther from Ottawa than Calgary does. Yet here are running water and strong sunshine; leaves on trees; strings of barges, etching white wakes on the twisting streams. On its approach to Houston Intercontinental, the DC-8 buzzes red-soiled scrubland, made for pavement. Golf courses are yellow with drought; only asphalt tennis courts glow green.

At Clear Lake City, a town halfway between Houston and Galveston, is the Lyndon B. Johnson Space Center, the actual "Houston" of the famous radio transmissions: "Houston, this is Tranquility Base." Here are astronaut training facilities, briefing rooms, and Mission Control for all manned spaceflight outside the Soviet Union. Al-

though to a Canadian this climate says June, the sun still sets at five-thirty. I arrive to a press room whose lights blaze into a close night full of moths. What's the news?

The news is that one of the three fuel cells providing electricity to the orbiter appears to have developed a pinpoint leak. Rather than risk complications, Mission Control has instructed the astronauts to shut the fuel cell down. That leaves *Columbia* with two cells: and although she might easily fulfil her mission on a single cell, the failure awakes a primal NASA fear — ideally, everything should be triply redundant. The rumor now is that the mission will be shortened to two-and-a-quarter days: the 54-hour contingency timeline. It is the same wise conservatism that led to last week's scrub.

But it still cuts the mission in half. If Mission Control does shorten things that much, three distinct test periods for Canadarm will be telescoped into only one: tomorrow, Friday the thirteenth. So this is it. The world is watching. Will Canadarm fluff its lines?

"MOCR," 13 November, 8 a.m. CST: MOCR, pronounced to rhyme with "poker," stands for Mission Operations Control Room. Here sits CapCom (Capsule communicator) Sally Ride, her title a reminder of the time when spacecraft were capsules the size of a home freezer. Flanking CapCom are dozens of support specialists, each named for the subsystem he or she represents. Each monitors a display screen — Canadarm's representative is called RMS. On his display is an aluminum model of Canadarm with crossed Canadian-American flags. At 8:00 a.m., it's official. CapCom has just radioed up to Dick Truly that he and Engle "are going to be coming home early." "That's not so good," Truly replies. His disappointment is understandable. After all, he's been waiting for this mission 15 years.

From the chatter I overhear on the link between the spacecraft and the MOCR, I gather that the first of Canadarm's flight test objectives are being met. We have as yet no visual signal: There is no ground station over the Pacific to send signals from TV cameras mounted in *Columbia*'s cargo bay and on the wrist and elbow of the arm. The large screens at the front of MOCR show the orbit's position against a Mercator map of the world, plus times to next signal loss or acquisition. Truly must now be standing at the Shuttle cabin's aft control station. He has apparently rolled Canadarm to its outboard work position from the storage position it occupies during launch, and has released its retention latches. Up there, 200 km above the

de la NASA ont monté le bras sur l'éta-ge orbital au mois de juin l'année der-nière, c'est-à-dire deux mois après le premier vol de *Columbia*. C'est donc avec la présente mission que le bras spatial reçoit son baptême de l'espace.

Dès que *Columbia* s'est déga-gée de sa tour de lancement, six secondes après le décollage, son contrôle est passé du centre de Cape Canaveral, en Floride, à celui de Houston, au Texas. Le départ de *Columbia* donnait égale-ment le signal du départ de la délégation canadienne qui devait maintenant se dépêcher de prendre l'avion qui l'amènerait à Houston. Les ingénieurs éprouvent un sentiment de confiance mélangé d'appréhension, tout comme un père attendant la naissance de son enfant. Ils ont oeuvré sans relâche pen-dant sept ans en vérifiant et en révé-riant chaque détail un nombre incalu-able de fois. Ils n'ont pu trouver aucune raison de craindre que le bras ne fonctionne parfaitement. Mais il n'en demeure pas moins qu'il s'agit d'un essai. Le résultat de cet essai ne peut être connu à l'avance avec une certitude absolue.

Au-dessus du Texas, entre Orlando et Houston: Par le hublot de l'avion je peux voir à quelques milles au-dessous de moi un paysage aussi différent du Canada que la surface de la planète Mars. Houston est situé à peu près à la même distance d'Ottawa que Calgary. La différence c'est qu'ici l'eau n'est pas gelée et que le soleil est ardent; qu'il y a des feuilles sur les arbres; des trains de péniches marquant leur pas-sage de sillages blancs sur les cours d'eau tortueux. Lors de son approche de Houston Intercontinental le DC-8 survole une maigre végétation arbus-tive poussant sur un sol rouge quasi-désertique. De verts qu'ils étaient, les terrains de golf sont passés au jaune sous l'effet de la sécheresse; seuls les courts de tennis asphaltés ont des re-flets verdâtres.

À Clear Lake City, ville située à mi-chemin entre Houston et Galveston, se trouve le Lyndon B. Johnson Space Center, ce "Houston" d'où nous est parvenu le fameux: "Houston, ici la base de la mer de la Tranquilité". C'est ici que se trouvent le centre d'entraî-ne-ment des astronautes, les salles de préparation et de compte rendu de mis-sion et le centre de contrôle de tous les vols pilotés en dehors de l'Union sovié-tique. Si, pour un Canadien, la tempé-rature est ici celle d'un mois de juin, le soleil se couche encore à 5h30. Je pénètre dans une salle de presse dont les lumières éclairent une nuit suffo-cante et bruisante de l'activité des papillons de nuit. Quoi de neuf?

Ce qu'il y a de neuf c'est qu'il semble que l'une des trois piles à combustible

qui alimentent la navette en électricité ait une légère fuite. Plutôt que de ris-quer des complications, le centre de contrôle a donné l'ordre aux astronautes de la mettre hors circuit. *Columbia* n'a maintenant plus que deux piles, et bien qu'une seule lui suffise pour accomplir sa mission, cette défaillance inquiète la NASA car, idéalement, tous les systèmes devraient exister en trois exemplaires. Selon les rumeurs, la mis-sion serait écourtée et ramenée à 2 jours un quart, soit la limite de 54 heures prévue en cas de problème. C'est la même sage prudence qui a con-duit à l'annulation du lancement de la semaine précédente.

La durée de la mission serait ainsi réduite de moitié. Si le centre de con-trôle des vols décide effectivement cette réduction, les trois périodes d'essais distinctes planifiées pour le bras spatial seront télescopées en une seule: demain, vendredi 13. Telle est la situa-tion. Le monde attend. Le bras spatial va-t-il rater son entrée en scène?

"MOCR", 13 novembre, 8 h, heure locale: MOCR, prononcé pour rhymer avec "poker", est l'abréviation de Mis-sion Operations Control Room. C'est ici que se trouve le CapCom (Capsule communicator) Sally Ride, son titre rappelant l'époque où les véhicules spatiaux étaient des capsules de la di-mension d'un congélateur domestique. Assistant le CapCom se trouvent des douzaines de spécialistes responsables des différents systèmes de la navette. Chacun de ceux-ci surveille un écran cathodique, celui qui est affecté au bras spatial étant désigné RMS (Re-mote Manipulator System). Il a placé au-dessus de son écran une maquette en aluminium du bras, ornée des dra-peaux canadien et américain. À 8 h, c'est officiel! CapCom vient juste d'annoncer à Dick Truly qu'il allait avec Joe Engle "revenir plus tôt que prévu". "Mauvaises nouvelles", ré-pond Truly. Sa déception est bien com-préhensible car, après tout, il a attendu quinze années pour accomplir cette mission.

De la conversation entendue entre le sol et la navette je saisis que les pre-miers objectifs du vol d'essais du bras spatial ont été atteints. Nous n'avons pas encore de signaux visuels. Il n'y a pas dans le Pacifique de station radio qui puisse relayer à Houston les signaux émis par les caméras de télévision montées dans la soute de *Columbia* et sur le poignet et le coude du bras. Les grands écrans faisant face au MOCR montrent la position de la navette sur l'orbite à l'aide d'une carte Mercator du monde avec les heures d'interrup-tion et de rétablissement des communi-cations radio et de télévision. Truly doit maintenant se trouver au poste de

commande situé à l'arrière de la cabine de la navette. Il semble qu'il ait amené le bras en position à l'extérieur de la soute après avoir commandé le déver-rouillage de ses attaches. Là-haut, à 200 km au-dessus de la Terre, le bras spatial est enfin libre d'évoluer dans l'environnement pour lequel il a été si soigneusement conçu.

"Okay", lance le CapCom. "Mettez la télévision en circuit si vous le pouvez."

"Circuit établi", répond Engle après un bref moment de silence. "Émission. Est-ce-que vous nous recevez bien?"

"Réponse négative", dit le CapCom. Mais l'écran s'anime soudainement et les stations de la côte ouest commen-cent à recevoir des images de télévision.

"Bravo! Nous recevons une excel-lente image."

Et voilà. C'est tout. Le résultat de l'investissement de 100 millions de dol-lars et de sept ans de travail. Sponta-nément, la délégation canadienne applaudit à tout rompre.

Illuminé du dessous et découpant sa silhouette sur un secteur de terre bleutée et parsemée de nuages, le bras spatial évolue majestueusement, l'arti-culation de l'épaule pointant comme une flèche vers l'espace alors que celle du coude est dirigée nettement vers l'étage orbital. D'une longueur de 20 m de son embase à l'extrémité de la main, c'est-à-dire de la longueur de deux poteaux télégraphiques mis bout à bout tout en ayant moins du dixième de leur masse, le télémanipulateur s'est immobilisé sur une position "d'at-tente" alors que la Terre tourne de façon ininterrompue au-dessus de lui à 8 km par seconde. Truly essaie le bras en mode automatique et il fonctionne parfaitement. C'est un spectacle, un jour, une heure, que peu de Canadiens parmi ceux qui suivent l'événement à la télévision oublieront jamais.

Pour le restant de la journée (quatre heures au total), Truly et Engle font exécuter tous les mouvements possibles au bras et les ingénieurs canadiens commencent à laisser paraître leur sa-tisfaction; ils recueillent le fruit de nombreuses années de travail. Les as-tronautes essaient le bras dans ses cinq modes de commande et "amènent" la main près d'un "dispositif d'amarrage cible" situé dans la soute de la navette. Les caméras de télévision montées sur le bras envoient de spectaculaires images de la navette: une vue du poste de pilotage depuis l'espace; une vue amusante de Truly tenant un écriteau devant la fenêtre arrière de la cabine avec l'énorme globe terrestre tournant au-dessus de lui. Engle et Truly travail-lent de concert au poste arrière, Truly commandant les évolutions du bras et Engle allumant les moteurs-fusées de

earth, Canadarm is at last free in the environment for which it has been so carefully designed.

"Okay," says CapCom. "Establish television feed if you can."

"Established," Engle says after a brief pause. "Transmitting. You people seeing anything down there yet?"

"That's a negative," says CapCom. But then the screen flickers. Ground stations on the west coast are beginning to pick up the television signals.

"Okay! Be advised we're looking at an excellent picture."

And there it is. The end of it all. The payoff for a hundred million dollars, seven years' work. Spontaneously, the Canadian delegation breaks into applause.

Lit from below and silhouetted against a sector of a blue and cloud-streaked earth, Canadarm swings serenely, its shoulder segment pointing away from the orbiter and its forearm segment pointing sharply down to her again. Twenty metres from baseplate to end effector, the size of two telephone poles laid end-to-end yet less than one-tenth their mass, the Canadian manipulator rests in its "poise" position as the earth slips continuously away above it at 8 km per second. Truly exercises Canadarm in its automatic mode, and it performs flawlessly. It is a sight, a day, an hour, few of the watching Canadians will ever forget.

For the rest of the day (four hours in all), Truly and Engle put Canadarm through its hoops, and the Canadian engineers begin to show their satisfaction; they are witnessing the success of many years work. The astronauts test the arm in all five of its control modes, and "fly" the end effector near a target "grapple fixture" in the cargo bay. The TV cameras atop Canadarm relay spectacular views of the Shuttle: the whole forward cabin from space; a whimsical shot of Truly holding up a sign to the aft window; the great globe floating overhead. Engle and Truly cooperate at the aft station, Truly on the arm controls and Engle firing the reaction-control thrusters — a technique that will become commonplace as *Columbia* handles larger loads.

There are two, and only two, anomalies. On one of its five control modes, in one of its three joints, in one of its six degrees of freedom, the arm will not respond to one command; the shoulder has a touch of bursitis (a broken wire prevented the execution of the command). And towards the end of the test sequence, the arm's TV cameras stop transmitting (a short circuit in the elbow camera caused the circuit breaker to "pop"). That's all the bad news — negligible beside the good. Engineers have already rectified these



At work, Canadarm will retrieve satellites or place them in orbit. The arm can also be used to inspect the Shuttle while in orbit.

À pied d'oeuvre, le bras spatial canadien pourra placer des satellites sur orbite ou récupérer des satellites qui s'y trouvent déjà. On s'en servira également pour inspecter la navette dans l'espace.

minor hitches and Canadarm will fly again on STS-3, now scheduled for March 1982. In the meantime, Canadarm has done everything of the first priority, and much of what it would have been expected to accomplish even in the full five-day timeline.

Truly cannot praise it highly enough. He radios from space that Canadarm is smoother than the earthbound simulators he has practised on in Houston and Toronto. The tests conclude with passive measurements of Canadarm's temperature-control system. Then the arm, once more stretched out and resting in its cradles, is latched, rolled inboard to the cargo bay, and powered down. That night the astronauts go to sleep content, high above a contingent of Canadian aerospace engineers yet more content than they.

In the morning, Saturday, 14 November, Joe Engle and Dick Truly close *Columbia*'s bay doors and burn from orbit. At 3 PM CST, the Shuttle strikes the upper atmosphere. The intense heat of re-entry wraps it in plasma, the "fourth state of matter" which conducts electricity as efficiently as copper and shields the spacecraft from all radio links. Signal is

reacquired over the Eastern Pacific; *Columbia* has come through this re-entry as handily as she did her last. She falls unpowered, her glide path that of an aerodynamic brick. But in the denser, lower atmosphere, she regains her grace. Engle swerves her 80 degrees to port, then oscillates her body flap, a combination flame shield and rear control surface, until *Columbia* noses up and down like a dolphin. Her wingtips leave a strange, intermittent vapor trail. "Digital," murmurs NRC's deputy project head. Indeed, it does appear like Morse-code skywriting on a stratospheric slate.

A headwind combined with a delicate touch on the controls allows Engle to glide the orbiter to a perfect landing, just like that of John Young five months earlier in the Mojave. Her nose wheel sinks like a feather: few commercial airline touchdowns are as smooth. The craft slows, rolling in a cloud of dust to a dead stop, exactly straddling her aim strip. The second flight of *Columbia*, abbreviated but still triumphant, is over. Canadarm has graduated *summa cum laude*. □

William Atkinson

contrôle d'attitude, technique qui deviendra routinière lorsque *Columbia* aura à manipuler de plus grosses charges.

Il n'y a que deux anomalies à signaler: la première est que dans l'un des cinq modes de commande de l'une de ses trois articulations, dans l'un de ses six degrés de liberté, le bras s'avère incapable d'exécuter l'un des ordres qui lui sont donnés; son épaule souffre d'un brin de "bursite" due à la rupture d'un fil empêchant l'acheminement de l'ordre. Et vers la fin de la séquence d'essais, les caméras de télévision du bras refusent de fonctionner (un court circuit dans la caméra du coude a provoqué le déclenchement du disjoncteur). C'est tout pour les mauvaises nouvelles et c'est tout à fait négligeable si on les compare aux bonnes. Les ingénieurs ont déjà éliminé la cause de ces défaillances mineures et le bras spatial participera à la prochaine mission maintenant prévue pour mars 1982. En attendant, il a atteint tous ses objectifs prioritaires et exécuté une grande partie des tâches qu'on lui avait assignées au cours de la mission de cinq jours prévue à l'origine.

Truly se trouve à cours de qualificatifs pour exprimer sa satisfaction. Il annonce par radio que le bras spatial est plus facile à piloter que les simulations avec lesquelles il s'est entraîné à Houston et à Toronto. Les essais

s'achèvent avec des mesures passives du système de régulation thermique du bras. Le bras est redressé, replacé dans son berceau, et reverrouillé à l'intérieur de la soute, et son alimentation est coupée. Cette nuit-là les astronautes s'endorment satisfaits, très loin au-dessus d'une équipe d'ingénieurs aérospatiaux canadiens qui le sont encore plus.

