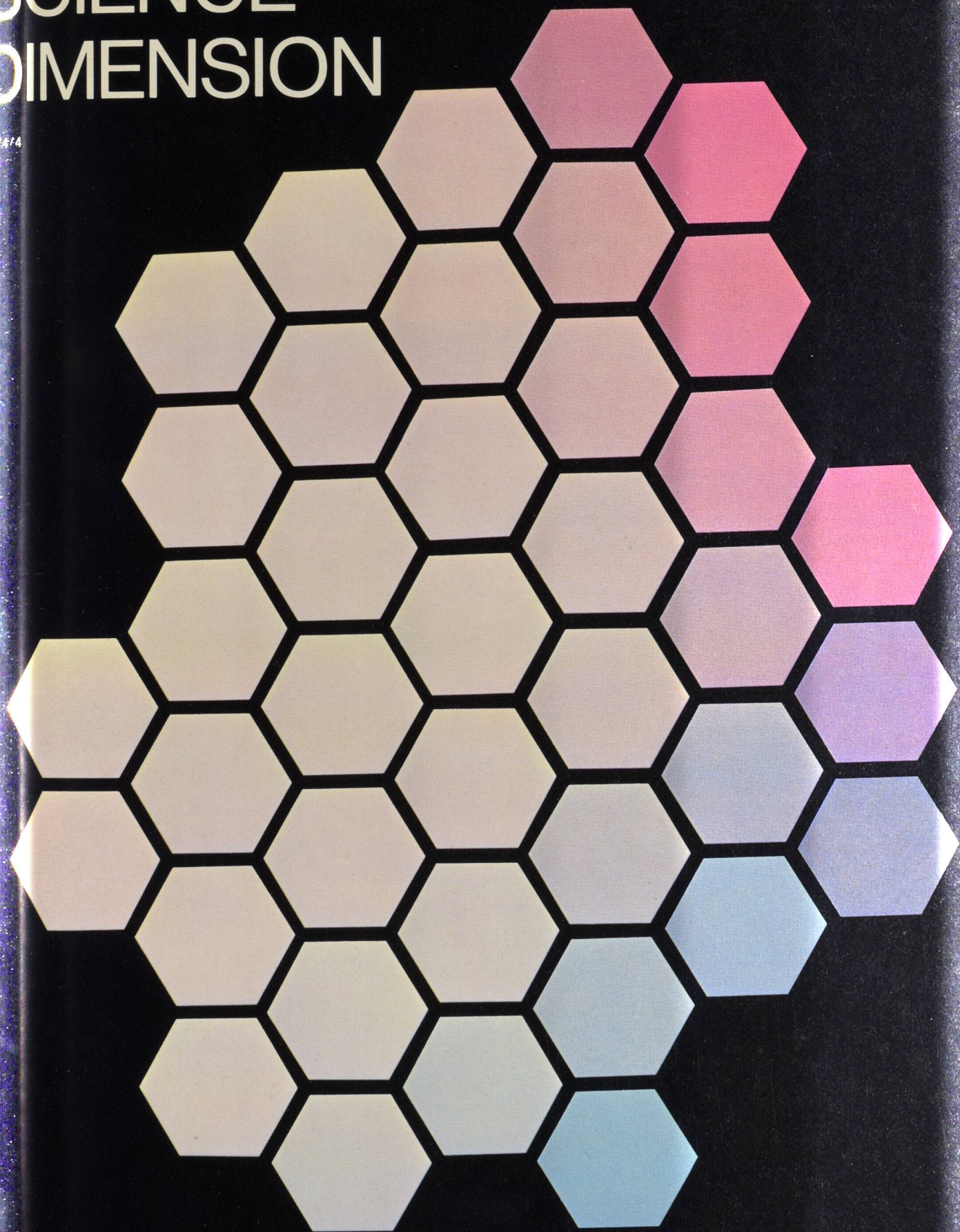


SCIENCE DIMENSION

1974/4



National Research
Council Canada

Conseil national
de recherches Canada

SCIENCE DIMENSION

Vol. 6 No. 4, 1974

Contents / Sommaire

-
- 4 Toward a uniform color space
Vers un espace uniforme des couleurs 5
-
- 10 Electrochemical oxygen sensor
La sonde électrochimique à oxygène 11
-
- 14 Canadian Journals of Research
Les Journaux canadiens de la recherche 15
-
- 20 Mathematics of the Fundy Tides
Les mathématiques et la baie de Fundy 21
-
- 26 Unlocking the secrets of gonorrhea
L'arme absolue contre la blennorragie 27
-
- 32 Hydrogen — new storage system
 $H_2 + O \rightleftharpoons H_2O$, mais comment stocker H_2 ? 33
-

Science Dimension is published six times a year by the Public Information Branch of the National Research Council of Canada. Material herein is the property of the copyright holders. Where this is the National Research Council of Canada, permission is hereby given to reproduce such material providing an NRC credit is indicated. Where another copyright holder is shown, permission for reproduction should be obtained directly from that source. Enquiries should be addressed to: The Editor, Science Dimension, NRC, Ottawa, Ontario, K1A 0R6, Canada. Tel. (613) 993-3041.

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

Photo credits: page 3 (centre), Montreal General Hospital, (bottom), McGill University, Montreal; pages 4, 5, 24, 25, 26, Miss C. Clyde, NRC; pages 10, 11, 12, 13, University of Toronto; page 18 (left), Bob Whitehead, NRC; pages 20-21, Baranger Photothèque, France; page 23, Embassy of France, Ottawa; page 34, Division of Mechanical Engineering, NRC.

Photographies: page 3 (centre), Hôpital général de Montréal, (en bas), McGill University, Montréal; pages 4, 5, 24, 25, 26, Mlle C. Clyde, CNRC; pages 10, 11, 12, 13, University of Toronto; page 18 (à gauche), Bob Whitehead, CNRC; pages 20-21, Photothèque Baranger, France; page 23, Ambassade de France, Ottawa; page 34, Division de génie mécanique, CNRC.

Managing Editor Loris Racine Directeur

Editor Joan Powers Rickerd Rédactrice-en-chef

French Texts Georges Desternes, Claude Devismes Textes français

Graphics-Production Robert Rickerd Arts graphiques-Production

Staff photographer Bruce Kane Photographe attaché à la Direction

Printed by Mortimer Imprimeur

PRIX STEACIE PRIZE



Dr. Philip Gold (centre), Professor of Medicine and Clinical Medicine, McGill University, has become the 10th winner of the Steacie Prize in the Natural Sciences, named in memory of Dr. E.W.R. Steacie, a physical chemist and President of the National Research Council of Canada from 1952 until his death in 1962. Dr. Robert Bell (right), Principal and Vice-Chancellor of McGill University introduced Dr. D.J. Le Roy (left), Acting Vice-President (University Grants and Scholarships), NRC, who made the presentation to Dr. Gold.

The Steacie Prize has been awarded annually since 1964 to a younger person for outstanding scientific work in a Canadian context.

The citation stated that Dr. Gold's research, carried out at the Montreal General Hospital, is a combination of the fundamental and the applied. His discovery of a blood-borne antigen in patients with cancers of the bowel has led to a valuable method for clinical diagnosis of cancer of the digestive system. At the same time, his wide ranging studies of antigens are providing new insights with the changes in gene expression that are characteristic of neoplastic cells.

Recently, the United States Food and Drug Administration approved a blood test kit for the detection of cancer by methods based on Dr. Gold's discoveries.

• Le Dr Philip Gold (au centre), professeur de médecine et de médecine clinique à l'Université McGill, est le

dixième récipiendaire du prix Steacie pour les Sciences naturelles. Ce prix prend son nom du Dr E.W.R. Steacie, chimiste physicien, Président du Conseil national de recherches du Canada de 1952 jusqu'à sa mort en 1962. Le Dr Robert Bell (à droite), Président et Vice-chancelier de l'Université McGill, a présenté le Dr D.J. Le Roy (à gauche), Vice-président (Bourses et subventions universitaires) par intérim du CNRC, qui a remis le prix au Dr. Gold.

Le prix Steacie a été accordé annuellement depuis 1964 à un jeune chercheur qui s'est distingué par ses travaux scientifiques dans le contexte canadien.

La citation exprime le fait que les recherches du Dr Gold faites à l'Hôpital général de Montréal sont à la fois fondamentales et appliquées. Le Dr Gold a découvert un antigène porté par le sang chez les malades atteints de cancers des intestins et cette découverte a conduit à une méthode de valeur pour diagnostiquer cliniquement le cancer dans le système digestif. En même temps, ses études étendues et de grande portée sur les antigènes ont permis d'acquérir des vues nouvelles sur les changements d'expression des gènes caractérisant les cellules néoplasiques.