Le matin suivant, donc le samedi 14 novembre, Joe Engle et Dick Truly referment les portes de la soute de la navette et amorcent leur rentrée en mettant à feu les moteurs-fusées orbitaux. À 15 h, heure locale, la navette atteint les premières couches de la haute atmosphère. La chaleur intense de la rentrée l'enveloppe dans un plasma, "quatrième état de la matière" qui assure aussi efficacement le passage de l'électricité que le cuivre et isole donc le vaisseau spatial de toutes communications radio. Les communications radio sont rétablies au-dessus de l'est du Pacifique; *Columbia* a accompli cette rentrée aussi facilement que la dernière; elle plane en vol libre, sa trajectoire de descente étant comparable à celle qu'aurait une brique aérodynamique. Mais arrivée dans les couches plus denses de la basse atmosphère, elle retrouve sa grâce. Engle lui fait accomplir un virage de 80 degrés, puis manœuvre son volet ventral, sorte de plan qui fait à la fois fonction d'écran ther-

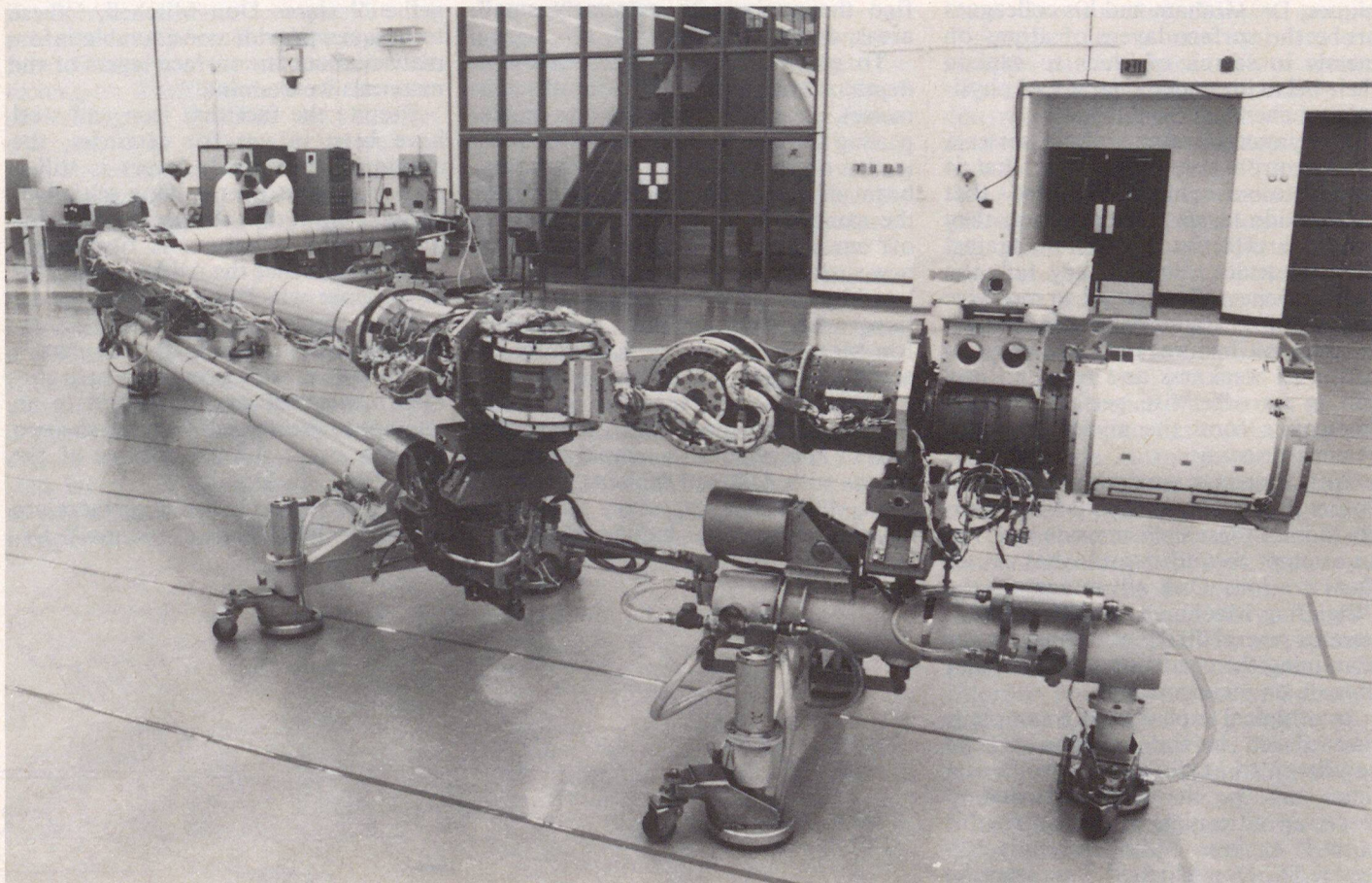
mique et de gouverne arrière jusqu'à ce que *Columbia* se cabre et plonge comme un dauphin. L'extrémité de ses ailes crée une étrange traînée de vapeur intermittente. "Du Morse", murmure le chef de projet adjoint du CNRC. Cela ressemble effectivement à des signaux Morse projetés sur une ardoise stratosphérique.

Un vent debout et une délicate action sur les commandes permettent à Engle d'exécuter en vol plané un atterrissage parfait, tout comme celui auquel nous donna d'assister John Young cinq mois plus tôt dans le désert de Mojave. Les roues de l'atterrisseur avant de la navette touchent la piste avec douceur: peu de pilotes de ligne peuvent égaler la perfection de cet atterrissage. La machine ralentit et s'arrête dans un nuage de poussière, exactement sur l'axe de la piste. La deuxième mission de *Columbia*, abrégée mais malgré tout triomphale, est terminée. Le bras spatial a passé l'épreuve avec les honneurs du jury.

Texte français: Claude Devismes

Les essais au sol du bras comprenaient des manœuvres sur des patins pneumatiques (disques argentés).

Earthbound tests of the arm included maneuvering it on air cushion bearings (the silver discs).



(NASA)

CORR

The naked surface

There are few things more frustrating than that first sign of corrosion on your new car. Indeed the layman can be forgiven for asking why scientists don't devote their time to inventing something which will preserve a shiny bumper or the freshness of paint work against all weathers.

As far as Dr. Mike Graham and his group in the Division of Chemistry at the National Research Council are concerned, the key to corrosion prevention could one day be unlocked by "The Big Blue Machine" - their affectionate name for the laboratory's ultra-high vacuum surface-analysis equipment. Dr. Graham is a surface chemist and he emphasizes that before science can develop a more effective protection against metal corrosion, it must first understand the processes which occur on metal surfaces. Using a combination of several different analytical techniques, Dr. Graham and his colleagues probe the surface layers of atoms on metals in search of clues to explain their behavior under a variety of physical and chemical conditions.

Every metal except gold possesses a natural protective oxide layer that is several atoms thick. Provided that these oxide layers remain intact, they offer an effective protection against external attack. Should they fail, the surface beneath is exposed to moisture and reactive contaminants in the atmosphere. Chemical reactions occur at points of weakness and result in tiny pits in an otherwise perfect coating. These pits form the nuclei for more extensive rusting.

Dr. Graham's research program involves a detailed analysis of the composition of these surface oxide layers in an attempt to understand what causes them to fail. One advantage of the "Big Blue Machine" is that it incorporates several different techniques for examining the corrosion processes that operate on metal surfaces.

In a typical experiment, a sample is first placed in the machine (it can handle up to 11 different samples at a time) and the chamber evacuated to create an ultra-high vacuum. "At this point," explains Mike Graham's colleague Dr. Don Mitchell, "we scan the

surface of the material with an electron microscope, exploring its topological features. Depending on the nature of the task, we can either choose a representative area for analysis or, as is often the case, zero in on such features as pits or inclusions frequently associated with the corrosion process."

Once the area is chosen, the primary tool of analysis is brought into play. Called by the intimidating name Auger (Oh-jay) electron spectroscopy, the technique involves bombarding the study area with a beam of electrons which excite the surface atoms, causing them to eject electrons. "The energies of these electrons provide us with information on the chemical nature of the surface," says Mitchell. "It tells us what elements are there, what quantity of each is present and, in a general way, the thickness of the surface oxide film. The technique allows us to confine the analysis to extremely small areas, down to 10^{-10} cm²."

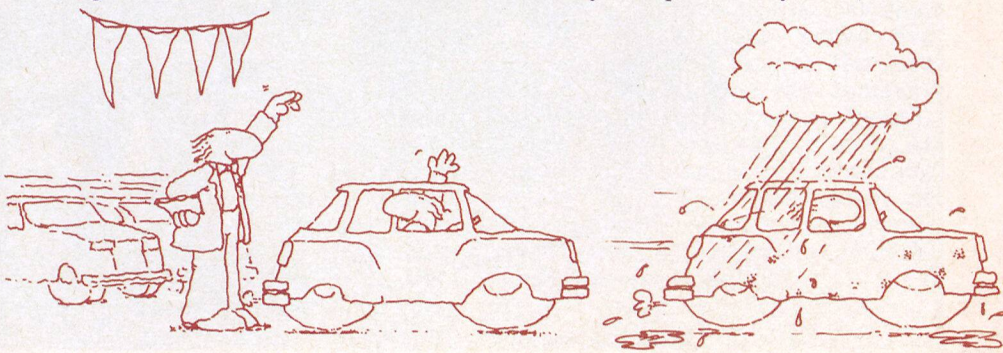
To get information much below a depth of 2 nanometres (2 billionths of a metre), it is then necessary to begin peeling off the atom layers in the protective oxide film. This is done with a beam of Xenon ions, which act much the same as a sandblaster, sputtering off one atomic layer after another. As new surfaces are exposed, they are analyzed by the Auger technique. In addition, a second technique, Secondary Ion Mass Spectrometry, known by its acronym SIMS, identifies the atoms removed by the Xenon ion beam. "While it isn't possible to locate the area of analysis on the sample as precisely as with Auger," explains Dr. Mitchell, "SIMS is extremely sensitive, allowing us to count individual atoms.

We often do analyses for private companies, particularly for such impurity-conscious sectors as the electronics industry. In one case, they brought us some components which did not work and their best analytical techniques could not tell them why. We looked at them with SIMS and discovered certain ions which should not have been there. The ions, sodium, potassium and chloride, are found in human sweat. Somewhere along their production line, the components were being contaminated by human handling."

The third technique that forms part of the "Big Blue Machine" is called X-ray Photoelectron Microscopy (XPS). In this method, a beam of soft X-rays (not of very high energy) bathes the sample area, and the ejected electrons tell the researcher something of the manner in which the surface atoms are chemically bonded. "Taken together," states Don Mitchell, "these techniques provide considerable information about the surface layers of the materials we examine."

Despite the fact that iron and steel have been in use for centuries, the nature of their oxide layers is still a matter of controversy. One school of thought has it that the protective oxide is crystalline in nature. A rival hypothesis claims that the oxides form a gel of polymer which is held together by bridges made of water molecules. Among other studies, Dr. Graham's group is at present preparing such surfaces using isotopes of oxygen in an attempt to distinguish between the two theories using the capabilities of the "Big Blue Machine."

"Oxide films on metal surfaces are incredibly complicated systems," Dr.



OSION

La "surface" du problème

Rien n'est plus frustrant que l'apparition des premiers signes de corrosion sur une voiture neuve. "Alors", s'exclame M. Tout-le-Monde, "qu'attendent les scientifiques pour mettre au point un procédé qui rende le pare-choc rutilant ou la peinture flambant neuve de nos voitures à l'épreuve de toutes les intempéries?"

Pour le Dr Michael Graham et son équipe, de la Division de chimie du Conseil national de recherches, le secret de la prévention de la corrosion pourrait bien nous être livré par celle qu'ils surnomment affectueusement la "Big Blue Machine": il s'agit d'une machine qui permet d'analyser, dans des conditions de vide très poussé, la surface des matériaux. Le Dr Graham, lui-même chimiste des surfaces, rappelle qu'avant que les scientifiques puissent mettre au point une protection efficace contre la corrosion du métal, ils doivent d'abord comprendre les processus qui prennent place à sa surface. S'appuyant sur un ensemble de techniques d'analyse, le Dr Graham et ses collègues étudient les couches d'atomes à la surface des métaux en vue d'y déceler des indices permettant d'expliquer leur comportement sous différentes conditions physiques et chimiques.

Tous les métaux, à l'exception de l'or, possèdent un film d'oxyde protecteur naturel de quelques atomes d'épaisseur. Aussi longtemps que le film d'oxyde demeure intact, il offre une protection efficace contre l'attaque d'agents extérieurs. Qu'il vienne cependant à être endommagé et la surface sous-jacente sera exposée à l'humidité et aux contaminants réactifs de l'atmosphère. Profitant des défaillances du

métal, ces agents amorceront des réactions chimiques qui se manifesteront par l'apparition de minuscules trous, ou piqûres, à partir desquels la rouille se développera et s'étendra au reste de la surface.

Le programme de recherche du Dr Graham l'amène à étudier en détail la composition des films d'oxyde à la surface du métal afin de découvrir la cause de leur défaillance. L'avantage de la "Big Blue Machine" est qu'elle permet de combiner différentes techniques pour analyser le processus de corrosion qui intervient à la surface des métaux.

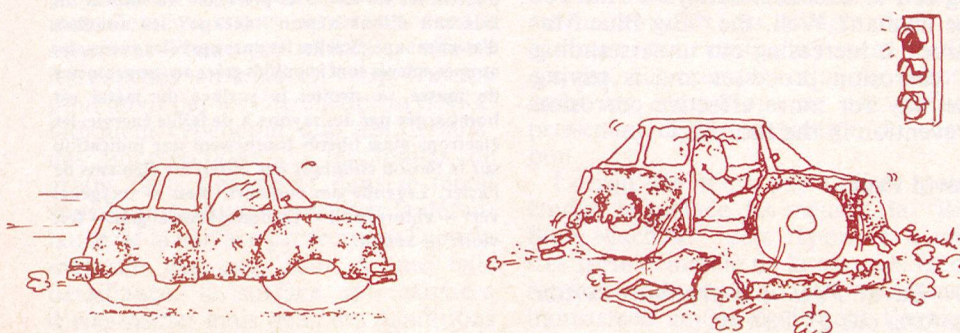
Une expérience type consiste à placer un échantillon dans la machine (celle-ci peut traiter jusqu'à onze échantillons à la fois) puis à créer un vide très poussé à l'intérieur de la chambre d'essai. "Ensuite", explique le Dr Don Mitchell, un collègue du Dr Graham, "nous examinons la surface du matériau à l'aide d'un microscope électronique à balayage afin d'en relever les caractéristiques topologiques. Selon la nature du travail, nous pouvons alors soit déterminer une zone représentative et l'analyser, soit, comme c'est souvent le cas, concentrer notre examen sur certains détails caractéristiques comme les piqûres ou les inclusions, fréquemment associés au processus de corrosion."

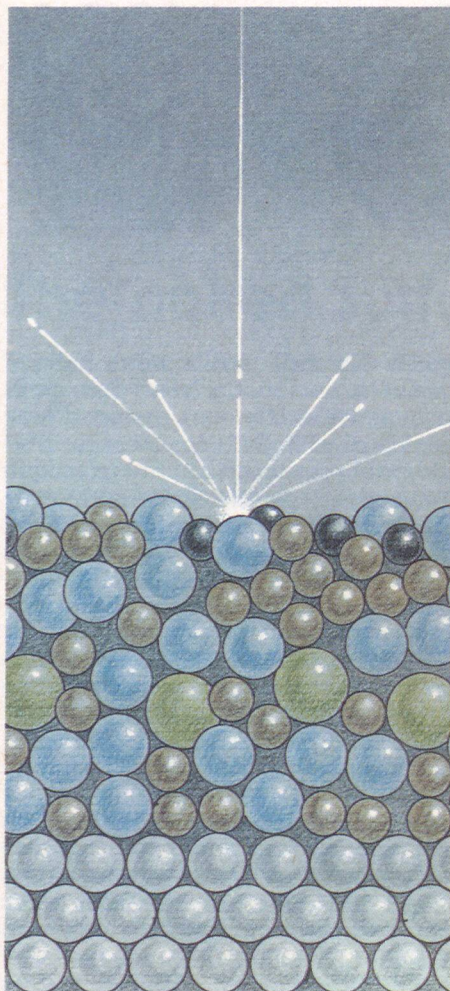
Une fois que l'on a déterminé cette zone, la principale technique d'analyse entre en jeu. Elle fait appel à la spectrométrie électronique Auger, technique qui consiste à bombarder la zone étudiée au moyen d'un faisceau d'électrons qui excitent les atomes superficiels et les forcent à éjecter des électrons. "L'énergie libérée par ces électrons nous renseigne sur la composition chimique de la surface", poursuit

le Dr Mitchell. "Elle nous indique quels éléments sont présents et en quelle quantité et elle nous permet d'évaluer, grosso modo, l'épaisseur du film d'oxyde protecteur. Cette technique nous permet de restreindre notre analyse à une zone relativement peu étendue, de l'ordre de 10^{-10} cm²."

Pour étudier les couches situées à plus de deux nanomètres (deux milliardièmes de mètre) de profondeur, il faudra donc détacher successivement les couches d'atomes qui forment le film d'oxyde protecteur. Pour ce faire, on utilise un faisceau d'ions xénon qui, un peu à la façon d'un jet de sable, "décapent" les couches d'atomes les unes après les autres. À mesure que de nouvelles surfaces sont exposées, elles sont analysées à l'aide de la technique Auger. En outre, une deuxième technique, appelée spectrométrie de masse des ions secondaires (Secondary Ion Mass Spectrometry, SIMS), permet d'identifier les atomes qui ont été arrachés par le faisceau d'ions xénon. "Bien qu'il ne soit pas possible de déterminer la zone de l'échantillon ainsi analysée de façon aussi exacte qu'avec la technique Auger", précise le Dr Mitchell, "la spectrométrie de masse présente une très grande sensibilité, allant jusqu'à nous permettre de compter chaque atome. Il arrive souvent que nous procédions à des analyses pour le compte d'entreprises privées, particulièrement dans les secteurs où, à l'instar de l'industrie de l'électronique, l'absence d'impuretés est primordiale. Un jour des représentants de cette industrie, incapables de trouver la cause d'un problème par leurs propres techniques d'analyse, nous ont soumis des composants électroniques qui ne fonctionnaient pas. Nous les avons examinés à l'aide du spectromètre de masse et nous avons découvert la présence d'ions indésirables, en l'occurrence du sodium, du potassium et du chlorure, lesquels sont présents dans la sueur humaine. Quelque part le long de la chaîne de production, les composants avaient été contaminés par une intervention humaine."