Récemment, la "Food and Drug Administration" des États-Unis a approuvé une trousse servant à faire des tests du sang en vue de détecter le cancer par des méthodes basées sur les découvertes du Dr Gold.



In the eye of the beholder – Toward a uniform color space

The sleeves of a blue shirt may be sewn in one section of a factory, the collar in a second and the body in a third. When they finally come together, the blue colors of the various pieces must match or the consumer may reject the final product.

The shirt manufacturer must know how large a color difference the consumer will accept. He must then specify the color tolerance he is willing to allow from the textile manufacturer. The textile manufacturer, who dyes his material by the thousands of yards, must ensure that the color of his product at the beginning of a roll is the same as that dyed at the end. However, industry does not yet have a reliable method of expressing color tolerances which is universally understood.

Color studies relating to this problem are being carried out by the National Research Council of Canada's Division of Physics. Dr. Gunter Wyszecki, Head of the Radiation Optics Section, says: "I don't think anyone in the business these days can economically produce anything without being given tolerances. It's a well-established thing in other industries but not so in color. Current methods of specifying color differences and, in turn, tolerances are not always satisfactory and not yet fully developed."

The measurement of color itself is well established, but there are currently several systems to measure color differences in industry. Color-difference meters are most frequently used but techniques often vary as does the system of units for measurement. Human color matchers or inspectors can also be used but this process is often slow, tiring or too subjective to be effective. Because the human eye has a threshold of sensitivity to color differences, two colors need not be identical to appear as a visual match. Within a certain range, an observer will perceive two physically differing colors as the same.

If a uniform yardstick to measure color difference were established, industry would then have a criterion for acceptable reproduction of any color — a way of saying how close one color must be to another so that the eye cannot see the difference.

A broad base of color theory exists which researchers are trying to expand in order to solve the problem. Any color may be represented in a three-dimensional color space, with axes X, Y, Z corresponding to some function respectively of three primary colors, such as red, green and blue. The color can be composed by mixing three colored lights (of the primary colors) in an additive process. (By contrast, when using pigments or paints, the primaries are commonly red, blue and yellow. Composition of a color by the mixture of three such paints is a complex subtractive process which also involves the chemical nature of the pigments and is quite different in principle from the mixture of lights). A particular color C, for example, orange or yellow, can then be specified in color space by three coordinates or tristimulus values (Figure 1). A second color, C', just perceptibly different from the first, can also be plotted. The envelope (like the skin of a balloon) of all points showing such perceptible color differences in all directions from C describes the boundary conditions within which colors are seen by the eye as identical to C, and beyond which, as different.

The shape and size of the enclosed volumes of these colors vary with the color C and thus its location in this "color-matching" space. They may be large or small and are frequently ellipsoid or egg-shaped. From the point of view of perceiving color differences, this space is clearly non-uniform.

However, uniform color space may be derived by mathematical transformation of the X, Y, Z color-matching space into a U, V, W space where the enclosed volumes are spherical and also of the same size for any color (Figure 2). The difference, ΔE (delta E), between any two colors represented by points C₁ and C₂ can then be found readily from a mathematical equation. Here, color 1 differs from color 2 similarly in any direction. Scientists have defined the size of this difference, ΔE , to correspond with the color discrimination of the human eye. When ΔE is less than one, color differences are defined as not perceptible. For $\Delta E=1$, the color difference is just perceptible, while for $\Delta E=2$, the difference is twice as large, and so on.