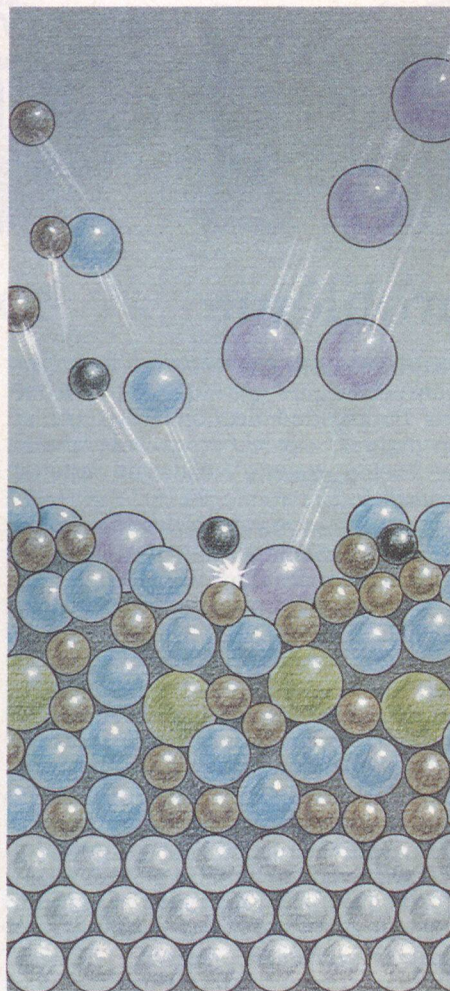
La troisième technique intégrée à la "Big Blue Machine" porte le nom de "microscopie photoélectronique par





Graham says. "You'd think that they'd be well understood, but from a fundamental point of view we still don't know how water, for example, affects the top layers." The group's work does, however, indicate that defects such as imperfections or grain boundaries in the oxide and underlying metallic structure cause the protective surface to break down. Generally, following failure, these surfaces are able to repair themselves but, under adverse circumstances, foreign ions, most notably chlorides (found in road salts), appear to become incorporated into the surface film. When this happens the spontaneous repair process is hindered and chemical attack of the underlying metal surface begins.

"Once we can understand all the chemical and physical processes involved," Dr. Graham says, "we'll have a better idea of how to prepare metals to make them more corrosion resistant." In the case of iron-chromium alloys, which are particularly susceptible to attack by sulphur, the NRC research is contributing to the development of methods to improve the performance of these alloys when they are used, for example, in the hostile environment of a sulphur-bearing coal gas atmosphere.

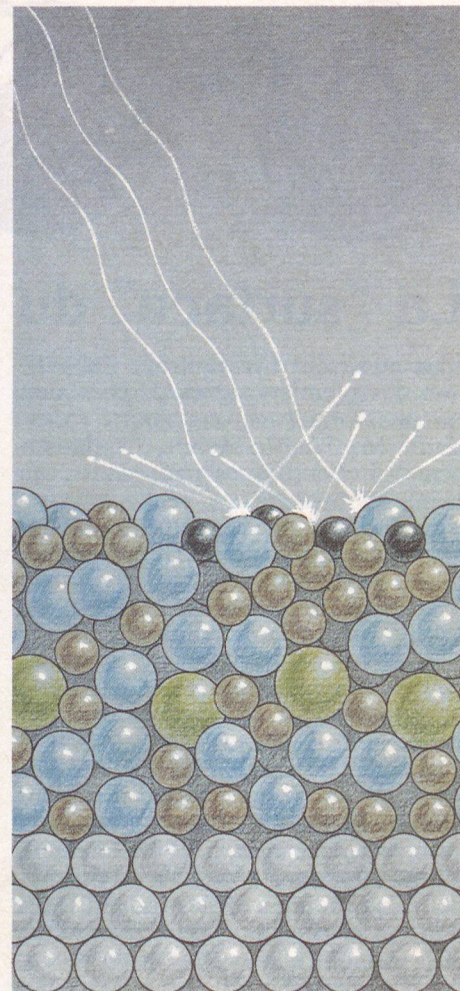


When it is not probing the secrets of surface layers, the "Big Blue Machine" is in heavy demand from industrial laboratories. As a service to industry, Mike Graham's group is involved in looking at problems which range from studies of the effects of fluorides in the waters of Ontario Hydro boilers, the surface impurities in devices for the electronics industry, and the action of catalysts used in chlorine production. In cooperation with the University of Toronto, an investigation is also under way on the embrittlement of steel.

For Mike Graham, the study of surfaces is one of the most exciting fundamental research fields in chemistry today. As he points out, so many important processes take place on surfaces, from biological action in the living cell to chemical catalysis. And for the layman? Well, the "Big Blue Machine" is increasing our understanding of corrosion processes and is paving the way for more effective corrosion prevention in the future. □

David Peat

Dr. David Peat is a freelance writer working out of Ottawa.



To understand corrosion, scientists examine the chemical nature of metallic surfaces and how the protective oxide films that cover them are changed by outside attack. Three of the analytical techniques commonly employed are shown here. Left: a beam of electrons hits the surface atoms, the ejected electrons are used to identify the elements present. Middle: An Xenon ion beam "sandblasts" the surface atoms, layer by layer. The removed atoms are identified in a mass spectrometer. Right: Low energy X-rays bathe the metal surface, liberating electrons which indicate the material's chemical bonding. Color code: Oxygen — blue; Chlorine — green; Carbon — black; Iron — brown; Xenon — purple.

Pour comprendre le processus de la corrosion, les scientifiques étudient la composition chimique de la surface des métaux et les modifications du film d'oxyde protecteur sous l'action d'agents extérieurs. Trois techniques d'analyse sont illustrées ici. À gauche: un faisceau d'électrons frappe les atomes superficiels, les électrons éjectés permettant d'identifier les éléments présents. Au milieu: un faisceau d'ions xénon "décape" les couches d'atomes superficiels les unes après les autres; les atomes enlevés sont identifiés grâce au spectromètre de masse. À droite: la surface du métal est bombardée par des rayons X de faible énergie; les électrons ainsi libérés fournissent une indication sur la liaison chimique des différents éléments de l'acier. Légende des couleurs: bleu — oxygène; vert — chlore; noir — carbone; brun et gris — fer; violet — xénon.



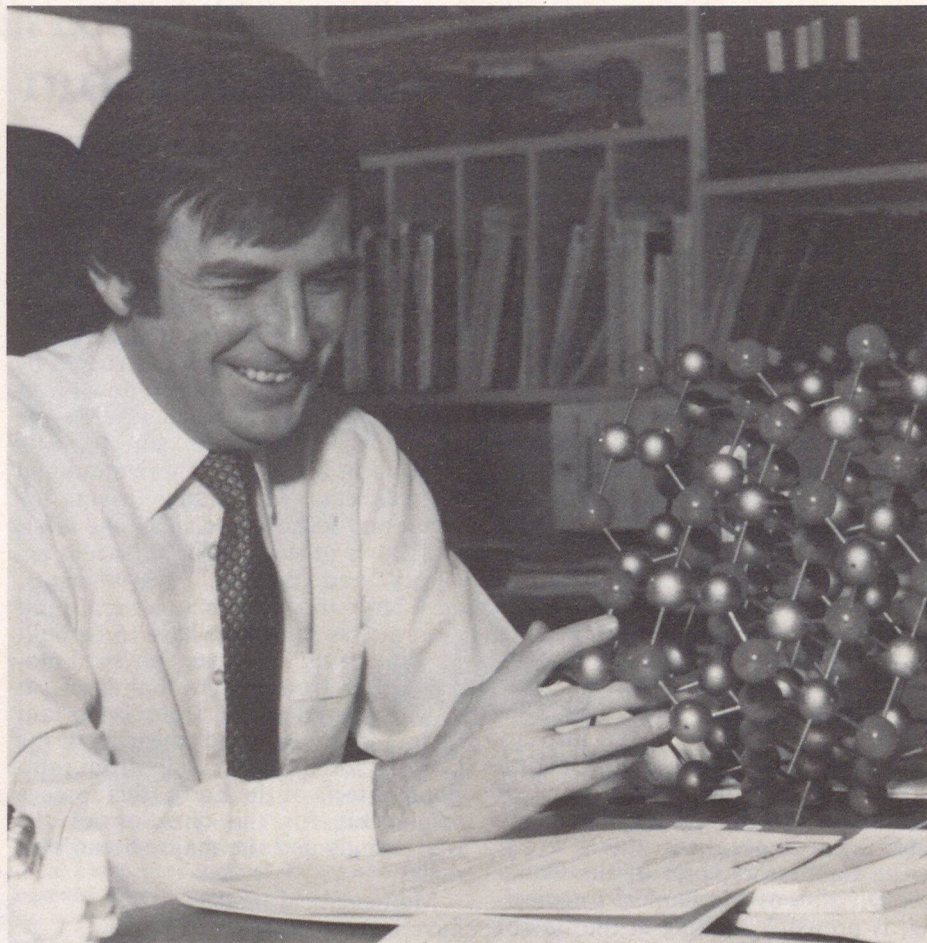
Le Dr Don Mitchell: La "Big Blue Machine" du CNRC révèle le microcosme qui s'agite à la surface des métaux.

Dr. Don Mitchell: The microcosm of metal surfaces is laid bare with NRC's "Big Blue Machine."

rayons X" (X-ray Photoelectron Microscopy, XPS). Elle consiste à bombarder la zone étudiée à l'aide d'un faisceau de rayons X mous (de faible énergie); les électrons qui sont alors éjectés renseignent les chercheurs sur la liaison chimique qui existe entre les atomes superficiels. "Toutes ces techniques mises ensemble", explique Don Mitchell, "nous fournissent une somme d'information appréciable sur la composition des couches superficielles du matériau étudié."

Bien que le fer et l'acier soient utilisés depuis des siècles, la nature des films d'oxyde superficiels de ces métaux fait toujours l'objet de controverses. Les partisans d'une première école de pensée soutiennent que l'oxyde protecteur est de nature cristalline; dans le clan opposé, on avance que les oxydes forment un gel de polymères liés par des ponts formés de molécules d'eau. Pour tirer les choses au clair, le Dr Graham et son équipe ont, entre autres, entrepris une expérience qui consiste à préparer la surface de ces métaux en marquant les échantillons à l'aide d'isotopes d'oxygène, puis à les analyser à l'aide de la "Big Blue Machine".

"Les couches d'oxyde protecteur qui se forment à la surface des métaux sont des systèmes extrêmement complexes", commente le Dr Graham. "On pourrait croire qu'elles n'ont plus de secrets pour nous aujourd'hui mais, fondamentalement, nous ignorons encore comment l'eau, par exemple, affecte les couches supérieures." Les travaux poursuivis par les chercheurs du CNRC indiquent cependant que des défauts, des imperfections ou les limites de grains dans l'oxyde et dans le métal sous-jacent peuvent entraîner la défaillance de la surface protectrice. Dans la majorité des cas, suite à une telle défaillance, la surface se cicatrises d'elle-même; mais dans des conditions



Dr. Michael Graham: Chemistry reveals how the corrosion of metals takes place.

Le Dr Michael Graham: L'analyse chimique permet d'élucider le processus de la corrosion des métaux.

défavorables des ions étrangers, notamment des chlorures (que l'on trouve dans le sel épandu sur les routes), pénétreront dans la couche superficielle, empêchant la cicatrisation spontanée de la surface et facilitant l'attaque du métal sous-jacent par des agents chimiques.

"Lorsque nous aurons compris tous les processus chimiques et physiques qui sont en jeu", explique le Dr Graham, "nous saurons mieux ce qu'il faut faire pour améliorer la résistance des métaux à la corrosion." Dans le cas des alliages fer-chrome, qui sont particulièrement sensibles à l'attaque du soufre, la recherche poursuivie au CNRC contribuera à la mise au point de méthodes qui permettront d'améliorer la tenue de ces alliages dans un environnement particulièrement hostile comme, par exemple, celui que constituent les émanations de gaz sulfuré provenant de la combustion du charbon.

Lorsqu'elle n'est pas utilisée pour étudier la surface des métaux, la "Big Blue Machine" doit répondre à une très forte demande de la part des laboratoires industriels. Cette assistance industrielle amène également l'équipe

du Dr Graham à participer à l'étude de problèmes qui vont de l'effet du fluor dans l'eau des chaudières de l'Ontario Hydro à l'identification des impuretés présentes à la surface des composants électroniques, en passant par l'effet des catalyseurs dans la production du chlore. Les chercheurs, en collaboration avec l'Université de Toronto, effectuent également une étude sur la fragilisation de l'acier.

Au dire de Mike Graham, l'étude des surfaces constitue actuellement l'un des champs de recherche fondamentale les plus passionnants de la chimie moderne. Ainsi qu'il le fait remarquer, un très grand nombre de processus ont lieu à la surface des matériaux, qu'il s'agisse d'une réaction biologique ou d'une catalyse chimique. Mais qu'advient-il des préoccupations de M. Toutle-Monde dans tout cela? Eh bien, dans la mesure où la "Big Blue Machine" nous aide à mieux comprendre les mécanismes de la corrosion, il est permis d'espérer que nous pourrions à l'avenir protéger plus efficacement les voitures et les métaux contre la corrosion. □

Texte français: Line Bastrash

Equations for aquatic systems

Meshing models with math

NRC's Hydraulics Laboratory has a powerful technique for simulating the behavior of large bodies of water. A physical model of the system and a mathematical model are married into what engineers refer to as a "hybrid" model.

With its 16-m-high tides, the Bay of Fundy is considered one of the best sites in the world for tidal power development. Caution is required, however, in the design of these schemes, since research shows that the Bay and its neighbor, the Gulf of Maine, form a single resonant system where seemingly small alterations can lead to widespread effects. Construction of a power plant then is not simply an engineering problem of deciding how many turbines you need, and where. Many other technical and ecological considerations have to be taken into account and NRC's Hydraulics Laboratory is presently developing some of the tools needed to address these problems.

The Laboratory, part of the Council's Division of Mechanical Engineering, is presently looking at the Bay of Fundy using techniques which it has spent years developing and perfecting, and for which it has an expertise acknowledged worldwide. The Laboratory's approach involves models, both the scaled-down simulations of water systems and mathematical equations which describe the overall features of these systems. For many years, the Laboratory has studied rivers, estuaries and seashores, through the design and construction of models of these water systems. Many bodies of water

such as the Saint Lawrence, the Fraser River in British Columbia, and the Churchill Harbor in Manitoba, have been modelled in the past; this experience has allowed NRC to develop a variety of sophisticated modelling techniques for evaluation of proposed modifications to bodies of water.

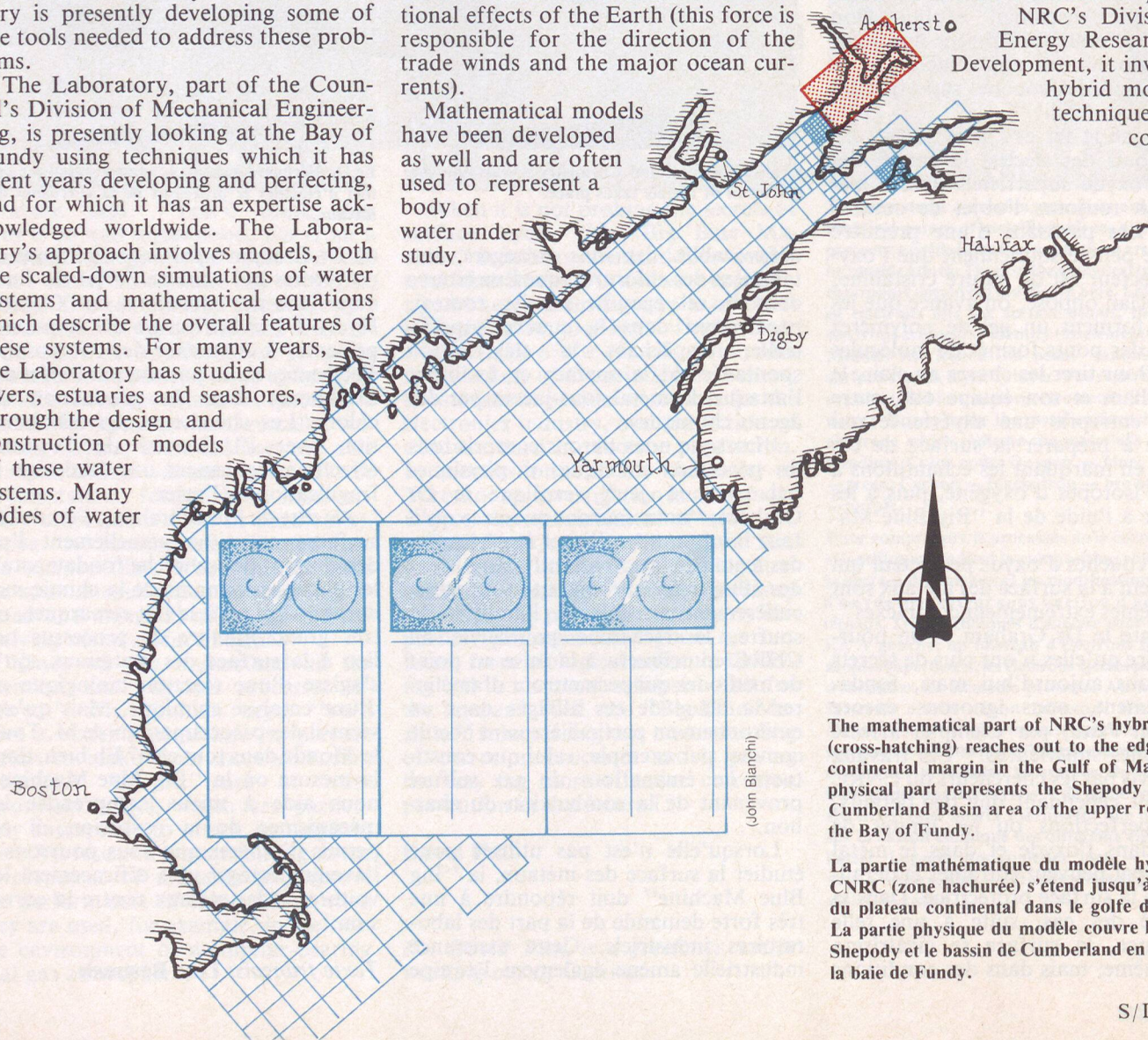
The physical models constructed by the Laboratory are scaled-down versions of the real body of water; these engineering tools are painstakingly built at an appropriate horizontal and vertical scale, with pumps driving the water and sensors measuring the levels and flows of water. For sufficient accuracy and detailed measurements, very large models, up to several hundred metres in length, have to be built in some cases. However, physical models suffer from certain limitations; it is difficult to incorporate important factors such as wind shear and the Coriolis force which results from rotational effects of the Earth (this force is responsible for the direction of the trade winds and the major ocean currents).

Mathematical models have been developed as well and are often used to represent a body of water under study.

Models of this type are sets of equations which describe in mathematical terms the motion of water under the influence of many forces. The region under study is divided into a grid of cells and powerful computers are used to obtain approximate solutions to the equations which describe the movement of water between these cells. While mathematical models can easily incorporate wind and Coriolis effects, their usefulness is often limited by the sheer complexity of the situation being simulated and as yet, no acceptable method exists for numerically modelling three-dimensional situations where there is stratification, complicated flow patterns, bottom effects, and sedimentation movements.

According to researcher Ed Funke, the Hydraulics Laboratory has developed a promising new solution to the general problem of modelling large bodies of water. Financed in part by

NRC's Division of Energy Research and Development, it involves a hybrid modelling technique which combines



The mathematical part of NRC's hybrid model (cross-hatching) reaches out to the edge of the continental margin in the Gulf of Maine. The physical part represents the Shepody Bay and Cumberland Basin area of the upper reaches of the Bay of Fundy.

La partie mathématique du modèle hybride du CNRC (zone hachurée) s'étend jusqu'à la limite du plateau continental dans le golfe du Maine. La partie physique du modèle couvre la baie de Shepody et le bassin de Cumberland en amont de la baie de Fundy.

Mise en équations d'un cours d'eau

La technique de modélisation hybride du CNRC

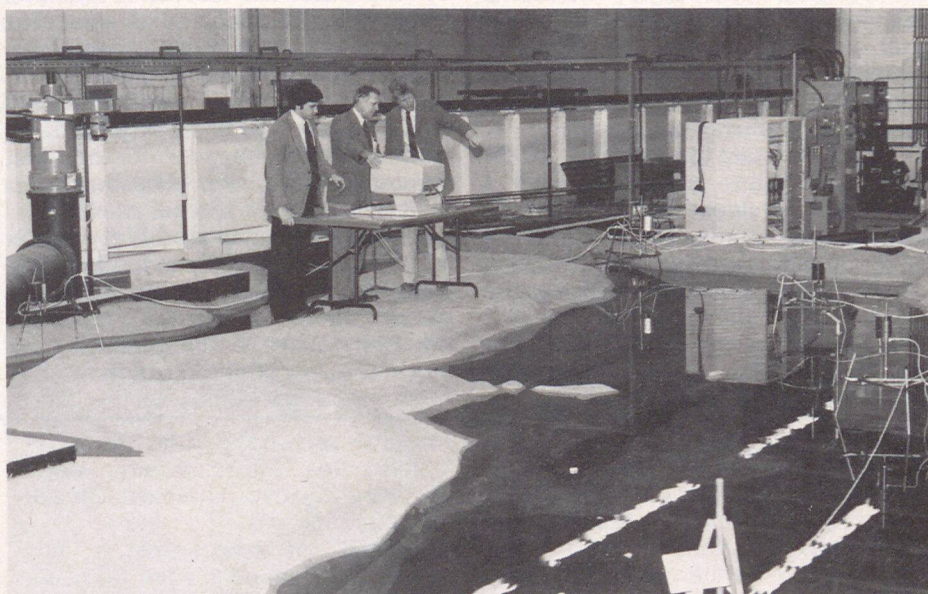
Le laboratoire d'hydraulique du CNRC s'est doté d'une technique très avantageuse pour la simulation des propriétés des grands cours d'eau. Il s'agit d'associer un modèle physique et un modèle mathématique pour former ce qu'on appelle en termes techniques un modèle hybride.

Favorisée par des marées d'une amplitude exceptionnelle (plus de 16 m), la baie de Fundy est l'un des meilleurs sites du monde pour l'implantation d'usines marémotrices. Lors de l'étude de ces dernières, il faudrait cependant faire preuve de beaucoup de prudence car on a établi que la baie de Fundy et la région avoisinante du golfe du Maine forment un ensemble en résonance: de faibles perturbations de leur configuration peuvent donc y provoquer des effets importants. La construction d'une usine marémotrice n'est donc pas un simple problème d'ingénierie consistant à déterminer combien de turbines il faut, et où il faut les disposer. Il est nécessaire de tenir compte de nombreuses considérations techniques et environnementales, et le laboratoire d'hydraulique du CNRC travaille actuellement à la mise au point des techniques de simulation qui permettront de résoudre certains de ces problèmes.

Le laboratoire, qui fait partie de la Division de génie mécanique du CNRC, s'est acquis une renommée mondiale pour ses contributions dans le domaine de la simulation des cours d'eau, des estuaires et des régions littorales. Son approche fait appel à deux techniques principales, soit la construction de modèles physiques reproduisant à échelle réduite les principales caractéristiques d'un système hydraulique, et l'élaboration de modèles sur ordinateur. Ces derniers s'appuient sur un ensemble d'équations mathématiques qui représentent le comportement global du système étudié.

La mise au point de ces techniques de pointe a permis au laboratoire de faire l'étude de diverses modifications que l'on se proposait d'apporter à des cours d'eau comme le fleuve Saint-Laurent, ou le fleuve Fraser en Colombie-Britannique, ainsi qu'au port de Churchill dans le Manitoba.

Les modèles physiques construits au laboratoire d'hydraulique sont des représentations, à échelle réduite, du cours d'eau sur lesquels on souhaite effectuer des études techniques: ils sont construits avec grande précision, à une échelle horizontale et verticale appro-



The Hydraulics Laboratory of NRC has developed a powerful new modelling technique to simulate complex hydraulic systems such as rivers and coastal areas. The feasibility of the technique is being demonstrated with this model of the Cumberland Basin of the Bay of Fundy, a potential site for tidal power plants.

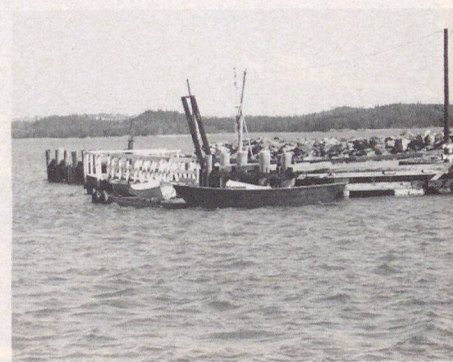
Le laboratoire d'hydraulique du CNRC a mis au point une intéressante technique de modélisation permettant la simulation de systèmes hybrides complexes comme des fleuves et des zones côtières. On en vérifie la faisabilité au moyen de cette simulation du bassin de Cumberland de la baie de Fundy, site où l'on pourrait éventuellement implanter une usine marémotrice.

priée; des pompes y font circuler de l'eau dont le niveau et le débit sont mesurés par des capteurs. Dans certains cas, pour obtenir une précision suffisante et être à même d'effectuer des mesures détaillées, il est nécessaire de construire des modèles de très grandes dimensions, pouvant atteindre des centaines de mètres de longueur.

Soulignons également que les modèles physiques présentent certaines limitations: pour ne citer qu'un exemple, il est difficile de simuler par ce moyen des facteurs importants tels que les effets de cisaillement dus au vent et la force de Coriolis due à la rotation de la Terre (c'est cette force qui détermine la direction des vents alizés et donne naissance aux grands courants marins).

Le laboratoire d'hydraulique a également conçu des modèles mathéma-

tiques permettant l'étude analytique d'un cours d'eau ou d'une région marine. Il s'agit en l'occurrence d'ensembles d'équations qui décrivent en termes mathématiques le mouvement des masses d'eau sous l'effet de diverses forces. À cette fin, on divise la région étudiée en "cellules" (dont la dimension dépend du degré de précision nécessaire) et on se sert d'ordinateurs très puissants pour calculer des solutions approximatives des équations qui représentent le mouvement de l'eau d'une cellule à l'autre. Bien qu'il soit relativement simple de tenir compte d'effets tels que le vent et la force de Coriolis dans les modèles mathématiques, leur utilité est souvent limitée en raison de l'extrême complexité des situations que l'on essaie de simuler. Ainsi, il n'existe encore aucun moyen satisfai-



(Photothèque)

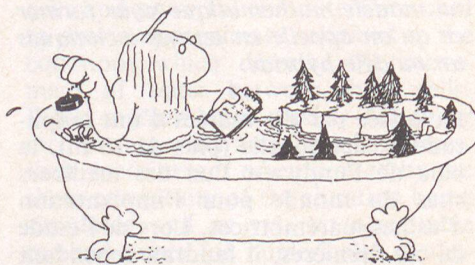
sophisticated, two-dimensional mathematical models of very large areas with detailed physical models of adjacent, limited areas where modifications are planned. The lengthy numerical calculations required by the mathematical model are handled by array processors, recently developed pieces of hardware that can "crunch" long strings of numbers very quickly.

To demonstrate the feasibility of the hybrid modelling technique, such a model was developed of a large section of the Bay of Fundy. The physical part of the model represents only a 16 km stretch of the Cumberland Basin and Shepody Bay, but the numerical part of the model reaches down the Bay and out to the edge of the Continental Shelf, beyond the Gulf of Maine.

In operation, large, computer-controlled pumps fill the model with a simulated tide, with the inflows of water corresponding to data provided by the numerical model. Tide level information in the physical model is then gathered by sensors and fed back to the numerical model. The hybrid model is then verified with actual tidal data from the area being simulated. To find out what happens to the tidal regime when a power plant barrage is built in the upper reaches of the Bay, engineers will simply modify the model accordingly, and observe the resulting perturbations. They can test any number of locations or schemes and choose the best design without shifting so much as a spadefull of sand in the Bay itself. Once the validity of the hybrid

modelling technique has been established, NRC will transfer it to private industry and other research groups involved in future studies of power development in the Bay. For that matter, the technique can be used on any body of water where modifications to an existing regime are planned. □

Michel Brochu



Canada's first tidal power plant

North America's first tidal power plant is now under construction in the estuary of Nova Scotia's Annapolis River on the south side of the Bay of Fundy. Built at a cost of \$48 million by the Nova Scotia Tidal Power Corporation (with a \$25 million federal contribution) the Annapolis pilot plant will be used to test systems and components for much larger power plants being considered for various sites on the Bay of Fundy.

A principal objective of the project is to evaluate the operating characteristics and reliability of a promising new type of turbine for tidal power. Now in use at certain hydro sites in Europe, the Swiss-designed STRAFLO (straight-flow)

turbine is currently the model of choice for future Fundy power plants if it proves suitable under salt water conditions.

Slated for completion in July 1983, the Annapolis plant takes advantage of an existing barrage built in the early 1960's to protect agricultural lands in the River's upper estuary from tidal damage. It is expected that the Annapolis facility will generate up to 20 megawatts (MW) of electricity (roughly enough for 4 000 families) for two six-hour periods daily, during the low tide part of the tidal cycle when an effective head of up to 6.4 m is created between water in the Annapolis River Reservoir and the sea. At high tide, sea water will be allowed to fill the reservoir but no electricity will be produced since there is insuffi-

cient water power during that part of the tidal cycle.

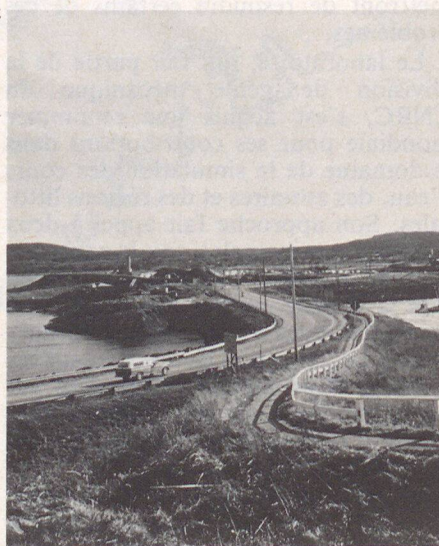
The annual power generated, about 50 million kilowatt-hours annually, will displace about 80 000 barrels of imported oil, and could be the forerunner of much larger tidal plants to be built in the 1990's.

For further reading:

- Report of the Special Committee on Alternative Energy and Oil Substitution. House of Commons 1981, page 201. (Generally called the Lefebvre Report).



(Walter Crosby)



The construction site of the Annapolis tidal power plant, looking towards the upper reservoir. Water will be discharged through turbines located in square at centre of picture. The top of the structure forms part of a roadway.

Chantier de construction de la centrale marémotrice de la rivière Annapolis, du côté du bassin supérieur. L'eau s'échappera par une turbine située dans le carré au centre de la photo. Le dessus du barrage sert de pont routier.

(Walter Crosby)

sant de représenter mathématiquement des situations tridimensionnelles où interviennent stratification, flux complexes, effets de fond et mouvements de sédiments.

Selon Ed Funke, chercheur au laboratoire d'hydraulique, le laboratoire a mis au point une intéressante solution au problème général de la simulation des cours d'eau. Avec l'aide financière de la Division de l'énergie du CNRC, il a mis au point une technique hybride de simulation qui associe des modèles mathématiques bidimensionnels très perfectionnés de régions très étendues à des modèles physiques détaillés de zones adjacentes plus restreintes où on envisage des modifications. Les nombreuses opérations de calcul numérique exigées par le modèle mathématique sont effectuées par des "processeurs matriciels": il s'agit de nouveaux dispositifs capables de "digérer" de longues suites de chiffres très rapidement.

En vue de prouver la faisabilité de la nouvelle technique de simulation, le laboratoire d'hydraulique a construit un modèle hybride d'une grande zone dans la baie de Fundy. La partie physique du modèle ne représente qu'une section de 16 km du bassin de Cumberland et de la baie de Shepody (voir illustration) mais la partie mathématique du modèle s'étend jusqu'à la limite du plateau continental, au-delà du golfe du Maine.

Pour simuler une marée dans le modèle, on se sert de grandes pompes asservies à un ordinateur. La quantité d'eau qu'on pompe correspond aux

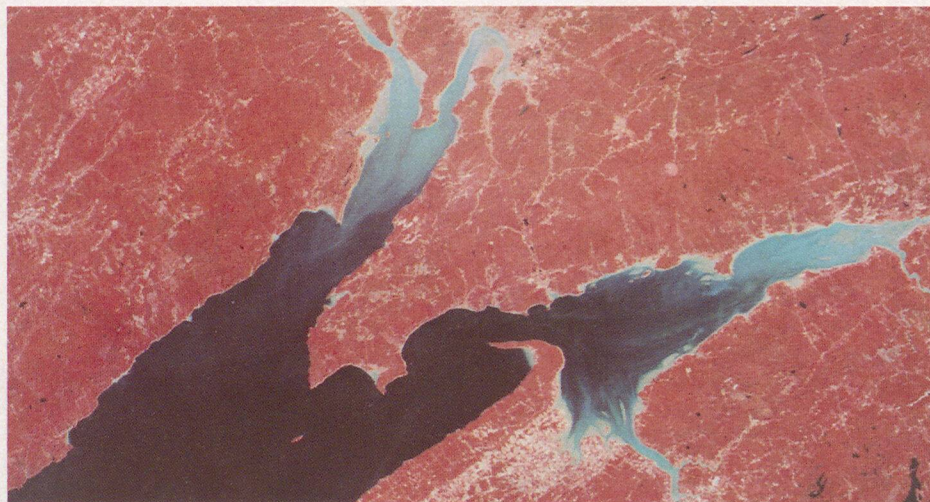
données fournies par le modèle numérique. On mesure alors l'amplitude de la marée en divers points du modèle physique et ces données sont réinjectées dans le modèle mathématique, ce qui ferme la boucle de la simulation. Les données obtenues à l'aide de ce modèle hybride sont ensuite vérifiées à l'aide de mesures faites dans la zone géographique simulée.

Une fois que la validité de la technique de modélisation hybride aura été bien établie, le CNRC compte la transférer à l'industrie et aux autres organismes de recherche qui doivent se charger de l'étude d'éventuelles usines marémotrices dans la baie de Fundy. Pour déterminer l'effet de la construc-

tion d'un barrage sur le régime des marées dans la baie de Fundy, les ingénieurs n'auront alors qu'à modifier le modèle hybride de façon appropriée et à mesurer l'effet de ces modifications sur les marées simulées. Ils pourront étudier diverses zones et divers schémas d'aménagement d'usines marémotrices potentielles, et choisir le meilleur schéma sans avoir à remuer une seule pelle-tée de sable dans la baie elle-même.

Cette technique pourra tout aussi bien, d'ailleurs, permettre l'étude de modifications à n'importe quel autre cours d'eau où on envisage des modifications affectant son régime. □

Michel Brochu



The Cumberland Basin area of the Bay of Fundy, photographed in false color by the LANDSAT-1 satellite.

Le bassin de Cumberland dans la baie de Fundy, photographié en fausses couleurs par le satellite LANDSAT-1.

Première centrale marémotrice canadienne

La première centrale marémotrice d'Amérique du Nord est en cours de construction dans l'estuaire de la rivière Annapolis en Nouvelle-Écosse, au sud de la baie de Fundy. Érigée au coût de 48 millions de dollars par la Nova Scotia Tidal Power Corporation (avec une participation financière de 25 millions de dollars du gouvernement fédéral), cette installation expérimentale servira à l'essai de systèmes et de composants pouvant être intégrés à des centrales beaucoup plus importantes dont on envisage la construction dans la baie de Fundy.

L'un des principaux objectifs poursuivis est l'étude des caractéristiques de fonctionnement et de la fiabilité d'un nouveau type de turbine dont l'emploi dans les usines marémotrices semble offrir des avantages marqués. La turbine suisse STRAFLO (straight-flow), qui équipe certains barrages à faible

hauteur de chute en Europe, paraît toute désignée pour les futures centrales marémotrices de la baie de Fundy, s'il s'avère qu'elle peut fonctionner sans problème en eau salée.

La centrale de la rivière Annapolis, dont l'entrée en service est prévue pour juillet 1983, tire parti d'un barrage construit au début des années soixante pour protéger des terres agricoles en amont de l'estuaire des inondations dues aux marées. On prévoit qu'elle produira jusqu'à

20 mégawatts (MW) d'électricité (quantité couvrant les besoins d'environ 4 000 familles) pendant deux périodes de six heures chaque jour, à marée descendante. Au cours de cette partie du cycle des marées, il existe une différence de niveau pouvant atteindre 6,4 m entre l'eau du réservoir de la rivière Annapolis et la mer. À marée haute, la mer refluera dans le réservoir mais sans qu'il y ait production d'électricité, la hauteur de chute étant insuffisante.

La nouvelle centrale produira près de 50 millions de kilowatts-heures par an, ce qui permettra d'économiser environ 80 000 barils de pétrole importé par an, et elle pourrait bien ouvrir la voie à des centrales beaucoup plus importantes dans les années quatre-vingt dix.

Pour en savoir davantage:

— Rapport du Comité spécial de l'énergie de remplacement du pétrole. Chambre des Communes 1981, page 227. (Rapport Lefebvre).



Switchboards in the sky

Putting the bounce in communication



(John Bianchi)

If the University of Ottawa's Professor Kamilo Feher has it his way, there will still be many "Made in Canada" labels on the communications systems manufactured in the 21st century.

The next decade may see Canadian satellite earth stations mounted on top of most small business enterprises, according to Professor Kamilo Feher of the University of Ottawa's Department of Electrical Engineering. Hotels, banks and insurance companies could each have their personal data windows in space and it might even be possible to transact business via a car-top mobile satellite unit while on the move.

With the assistance of an \$87 000 per year Natural Sciences and Engineering Research Council (NSERC) grant over the next two years, Feher's dream may be translated into reality. The result would be thousands of new jobs for Canadians in the communications in-

dustry and a healthy export market in electronic devices. The NSERC funding will enable the Ottawa engineer to reduce the size and power requirements of satellite transmission and reception stations (earth stations) and bring them within the price range of even the smallest business.

Dr. Kamilo Feher began his career in communications engineering as a design engineer for RCA and SPAR, before moving to the University of Ottawa in 1977. Feher is still active as an industrial consultant and tends to emphasize the downstream, commercial applications of research. His experience both in academic research and industrial development has taught him that new electronic designs should not only be innovative but must also translate into products with marketable potential. The result of an earlier NSERC grant, for example, is already in commercial production. Called DAV or

Data Above Voice, it is a system which makes more efficient use of communications channels by allowing both voice and data to be transmitted on the same wavelength.

Dr. Feher's current research involves a breakthrough in the design of digital systems used to transmit and receive satellite signals. At present, the dish of an earth station must be at least 4 m in diameter to transmit a useful signal, but when Feher's work is completed it will be possible to reduce the dish size to 1 m across, and the entire earth station, including power unit, will be so compact that it can be carried as a back-pack for specialized needs.

The key to producing a powerful and clear signal while at the same time reducing the size, cost, and power requirements of an earth station lies in the circuitry of the amplifier. In its operation, an average amplifier (on a radio, for instance) is like a car

Centraux de télécommunications satellisés

Donner du muscle aux télécommunications

Si un professeur de l'Université d'Ottawa obtient gain de cause on trouvera beaucoup de "Made in Canada" sur les systèmes de télécommunications fabriqués au cours du prochain siècle.

Si l'on en croit le professeur Kamilo Feher, du Département de génie électrique de l'Université d'Ottawa, on pourrait assister au cours de la prochaine décennie à une floraison de réflecteurs paraboliques juchés sur les toits de la plupart des petites entreprises commerciales canadiennes qui auront voulu se doter d'un système de télécommunications par satellite. Les hôtels, les banques et les compagnies d'assurances pourraient en effet avoir leur canal informatique individuel dans l'espace et il n'est pas impossible même d'envisager des transactions commerciales par l'intermédiaire de stations installées à bord d'automobiles.

Grâce à une subvention annuelle de 87 000 dollars que le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG) lui versera au cours des deux prochaines années, Feher réalisera peut-être son rêve. Cela se traduirait aussi par la création de milliers de nouveaux emplois dans l'industrie canadienne des télécommunications et d'un dynamique marché d'exportations de dispositifs électroniques. Les fonds versés par le CRSNG permettront à cet ingénieur d'Ottawa de réduire les dimensions des stations de transmission satellisées et de réception terriennes ainsi que la puissance de leur système d'alimentation électrique, les rendant de ce fait financièrement accessibles aux plus petites entreprises.

Le Dr Kamilo Feher a commencé sa carrière dans l'ingénierie des télécommunications comme ingénieur d'études chez RCA et Spar avant d'entrer à l'Université d'Ottawa en 1977. Feher, qui est toujours ingénieur-conseil pour l'industrie, accorde une grande importance aux applications commerciales de la recherche. Son expérience, tant au plan de la recherche universitaire que du développement industriel, lui a enseigné que les nouveaux dispositifs électroniques doivent non seulement innover mais se traduire par des produits potentiellement commercialisables, comme le témoigne le fruit d'une subvention précédente du CRSNG qui en est déjà au stade de la production industrielle. Il s'agit d'un système appelé DAV (Data Above Voice) qui rationalise l'utilisation des canaux en permettant la transmission simultanée de la voix et des données sur la même

longueur d'onde.

Les travaux de recherche actuels du Dr Feher portent sur l'innovation dans la conception des systèmes numériques utilisés pour transmettre des signaux à des satellites et en recevoir. Actuellement, le réflecteur parabolique d'une station terrienne doit avoir au moins 4 m de diamètre pour transmettre des signaux exploitables mais, lorsque Feher aura achevé ses travaux, il sera possible de ramener ce diamètre à 1 m et la station complète, y compris son alimentation, sera si compacte qu'elle pourra être transportée à dos d'homme si besoin est.

Le secret d'un signal puissant et clair et de la réduction des dimensions, du coût et des besoins en énergie électrique d'une station terrienne réside dans le circuit de son amplificateur. En fonctionnement, un amplificateur courant comme, par exemple, celui d'un récepteur de radio, peut être comparé à une automobile roulant en première. On a ici production d'une puissance élevée pour une vitesse et une distance parcourue comparativement faibles. Mais que va-t-il se passer si l'on oblige l'amplificateur à travailler dans un mode que les ingénieurs électroniciens appellent le mode "non linéaire" ou, si l'on préfère, à saturation, et qui, pour reprendre l'analogie de l'automobile, correspond à la troisième. Eh bien, tout comme le rendement du véhicule augmentera considérablement à cette vitesse, l'amplificateur utilisera beaucoup plus efficacement la puissance

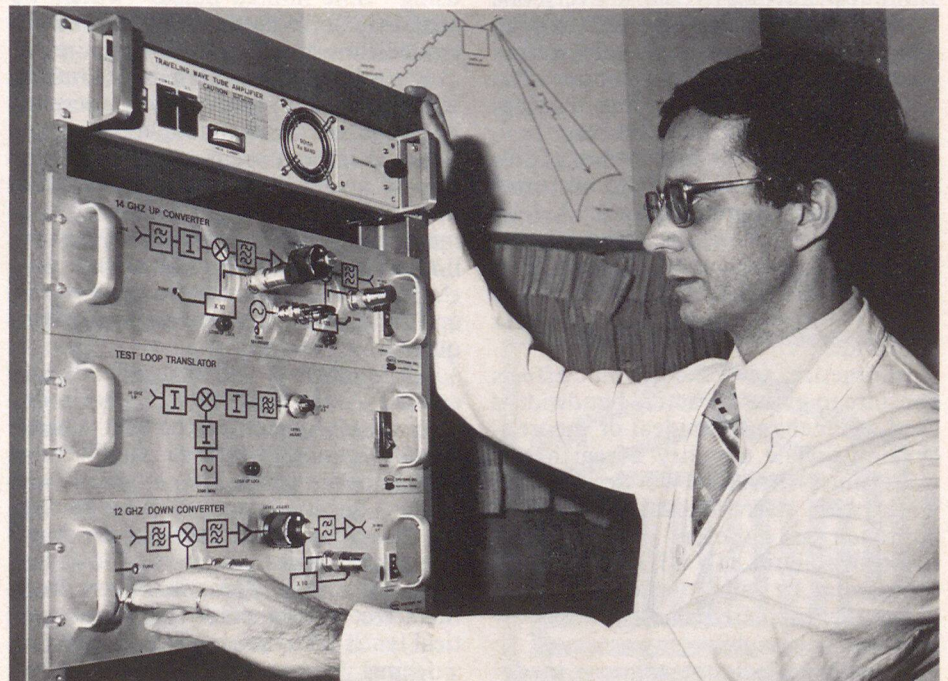
disponible. Ainsi pourra-t-on, pour une même force de signal, opérer avec une puissance considérablement moins élevée et, de ce fait, réduire les dimensions du système.

Cette approche présente cependant un inconvénient: le signal sortant d'un amplificateur opérant en "troisième" est à ce point déformé qu'il est pratiquement inutilisable dans un système de télécommunications. Feher a résolu le problème en concevant un circuit qui corrige la distorsion. En traitant électroniquement le signal sortant d'un amplificateur "non linéaire" et en lui rendant sa clarté il devient possible d'obtenir un signal de très grande puissance avec un système de petites dimensions.

La réduction du coût et des dimensions des stations terriennes permettrait au Canada, selon Feher, de disposer de 20 000 à 100 000 de ces systèmes d'ici la fin du siècle. Bien entendu, une telle explosion des télécommunications risquerait de provoquer la saturation des centraux satellisés. Feher tient compte de ce risque dans l'étude de ses nouvelles stations terriennes et la solution qu'il propose, simplifiée, est de

Le Dr Kamilo Feher, dans son laboratoire de l'Université d'Ottawa. Les chercheurs d'aujourd'hui ne doivent jamais perdre de vue les applications commerciales de leurs travaux.

Dr. Kamilo Feher in his University of Ottawa laboratory. Today's research scientists must have an eye for the commercial applications of their work.



operated in low gear. Here, the power output is very high when compared to the rate and distance of travel attained. Now, if amplifiers are forced to run in what electronic engineers call a "non-linear" or saturated fashion rather than in the more common "linear" manner, the result is rather like moving the car into high gear, which vastly increases the vehicle's efficiency; an amplifier in the "non-linear" mode is, as the analogy suggests, much more efficient in its use of power. Therefore, the power needs are greatly reduced for the same strength of signal, reducing the size of the system.

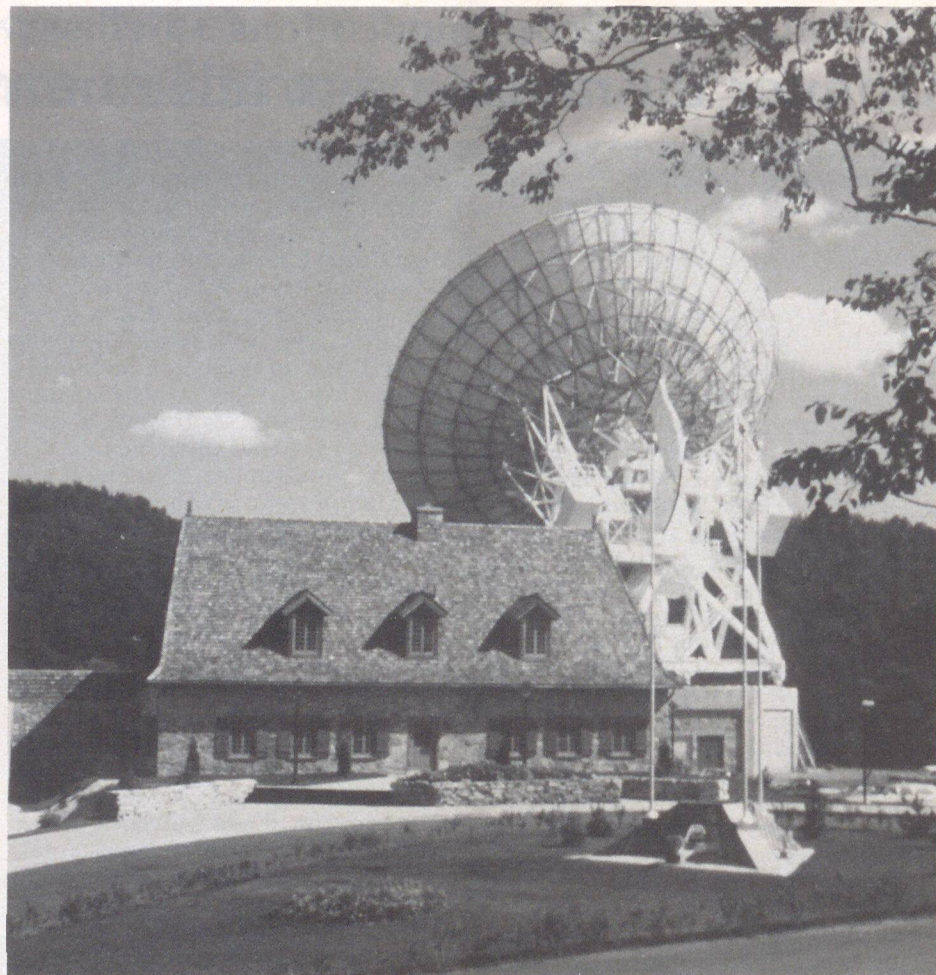
However, there is a drawback with this approach: the signal from an amplifier operating in "high gear" is so badly distorted that it is virtually useless in a communications system. Feher's answer has been to design a circuit to correct for the distortion. By electronically processing the signal from a "non-linear" amplifier and restoring its clarity, it becomes possible to operate a small system at very high signal strength.

With smaller and cheaper earth stations, Feher predicts that by the end of the century between 20 000 and 100 000 units will be operating in Canada. But such a communications explosion will create its own problems since satellite systems will be in danger of being swamped by their customers. Feher's new earth stations, however, are also being designed with this problem in mind. His solution, in simple terms, is to "tighten up" the signal bandwidth of the communications systems, forcing them to operate in very narrow widths; this allows many more systems to operate in the available band space without distorting overlaps. Every one is familiar with this sort of overlap when trying to tune in a radio station located close to another strong station on the dial. The bands often overlap, causing unpleasant interference.

This use of bands rather than of single frequencies is common to all forms of electronic communication. A telephone conversation, for example, uses a band of frequencies 4 kHz wide, high fidelity music requires 15-20 kHz while color television needs a 4 500 kHz bandwidth.

In practice, several electronic effects conspire to make the actual bandwidths used wider than their ideal or theoretical limits. The circuitry of earth stations must therefore be designed to work with narrow bandwidths that approach as close as possible their theoretical limits. To this end, Feher is using what he calls "switched filters" to process each frequency in a narrow band.

Though he feels metaphor is inade-



From this ...

quate to describe how the system works, he suggests that it is tantamount to cutting message verbosity to a minimum. In his own words: "We cut out the soup, and send only the meat." Communication is carried out using "time limited pulses" which, he explains, "effectively compress the occupied time and bandwidth required."

It's a little like a political debate in which the usual rule of long speeches by everyone is suspended, according to Feher. "If each speaker's microphone is only switched on for a short time, then he can no longer be wordy, but must compress his message into the limited time available. In a similar way electronic messages can be compressed and carried on a narrower band of frequencies."

Although they will be used with the current Anik B satellites, Feher's devices are also geared to the next generation of communications satellites — switchboards in the sky — which will contain onboard computers for rerouting messages and beaming them down to selected areas on Earth. However, knowing that business managers have their feet firmly planted in the practical, each innovation will be subject to working demonstrations. Following

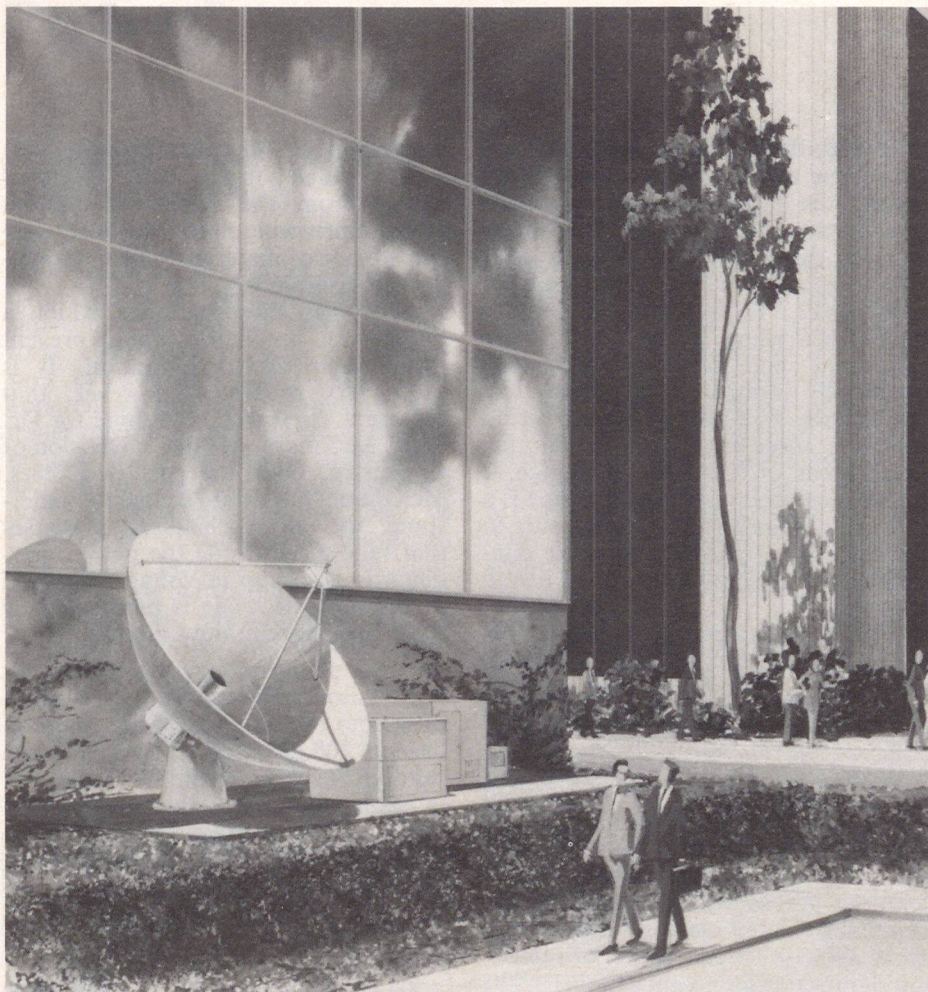
Aujourd'hui ...

the design phase, the new circuits will be tested by computer simulation and then, using a 5 m dish mounted on one of the University of Ottawa buildings, experiments will be performed with the assistance of Anik B satellites. In the near future, Feher hopes to mount additional demonstrations through a direct satellite link with Spar Aerospace.

To Kamilo Feher the importance of this research is far reaching. "Canada is a world leader in communications," he says. "At present our domestic communications satellites are the most advanced in the world. But, are we going to keep the lead in the face of Japanese and U.S. competition?" For Professor Feher the answer to this question lies in high quality research that is not only directed toward improving existing equipment but involves entirely new concepts. It is only through imaginative leaps, Feher believes, that the communications revolution will still bear a "Made in Canada" label at the end of the century. □

David Peat

Dr. David Peat is a freelance writer working in Ottawa.



... to this?

Research in improvement of ground station efficiency could reduce this Teleglobe Canada 30 m dish at Weir, Quebec, to this 2 m design.

“réduire” la largeur de bande des systèmes de télécommunications pour les faire fonctionner sur des bandes très étroites; cela permet à un beaucoup plus grand nombre de systèmes d'utiliser la largeur de bande disponible sans créer des chevauchements désagréables du genre de ceux que nous avons tous rencontrés en essayant de capter une station située près d'un autre émetteur puissant sur le cadran de notre radio.

Toutes les formes de télécommunications électroniques utilisent des bandes de fréquence, plutôt que des fréquences isolées. C'est ainsi, par exemple, qu'une conversation téléphonique utilise une bande de fréquence de 4 kHz de largeur tandis que la musique haute fidélité exige de 15 à 20 kHz et la télévision en couleur 4 500 kHz.

Dans la réalité, plusieurs effets électroniques se combinent pour qu'il soit nécessaire d'utiliser des largeurs de bande beaucoup plus élevées que leurs limites idéales ou théoriques. Les sta-

... et demain?

Les travaux en cours pour améliorer le rendement des stations terriennes permettront peut-être à Téléglobe Canada de remplacer un jour ce réflecteur parabolique de 30 m de diamètre de Weir, dans le Québec, par ce nouveau modèle d'un diamètre de 2 m.

tions terriennes doivent donc être conçues pour pouvoir opérer dans des bandes étroites situées aussi près que possible de leurs limites théoriques. Pour y parvenir, Feher utilise ce qu'il appelle des “filtres commutés” pour acheminer chaque fréquence dans une bande étroite.

Bien qu'il hésite à utiliser une métaphore pour décrire le fonctionnement du système, la démarche pourrait être selon lui comparée à la réduction d'un message au strict nécessaire; nous le citons: “Nous filtrons le liquide de la soupe pour ne conserver que la viande”. La communication est transmise à l'aide d'impulsions limitées en durée qui, explique-t-il, “réduisent au strict minimum le temps et la largeur de bande nécessaires”.

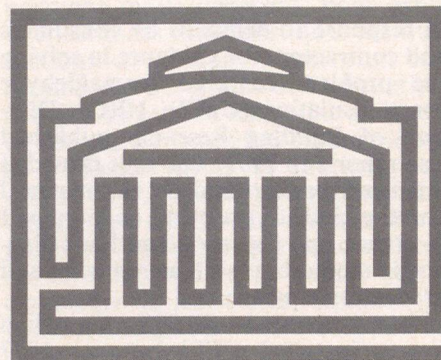
Cela fait penser à un débat politique où la règle habituelle autorisant tous les participants à prononcer un long discours est suspendue. “Si le microphone de chaque orateur n'est branché

que pour une brève période de temps, il ne peut plus s'offrir le luxe de la verbosité mais doit au contraire comprimer son message pour le faire passer dans le temps limité qui lui est accordé. De même, des messages électroniques peuvent être comprimés et acheminés sur une bande de fréquence plus étroite.”

Les dispositifs de Feher seront utilisés avec les satellites Anik B actuellement en service, mais ils sont également conçus pour les prochaines générations de satellites de télécommunications, sorte de centraux spatiaux qui seront équipés d'ordinateurs de bord pour le réacheminement des messages et leur diffusion vers des secteurs déterminés à terre. Cependant, comme les chefs d'entreprises ne sont pas des rêveurs, chaque innovation fera l'objet de démonstrations concrètes. Passé le stade de l'étude, les nouveaux circuits seront testés au moyen de simulations informatiques puis, à l'aide d'un réflecteur parabolique de 5 m de diamètre installé sur le toit de l'un des édifices de l'Université d'Ottawa, on fera des expériences en se servant de satellites Anik B. Feher espère être en mesure de procéder très prochainement à des démonstrations supplémentaires à l'aide d'une liaison directe par satellite avec Spar Aerospace.

Selon Kamilo Feher, ces travaux de recherche ont une portée incalculable. “Le Canada occupe le premier rang mondial dans le domaine des télécommunications”, dit-il. “Nos satellites de télécommunications nationaux sont actuellement les plus avancés du monde. Mais réussissons-nous à conserver notre avance face à la concurrence japonaise et américaine?” Le professeur Feher pense que la réponse à cette question réside dans une recherche de haute qualité visant non seulement l'amélioration du matériel existant mais aussi la création de concepts entièrement nouveaux. Ce n'est que par des innovations audacieuses que le fruit de la révolution à laquelle nous assistons dans les télécommunications portera encore l'estampille “Made in Canada” à la fin du siècle. □

Texte français: Claude Devismes



Briefly . . .

Science in a flash

Fourteen researchers at a number of Canadian universities have been awarded \$483 427 by the Natural Sciences and Engineering Research Council for equipment with which they will view some of the fastest reactions in nature. The picosecond laser flash photolysis centre, now being set up at Concordia University in Montreal to serve collaborating universities from Trois-Rivières to Victoria, will permit scientists to penetrate the picosecond time domain.

A picosecond (10^{-12} seconds, or one millionth of a millionth of a second) is to one second as one second is to about three hundred thousand years. The first steps in many important chemical reactions occur within times measured in these microchronometric units. According to Cooper Langford, a member of the interuniversity research team and chairman of Concordia's chemistry department, "the picosecond time scale is very close to the fastest experiment a photochemist ever needs to do; this is almost as fast as atoms can respond to light."

Picosecond spectroscopy developed during the past decade. One of the technical tricks which make it possible is an optical gate that allows only one of a series of spike-like interference fringes in laser light to pass. Amplified, this very short and intense pulse then strikes a liquid or solid sample, exciting its atoms. The resulting short-lived excited states are identified by their spectral signatures.

This technique for rapidly interrogating nature can, and will, illuminate the fundamental mechanisms of (among other interesting physical, chemical and biological phenomena) photosynthesis and vision.

Foamowners blues

In response to demands by consumers and contractors for guidance in solving the problem of urea formaldehyde foam insulation (UFFI), NRC's Division of Building Research published two reports in 1981. The first provided a general background on the material and the kinds of problems encountered in homes, and the second outlined diagnostic methods as well as remedial and preventative measures.

An estimated 80 000 Canadian homes installed UFFI between 1977

and 1980, the interval between Canada Mortgage and Housing Corporation issuing the product standard and its banning by Health and Welfare Canada and the Department of Consumer and Corporate Affairs. The problem with UFFI: it deteriorates continuously, decreasing in insulation capacity, and, more seriously, producing potentially harmful gases, notably formaldehyde. With existing construction practices, these gases can seep into the living areas of the home; although at high concentrations the odor alone is a severe nuisance, prolonged exposure to formaldehyde gas even at lower concentrations is known to cause health problems.

NRC's second report on UFFI, detailing methods of diagnosing insulation problems and how to remedy them, warns that each home with foam insulation must be examined carefully and treated as a unique situation. Recommendations by the report included sealing all cracks and openings where gas from the insulation can leak into the living area, reducing pressure differences across walls, increasing the ventilation rate, cleaning the living-space air with special filters, or removing the insulation completely.

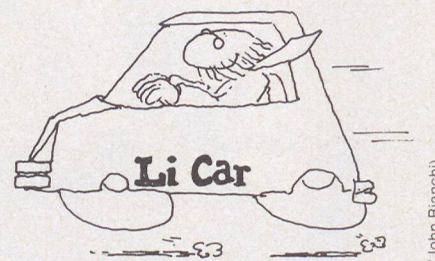
Last December, the federal government announced a program that provides financial aid to homes where the levels of formaldehyde gas exceed a concentration of 0.1 parts per million, or where occupants have been suffering health problems. In such cases, the diagnostic methods and the solutions suggested in the Division of Building Research report are useful. Because it may take some time for an expert to examine the house, interim measures are suggested for families who wish to reduce formaldehyde infiltration until the house can be assessed, or until weather conditions allow them to take appropriate remedial action. There are also a number of simple measures to alleviate the situation in homes which do not qualify for the aid program; such steps are meant to ensure that problems do not crop up in the future.

Lithium intercalation battery

Battery sales in Canada are measured in millions of dollars each year, so the possibility of a lighter, longer life rechargeable battery is of considerable commercial importance. Hopes for such an advanced device rest with what

are known as lithium intercalation batteries, which obtain their electrical energy from the effects of lithium atoms burrowing into the host electrode made of materials such as molybdenum disulphide.

At present these batteries exhibit a number of anomalies which prevent their commercial exploitation. It is these very problems, however, that represent a research gold mine for Dr. W.R. McKinnon of NRC's Division of Chemistry. Over the past two years, McKinnon has been trying to understand the electrochemical processes that take place inside the device, particularly the drop in voltage observed as the host electrode is penetrated by more and more lithium atoms.



To tackle these problems, McKinnon has developed a technique for producing thin films of molybdenum disulphide on glass which are then mounted adjacent to lithium films. The result, when moistened with a drop of electrolyte, is a battery in miniature which can be studied under carefully controlled conditions.

McKinnon's experiments involve accurate measurements of how the battery's voltage changes with different concentrations of lithium and how it behaves when given an additional pulse of current. As the data accumulates, McKinnon hopes to define the behavior of electrons moving within the host electrode and the properties of lithium atoms in their various locations.

Along with these experimental investigations, McKinnon is working on a theoretical model to explain certain features of the voltage fluctuation. As a more detailed picture emerges of the intercalation battery's properties, he will be in a position to advise industry on the best way to manufacture these devices. Before the end of this century, it is conceivable that Canadian cars will be equipped with lithium intercalation batteries which give the same power as today's batteries but are only one-fifth their weight.

En bref . . .

Analyses chimiques à la vitesse de l'éclair

Le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie a accordé une subvention de 483 427 dollars à quatorze chercheurs provenant d'universités canadiennes pour l'achat d'un appareillage qui leur permettra d'examiner quelques-unes des réactions chimiques les plus rapides intervenant dans la nature. Le Centre national pour la photolyse flash au laser de l'Université Concordia, à Montréal, sera utilisé par les universités intéressées et permettra aux scientifiques d'élucider les phénomènes qui se déroulent dans des intervalles de temps de l'ordre de la picoseconde (10^{-12} secondes) qui est, par comparaison à la seconde, ce que la seconde représente par rapport à environ 300 000 années.

L'étape initiale d'un grand nombre de réactions chimiques importantes ne dure qu'un infime moment. Or, selon Cooper Langford, membre de l'équipe de chercheurs en question et directeur du département de chimie de l'Université Concordia, "la picoseconde est l'unité de temps qui convient le mieux à l'étude des réactions ultra-rapides; cette unité correspond presque au temps de réaction des atomes à la lumière."

La spectroscopie ultra-rapide a été mise au point au cours de la dernière décennie. Elle utilise un artifice technique qui permet de sélectionner l'une des impulsions d'un train de très brèves impulsions émises par un laser (dont la représentation graphique ferait penser aux dents d'un peigne). Une fois amplifiées, ces impulsions intenses traversent un échantillon liquide ou solide et excitent ses atomes. Les états excités éphémères ainsi produits sont identifiés par analyse spectrale.

Cette technique de sondage rapide permettra d'élucider les mécanismes fondamentaux de la photosynthèse et de la vision ainsi que d'autres phénomènes physiques, chimiques et biologiques intéressants.

La MIUF, source de tracas

La Division des recherches en bâtiment du CNRC a publié en 1981 deux rapports à l'intention des consommateurs et des entrepreneurs aux prises avec le problème de la mousse isolante d'urée-formaldéhyde (MIUF). Le premier fournit des informations générales sur

le matériau lui-même et sur les différents problèmes rencontrés tandis que le second indique comment les diagnostiquer, les prévenir ou les corriger.

On évalue à 80 000 le nombre de maisons qui ont été isolées à la MIUF entre 1977, année où la Société canadienne d'hypothèques et de logement a émis une norme sur le produit, et 1980, moment de son interdiction par Santé et Bien-être social Canada et par le ministère de la Consommation et des Corporations. L'acte d'accusation: la MIUF se détériore d'une manière continue et perd, de ce fait, son pouvoir isolant; pis encore, elle émet en se dégradant des gaz potentiellement dangereux, notamment du formaldéhyde. Les pratiques de construction étant ce qu'elles sont, ces gaz peuvent s'infiltrer dans l'espace habité de la maison. Si, à concentration élevée, l'odeur du formaldéhyde constitue un inconvénient majeur en soi, une exposition prolongée à ce gaz, même à de faibles concentrations, entraîne des problèmes de santé.

Les auteurs du deuxième rapport du CNRC, qui traite des méthodes de diagnostic et des mesures correctives, précisent bien que chaque maison isolée à la MIUF constitue un cas unique et doit faire l'objet d'un examen approfondi. Selon le cas, il peut être nécessaire de calfeutrer toutes les fissures et toutes les ouvertures par lesquelles le formaldéhyde peut s'infiltrer dans l'espace habité, de réduire les différences de pression dans les murs, d'accroître la ventilation, de nettoyer l'air de l'espace habité à l'aide de filtres spéciaux . . . ou même de procéder à l'enlèvement complet de la MIUF.

En décembre dernier, le gouvernement fédéral a annoncé la mise sur pied d'un programme d'aide financière destiné aux propriétaires de maisons qui ont une concentration de formaldéhyde supérieure à 0,1 partie par million ou qui occasionnent des problèmes de santé à leurs occupants. Les familles désireuses de réduire l'infiltration de gaz peuvent, en attendant que l'examen de la maison soit effectué par un spécialiste ou que les conditions extérieures permettent de procéder aux mesures correctives appropriées, recourir à des mesures provisoires. D'autres mesures simples s'adressent aux propriétaires de maisons qui ne remplissent pas les conditions nécessaires pour bénéficier du programme d'aide: elles ont pour but d'éviter des problèmes ultérieurs.

Accumulateurs à couches de lithium intercalaires

Les ventes d'accumulateurs atteignant plusieurs millions de dollars chaque année au Canada, la mise au point d'une batterie rechargeable plus légère et plus robuste aurait un impact considérable sur le marché. L'espoir d'avoir un dispositif aussi avancé repose sur ce qu'on appelle les batteries à couches de lithium intercalaires qui tirent leur énergie électrique des effets de l'enfouissement d'atomes de lithium dans une électrode réceptrice faite de matériaux comme le disulfure de molybdène.

Ces batteries présentent actuellement plusieurs imperfections empêchant leur exploitation commerciale. Ce sont, toutefois, ces imperfections qui représentent pour le Dr W.R. McKinnon, de la Division de chimie du CNRC, une mine d'or sur le plan de la recherche. Il essaye depuis deux ans de comprendre le processus électrochimiques qui interviennent au sein du dispositif et notamment la baisse de tension observée lorsque l'électrode réceptrice accueille des atomes de lithium.

Le Dr McKinnon a mis au point une technique lui permettant d'appliquer de minces couches de disulfure de molybdène sur du verre et de les monter ensuite à proximité de couches de lithium. Après les avoir imprégnées d'une goutte d'électrolyte, il obtient une batterie miniature qui peut être étudiée sous conditions contrôlées.

Les expériences de McKinnon ont pour objet de déterminer avec précision les causes des variations de tension de la batterie en fonction de la concentration de lithium. Il s'intéresse également à son comportement lorsqu'on la soumet à une impulsion électrique additionnelle. Le Dr McKinnon espère arriver à définir le comportement des électrons en mouvement dans l'électrode réceptrice et les propriétés des atomes de lithium dans les diverses positions qu'ils occupent, pour expliquer certaines caractéristiques des fluctuations de tension. Nanti d'un état détaillé des propriétés de la batterie à couches de lithium intercalaires, il sera en mesure de conseiller l'industrie sur la meilleure façon de fabriquer ces dispositifs. Il est donc vraisemblable que ce type de batterie, qui a la même puissance que celles que nous utilisons aujourd'hui tout en ne pesant que le cinquième de leur poids, équipera les voitures canadiennes avant la fin du siècle.

The time projection chamber Subnuclear sleuthing

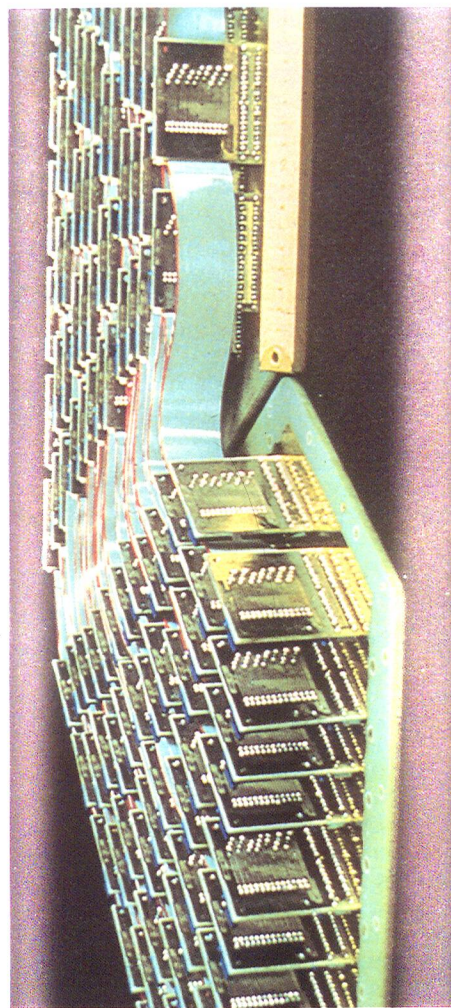
At the Tri-University Meson Facility (TRIUMF) accelerator in Vancouver, a team of Canadian and American scientists is about to perform a fundamental experiment on the structure of matter using a sophisticated new particle detector.

In their quest for an understanding of Nature, physicists have always looked for order in matter, striving for simplicity and elegance in their models. Early Greek philosophers thought that matter was composed of the four "elements" – fire, water, air and earth – in various proportions. Other models were also proposed, including the progenitor of what we now accept as the best explanation of ordinary matter – the atomic theory.

In the early 20th century, after much confusion brought on by such strange new phenomena as radioactivity, the photoelectric effect and cosmic rays, the elusive goal of simplicity in theoretical physics seemed within reach. A coherent model of the atom was emerging, based on just a few building blocks – the electron, the proton, and the neutron.

A maze-like array of individual detectors covers each facet of the end caps of the TPC, producing a beautiful abstract pattern.

La chambre est fermée aux deux extrémités par des plaques traversées de câbles détecteurs faisant penser à un labyrinthe et formant un motif abstrait saisissant.



Unfortunately, in recent years, this reassuring simplicity has been shattered, with some of the "elementary" particles themselves showing evidence of being made up of a veritable zoo of particles. Understanding this zoo has led us to a new set of building blocks for normal matter. According to current thinking, matter is composed of two particle types: quarks and leptons. There are two quark types (up and down) and two leptons (the electron and its neutrino). Quarks have only been found in Nature as constituents of the proton, neutron and the many different kinds of mesons, the particles found in or associated with the atomic nucleus. To complicate the system these building blocks of normal matter have been found to have higher mass "analogs" which are unstable and do not appear in normal matter. Physicists refer to these heavier particles as generations, and it has been shown that heavy generations of quarks decay into their lighter counterparts. (This has been demonstrated in certain meson decays.)

The strange thing about the leptons is that no such transformations between generations have been observed. Among this group, the muon is a higher mass analog of the electron, sharing all its properties except that of mass. It is point-like, has the same electrical charge, and it interacts with other particles in the same way as the electron.

(Tokio Ohaka)

La chambre de projection temporelle Des muons pris en filature

Au laboratoire TRIUMF (Tri-University Meson Facility) de Vancouver une équipe de chercheurs canadiens et américains est sur le point de réaliser une expérience fondamentale sur la structure de la matière à l'aide d'un nouveau détecteur de particules ultra-perfectionné.

Les philosophes de la Grèce ancienne définissaient la matière comme la combinaison, en proportions variables, de quatre éléments: le Feu, l'Eau, l'Air et la Terre. D'autres modèles ont également été proposés à cette époque, y compris celui qui devait donner naissance à ce que nous considérons actuellement comme la meilleure explication de la structure de la matière ordinaire: la théorie atomique.

Au début du 20^e siècle, après la grande confusion provoquée par l'observation de phénomènes aussi étranges que la radioactivité, l'effet photoélectrique et les rayons cosmiques, les physiciens semblaient enfin devoir toucher au but: la physique théorique allait se doter d'un modèle simple et cohérent de l'atome qui ne ferait appel qu'à quelques constituants de base: l'électron, le proton et le neutron.

Malheureusement, ce modèle simple a dû être récemment remis en question, certaines des particules dites "élémentaires" était vraisemblablement constituées d'une véritable famille de nouvelles particules. L'étude de cette famille a

Le Dr Douglas Bryman s'affaire auprès de la chambre de projection temporelle.

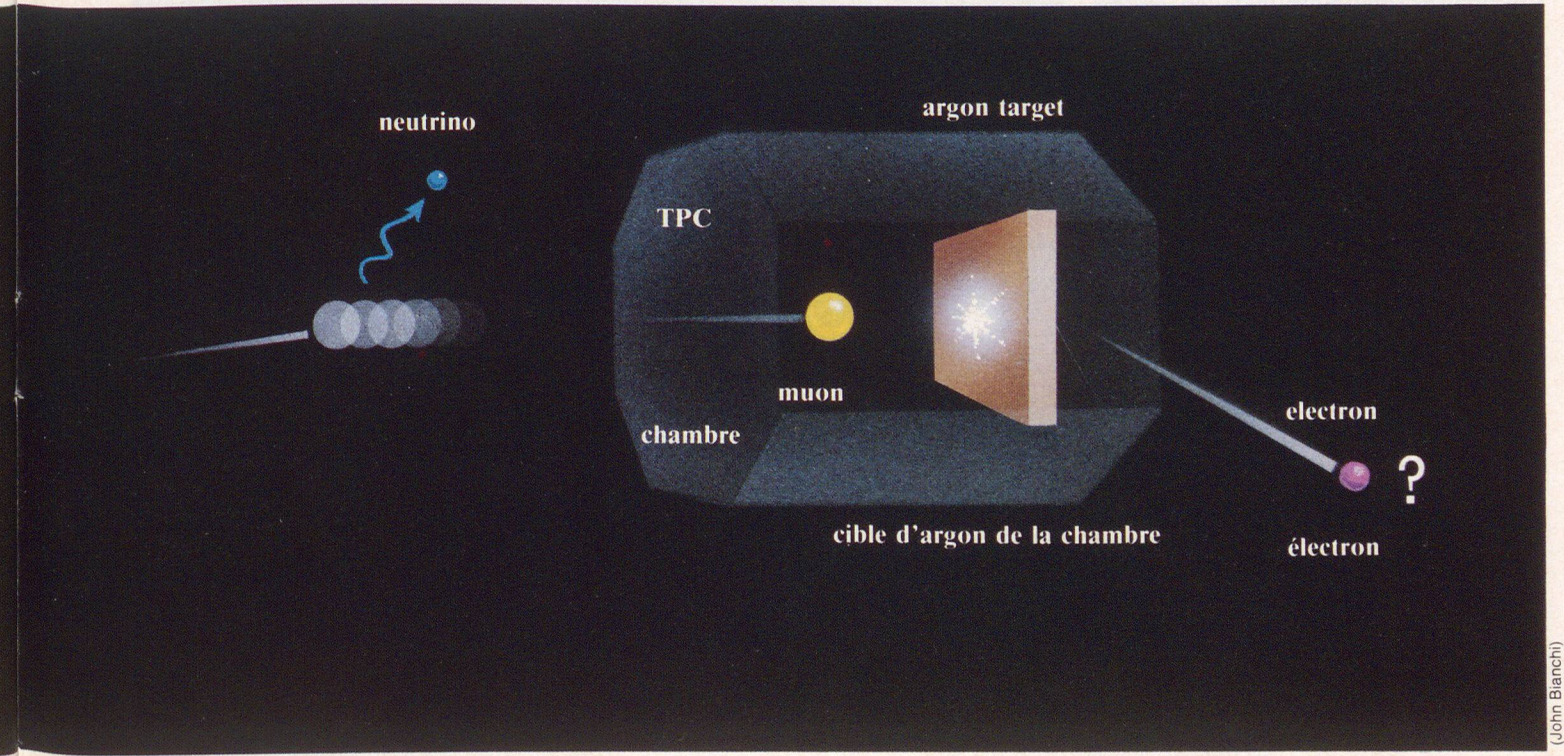
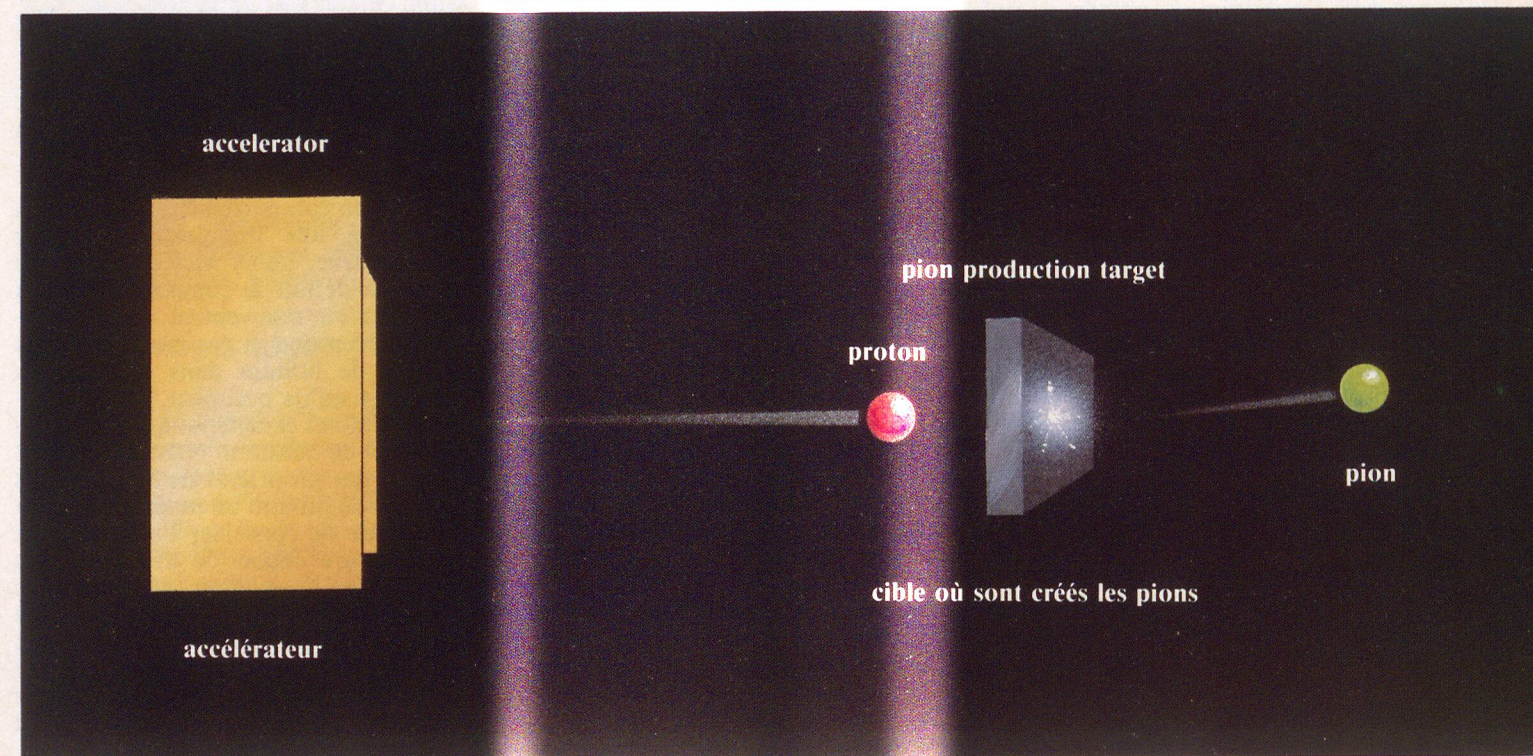
Dr. Douglas Bryman and the TPC.



amené les chercheurs à supposer un nouvel ensemble de constituants encore plus fondamentaux dont l'assemblage formerait la matière ordinaire. La théorie actuelle veut que la matière soit composée de deux types de particules: les quarks et les leptons. Les quarks sont eux-mêmes de deux types (*u* et *d*) tandis que les leptons se composent de l'électron et de son neutrino. Les quarks n'ont été trouvés dans la nature que sous forme de constituants du proton, du neutron et des différents types de mésons, ces derniers étant des particules associées au noyau atomique. Pour compliquer le tout, ces constituants fondamentaux possèdent des analogues instables de masse plus élevée qui ne se trouvent pas dans la matière ordinaire. Les physiciens nomment ces particules plus lourdes "générations"; ils ont établi que des générations lourdes de quarks se désintègrent en particules plus légères. (On a observé la chose dans le cas de certaines désintégrations de mésons.)

Cependant, on n'a encore jamais pu observer pareilles transformations dans le cas de générations de leptons. Parmi ceux-ci, le muon peut être à juste titre considéré comme un analogue de l'électron dont il ne diffère que par sa masse plus élevée. Il affiche en effet les mêmes propriétés que ce dernier, à l'exception de sa masse: il est ponctuel, il a la même charge électrique et il interagit avec les autres particules de la

(Crabon/Linn)



Transition between the two — muon to electron — has not, however, been observed.

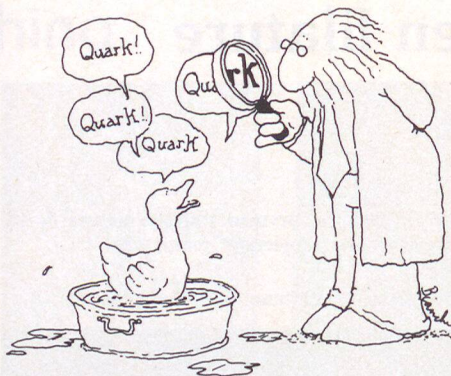
While this missing transition in leptons is in accord with classical theories of the nature of matter, recent models uniting the fundamental forces of nature under one mathematical structure predict that, under certain rare conditions, muons do decay into electrons.

Such transformations, which would add significantly to the conceptual framework of particle models, have never been observed. In the jargon used by particle physicists, the observed rate of such reactions is inferior to 10^{-10} , which means that there is less than one such conversion in every ten billion ordinary decays. Looking for them is roughly comparable to looking for one particular grain of sand on a beach!

It is to attempt to obtain this extraordinary level of precision vital to physicists trying to choose between conflicting theoretical models of the ultimate structure of matter, that a powerful new type of detector has been built in Canada.

Called a Time Projection Chamber (TPC), the new detector was put together by a team of researchers from the Tri-University Meson Facility (TRIUMF), NRC's Division of Physics, the Universities of Carleton, Montreal, Victoria, British Columbia and Chicago, Virginia Polytechnic Institute and the Los Alamos Scientific Laboratories. The experiment is headed by physicist Douglas Bryman of Vancouver's TRIUMF laboratory and Dr. C.K. Hargrove of NRC's High Energy Physics section. Now installed at the TRIUMF meson generator in Vancouver, the TPC will improve by a factor of 10 to 100 the sensitivity with which one can observe the reaction of a muon, bound in an orbit around the core of an atom, directly into an electron. Financed by grants totalling more than \$1M by the Natural Sciences and Engineering Research Council (Canada's granting council for university researchers in natural sciences and engineering), and with major support from the NRC and the U.S. National Science Foundation, the new detector will begin operation in the spring of 1982. The crucial experiment on muon to electron conversion is expected to take about six months and data analysis is scheduled to occupy a good part of 1982.

According to Bryman, theoretical physicists are eagerly awaiting the results of this experiment as it provides a crucial check on some of the latest theories on the structure of matter and the forces that bind it together. These new theories also lead to other unusual



predictions, one of the strangest being that protons might not be as stable as formerly thought. That should not stop you from laying some wine aside for next year, however, since the projected half-life of the proton is of the order of 10^{30} years. Since the universe is only 10^{10} years old, nothing drastic will happen for awhile, but the possibility of observing proton decay is of great theoretical interest and sensitive experiments are now under way to detect it at protected sites in deep mines

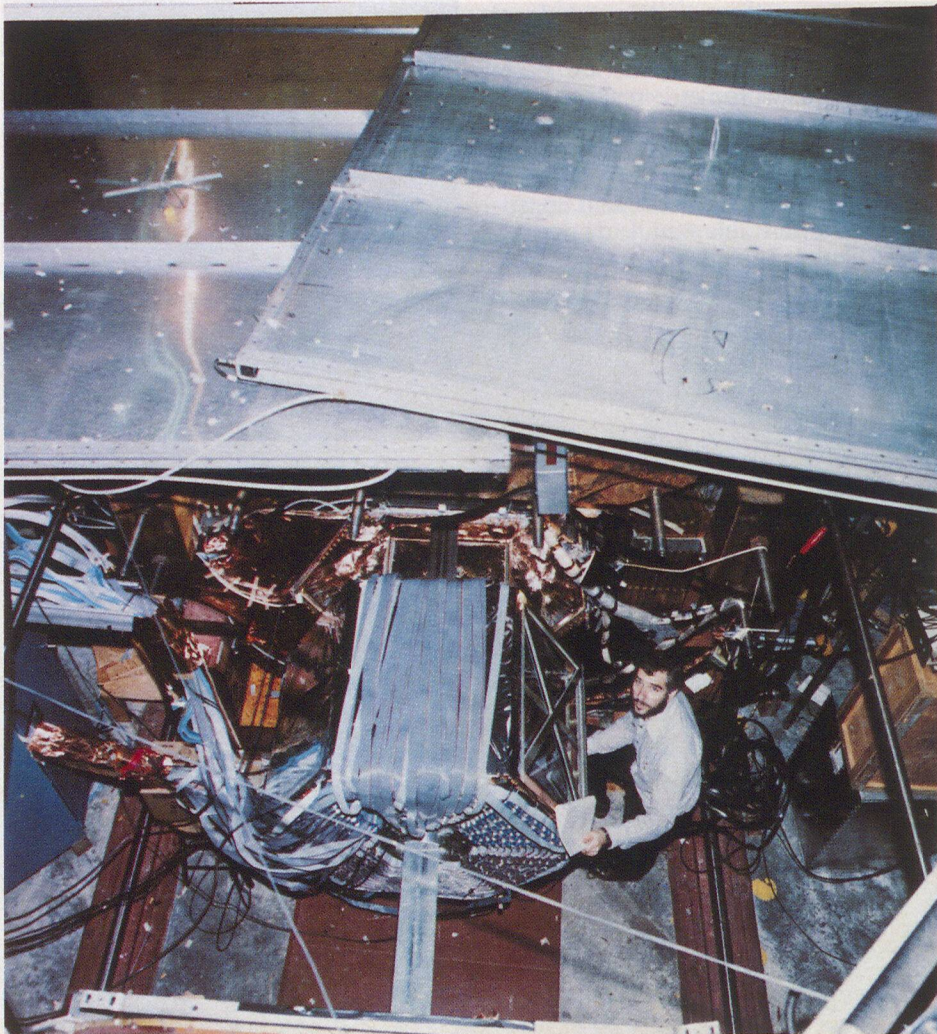
which shield them from the background noise of cosmic rays.

Cosmologists are also quite interested in the results of laboratory experiments on muon-electron conversion and proton decay because they may shed light on the development of the universe. The very early stages and subsequent progress of the universe following the primordial explosion, known as the big bang, would have been profoundly affected by the actual numbers and characteristics of lepton generations. In fact, the ultimate fate of the universe, that is, whether it will continue to expand forever or eventually fall back in on itself, may depend on whether the neutrinos have a mass, a question which may be answered by this experiment. □

Michel Brochu

An overhead view of the Time Projection Chamber (TPC) experiment. Located at the end of a beam line, the hexagonal chamber is surrounded by a large magnet.

La chambre de projection temporelle, vue du dessus. Située à l'extrémité de l'une des voies des faisceaux de TRIUMF, la chambre baigne dans un champ magnétique créé par un puissant aimant.



(Craon/Linn)

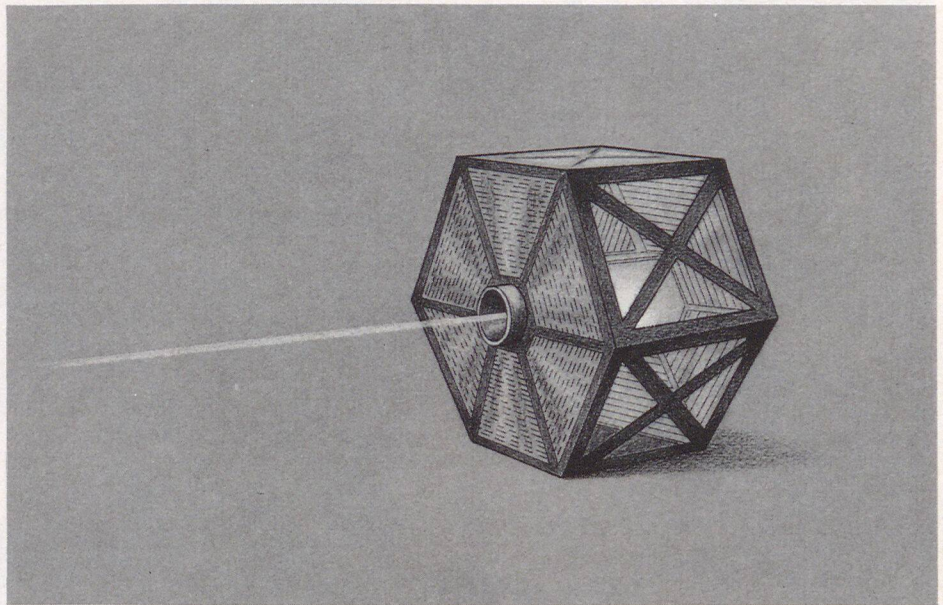
même façon que l'électron. Pourtant, la transition entre les deux — de muon à électron — n'a jusqu'ici jamais été observée.

Bien que les théories classiques sur la nature de la matière rejettent la possibilité d'une telle transition au sein des leptons, des modèles théoriques récents qui tentent d'unifier les forces fondamentales de la nature au moyen d'une structure mathématique unique permettent de prédire que les muons peuvent, dans certaines conditions rarement réunies, se désintégrer en électrons.

L'observation d'un tel phénomène enrichirait considérablement le cadre conceptuel des modèles de la physique des particules. Cependant, la probabilité d'observer pareille réaction "anormale" est inférieure à une chance sur 10 milliards soit, dans le jargon utilisé en physique des particules, un taux observé inférieur à 10^{-10} . Autant se mettre à la recherche d'un grain de sable particulier sur une plage qui en contient des milliards!

C'est pour tenter d'obtenir cette extraordinaire précision, indispensable aux physiciens qui cherchent à départager des modèles théoriques contra-

dictoires de la structure ultime de la matière, qu'un nouveau type de détecteur extrêmement puissant vient d'être construit au Canada.



(John Bianchi)

À la recherche d'un grain de sable dans l'Univers

Inventée par le physicien David R. Nygren, de Berkeley, la chambre de projection temporelle est un nouveau type de détecteur de particules caractérisé par un pouvoir de résolution en énergie et une sensibilité plus élevés que les détecteurs ordinaires du type chambre à étincelles ou émulsion photographique. La chambre ressemble, par certains côtés, à un compteur Geiger, lequel est constitué d'un fil conducteur chargé électriquement (électrode) et plongé dans un gaz spécial. Lorsqu'une particule chargée traverse le compteur, elle crée un flux d'ions qui sont recueillis sur l'électrode, provoquant une impulsion électrique qui est amplifiée, puis détectée. Un circuit électronique enregistre ces impulsions électriques et permet de connaître du même coup le nombre de particules ayant traversé le détecteur.

La chambre de projection temporelle fonctionne un peu de la même façon. Elle se compose essentiellement d'un volume de gaz d'environ un mètre de diamètre sur un mètre de long, soumis à un champ magnétique uniforme induit par un puissant aimant. Des particules chargées ionisent le gaz (un mélange constitué à 80% d'argon et à 20% de méthane, maintenu à la pression atmosphérique); les électrons ainsi libérés sont projetés par un champ électrique sur un ensemble de détecteurs situés aux deux extrémités de la chambre et y produisent des im-

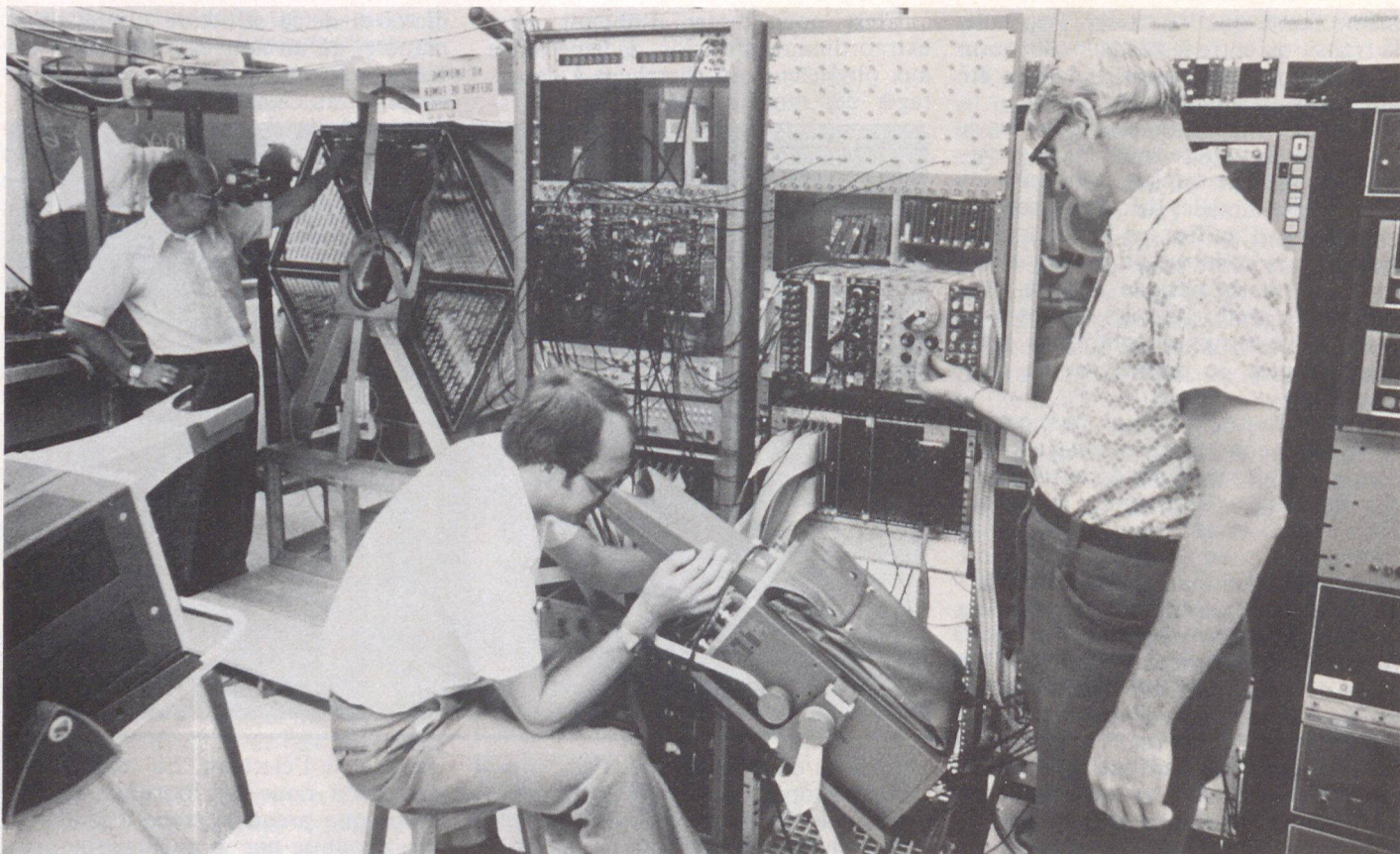
pulsions électriques dont l'amplitude est proportionnelle à l'énergie des particules ionisantes. Contrairement au compteur Geiger, qui ne fait que dénombrer les particules sans fournir d'indices sur leur énergie individuelle, la chambre de projection temporelle nous permet de mesurer l'énergie de chaque particule.

Pour réaliser cette expérience de conversion des muons en électrons, on introduit un faisceau très pur de muons au cœur de la chambre. Les muons, arrêtés par une cible d'argon placée à l'intérieur de la chambre, se lient temporairement aux atomes d'argon pour former des atomes muoniques. Si l'expérience réussit, le muon se transformera en électron tandis que le noyau demeurera inchangé. La masse de l'électron étant beaucoup plus faible que celle du muon, l'électron emportera la plus grande partie de l'énergie libérée lors de la conversion de la masse, conformément à la célèbre équation d'Einstein: $E = mc^2$. Comme on évalue l'énergie de tels électrons à 103 millions d'électrons-volts (MeV), il ne reste alors qu'à prendre les électrons en filature pour détecter ceux qui, lorsqu'ils quittent la cible de cuivre et traversent le gaz de la chambre, possèdent la quantité d'énergie attendue.

Le monitoring de chaque segment des câbles détecteurs permet d'obtenir une projection bidimensionnelle de la trajectoire de l'électron à partir de la position des segments qui ont acheminé l'impulsion; on peut ainsi retracer jusqu'à 12 points sur la tra-

jectoire de l'électron. La troisième dimension nous est fournie par le temps que prend la trace d'ionisation produite par la particule pour atteindre l'extrémité de la chambre. On peut ainsi reconstruire la trajectoire du nouvel électron à travers le volume gazeux, après sa création dans la cible d'argon. Connaissant la trajectoire des électrons à travers les champs électrique et magnétique de la chambre, les expérimentateurs peuvent rejeter les événements qui ne les intéressent pas et ne retenir, parmi les innombrables particules ordinaires, que les rares particules qui possèdent la quantité d'énergie et le moment recherchés. Toute l'expérience est sous le contrôle de mini-ordinateurs qui transmettent également les données recueillies à un ordinateur plus puissant pour qu'elles puissent y être traitées ultérieurement.

La souplesse de la conception de l'accélérateur TRIUMF permet son utilisation pour d'autres travaux de recherche fondamentale et appliquée alors même que cette importante expérience est en cours. Ainsi les faisceaux de particules accélérées par TRIUMF peuvent, un peu comme les trains dans une gare de triage, être déviés grâce à des aimants et dirigés simultanément vers huit "voies" différentes. La chambre de projection temporelle où se déroulera l'expérience se situe à l'extrémité de la voie M-9, l'une des voies présentement utilisées par TRIUMF.



Ottawa Citizen

Testing the time projection chamber at Carleton University in Ottawa.

Vérification du fonctionnement de la chambre de projection temporelle à l'Université Carleton, à Ottawa.

Looking for a needle in a cosmic haystack

Invented by Berkeley physicist David R. Nygren, the Time Projection Chamber is a new kind of particle detector characterized by much improved energy resolution and sensitivity compared to standard detectors such as spark chambers or photographic emulsions. The TPC has some similarity with the well known Geiger counter, which basically consists of a charged wire in a special gas. When a charged particle passes through a Geiger counter, it leaves a stream of ions which are collected on the charged wire and evoke an electrical pulse, which is then amplified and detected. Electronic circuitry counts the electrical pulses and therefore the number of particles.

The TPC operates somewhat similarly. It basically consists of a large volume of gas about a metre in diameter and a metre in length placed in a uniform magnetic field created by a large magnet. Charged particles ionize the gas (a mixture of 80 per cent argon and 20 per cent methane at atmospheric pressure) and the resulting ionization electrons are swept by an electrical field onto a matrix of detecting wires at

both ends of the chamber. There, they produce electrical pulses with an amplitude which is proportional to the amount of energy carried by the particle. The TPC signals yield information on the energy of the particles, contrary to the Geiger counter which only counts the number of particles no matter what their energy.

In the muon to electron conversion experiment, a very pure beam of muons enters the center of the chamber and stops in an argon gas target where they bind temporarily with nuclei to form muonic atoms. In the reaction being sought, a muon converts into an electron and the nucleus remains unchanged. The electron's mass is much smaller than a muon's so that the electron carries most of the energy released by the mass conversion, according to Einstein's famous equation $E=MC^2$. Thus, one is looking for tracks of electrons carrying that specific amount of energy, calculated to be 103 million electron volts (MeV), leaving the target and traversing the gas of the TPC.

Individual segments of the end wires are monitored to obtain a two-dimensional projection of the electron's trajectory; up to 12 points on

the electron's tracks are obtained from the positions of the segments that "fired". The time for the particle's ionization track to drift to the end cap wire yields the third coordinate, allowing a reconstruction of its trajectory through the gas after its creation in the target. Knowing the trajectory of the charged particles in the magnetic and electric field inside the TPC allows experimenters to weed out background events and select the very few particles they are interested in which have the right energy and momentum among an immense number of other particles. The whole experiment is controlled by minicomputers which also massage the data for later treatment in a large computer.

Thanks to the flexibility of the TRIUMF accelerator design, this major experiment can proceed while the accelerator is concurrently being used for other basic and applied work. Like trains in a large switching yard, TRIUMF's particle beams can be bent with magnets and steered to as many as eight "beam lines" simultaneously. The TPC experiment sits at the end of beam line M-9, one of the many in use at present.

Appelé "chambre de projection temporelle" (Time Projection Chamber, TPC), ce nouveau détecteur a été fabriqué par une équipe de chercheurs de TRIUMF, à Vancouver, de la Division de physique du CNRC, des Universités Carleton, de Montréal, de Victoria, de Colombie-Britannique et de Chicago, du Virginia Polytechnic Institute et des Los Alamos Scientific Laboratories. L'expérience a été placée sous la direction du physicien Douglas Bryman, de TRIUMF, et du Dr C.K. Hargrove, de la section de physique des hautes énergies du CNRC. Actuellement montée dans l'enceinte expérimentale du générateur de mésons TRIUMF, la chambre de projection temporelle décuplera ou centuplera notre pouvoir d'observation de la réaction d'un muon en orbite autour du noyau atomique et de sa transformation directe en électron. Le nouveau détecteur a été financé au moyen de subventions totalisant plus de un million de dollars et provenant du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (organisme chargé, au Canada, du financement de la recherche universitaire dans les domaines des sciences naturelles et du génie) et bénéficie d'un appui important de la part du CNRC et de la National Science Foundation des États-Unis; sa mise en service est prévue pour le printemps de 1982. L'expérience décisive sur la transformation des muons en électrons devrait, selon les prévisions, durer six mois tandis que l'analyse des données occupera à elle seule une bonne partie de l'année 1982.

Selon Bryman, les théoriciens de la physique des particules sont impatients de connaître les résultats de cette expérience qui permettra de vérifier quelques-unes des plus récentes théories sur la structure de la matière et sur les forces qui unissent ses constituants. Ces nouvelles théories ont en outre conduit à d'autres prédictions étonnantes, dont celle qui veut que les protons ne soient pas aussi stables qu'on ne l'avait antérieurement supposé. Que cela ne vous empêche pas toutefois de mettre en réserve quelques bouteilles de bon vin pour l'an prochain puisque la demi-vie du proton serait, selon certains calculs, de l'ordre de 10^{30} années. Comme l'Univers n'est vieux que de 10^{10} années, aucune catastrophe n'est donc à prévoir pour un bon bout de temps... Il n'empêche que la possibilité d'observer la désintégration d'un proton présente un intérêt théorique immense; des expériences sont actuellement en cours afin de réaliser de telles observations à l'aide de détecteurs ultrasensibles logés dans des mines profondes qui arrêtent le bruit de fond des rayons cosmiques.

Tous ceux qui s'intéressent à la cosmologie suivent de près ces expériences sur la transformation du muon en électron et sur la désintégration du proton car elles sont susceptibles de fournir de précieux indices sur l'évolution de l'Univers. Au cours des premiers instants qui ont suivi l'explosion primordiale, ou big bang, et de l'expansion de l'Univers qui s'ensuit, le nombre et les caractéristiques des générations de leptons aurait joué un rôle décisif. De fait, le destin ultime de l'Univers, qui serait de poursuivre indéfiniment son expansion ou, au contraire, de finir par se replier sur lui-même, dépend peut-être de l'existence ou de l'absence de masse chez les neutrinos. L'expérience qui est sur le point d'être tentée pourrait bien nous éclairer à ce sujet. □

Texte français: Line Bastrash

CUT - DÉCOUPEZ

1982/1		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

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



FASTEN HERE - SCOLLER ICI

Publication Office - Bureau des publications

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	

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.

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.