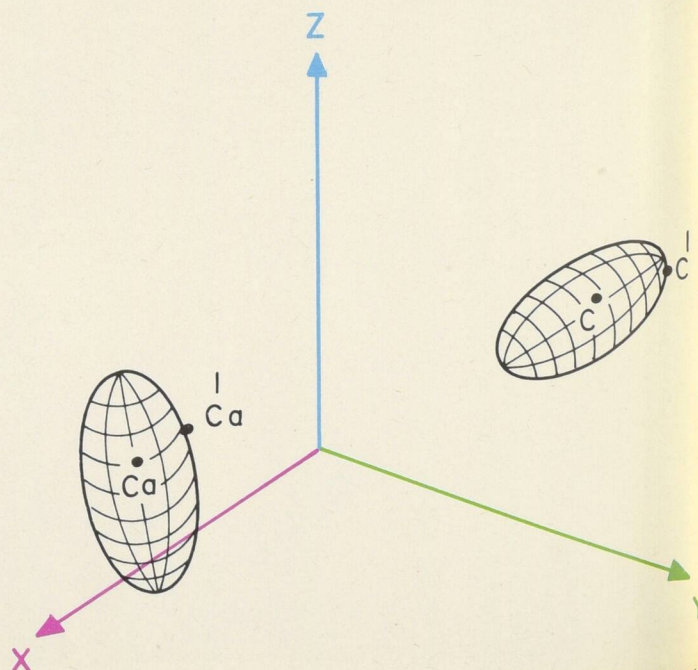
Although the ideal uniform color space has not yet been found, an approximation to it called the CIE (U*, V*, W*) space was developed at NRC and was adopted in 1964 as an international standard by the Commission Internationale de l'Éclairage.

Since 1963, Dr. Wyszecki has been Chairman of the Commission's Colorimetry Committee.

"Some people doubt that a uniform color space can be found," he says, "but I think you can get a very good approximation which will serve almost all purposes. The present CIE (U*, V*, W*) formula still has some shortcomings."

One deficiency of the CIE (U*, V*, W*) space (Cover) is a lack of uniformity in some areas. In the cross-section depicted, differences between neighboring colors are small and of equal size within vertical rows, but larger and more

Figure 1. The 3-dimensional X, Y, Z color-matching space. Axes are some function of three additive primary colors. Any color can be specified by three coordinates but color differences are not uniform.
• Espace tridimensionnel X, Y, Z d'appariage des couleurs. Les axes sont des fonctions de trois couleurs fondamentales additives. Toute couleur peut être définie par un point ayant trois coordonnées mais les différences entre les couleurs ne sont pas uniformes.



Toujours à chacun ses couleurs?

Vers un espace uniforme des couleurs

Il est possible que les manches, le col et le corps d'une chemise bleue, par exemple, soient faits dans différents secteurs d'une usine, mais il est essentiel que l'article fini soit partout d'un même bleu faute de quoi le client pourrait bien ne pas acheter la chemise.

Autrement dit, le fabricant de chemises doit savoir jusqu'à quel point les petites différences de couleur passeront inaperçues, c'est-à-dire qu'il doit pouvoir spécifier les tolérances que le fabricant de tissus doit observer. En outre, ce fabricant de tissus utilise des teintures et ses machines produisent des milliers de mètres de tissus qui doit être exactement de la même couleur au commencement et à la fin du rouleau. C'est là une difficulté que l'on rencontre encore de nos jours puisque l'on ne dispose toujours pas d'une méthode sûre pour définir les tolérances dans un langage compris de tous.

C'est pour cette raison que la Division de physique du Conseil national de recherches du Canada se livre à des études sur les couleurs et le Dr Gunter Wyszecki, chef de la section de l'optique des radiations, nous a dit: "Je ne pense pas que quelqu'un dans la profession puisse, de nos jours, produire économiquement quoi que ce soit sans avoir à observer certaines tolérances. C'est là un fait accepté dans toutes les industries sauf dans celles où il y a des questions de couleurs. Les méthodes actuelles pour préciser les différences entre les couleurs, et en conséquence les tolérances, ne sont pas toujours satisfaisantes et il reste encore beaucoup à faire pour qu'elles soient au point".

On sait très bien "mesurer" les couleurs mais il existe actuellement plusieurs méthodes pour en mesurer les différences dans les établissements industriels. Les colorimètres

différentiels sont utilisés très fréquemment mais les techniques utilisées et les unités de mesure varient souvent. Les "apparieurs", ou des inspecteurs, peuvent aussi déterminer si les couleurs sont identiques mais cette méthode est souvent très longue, fatigante et trop subjective pour être efficace. L'oeil ayant un seuil de sensibilité pour les différences entre les couleurs, il est possible que deux couleurs différentes semblent être les mêmes pour certains apparieurs. Autrement dit, à l'intérieur d'une certaine gamme de longueurs d'onde, un observateur aura l'impression que deux couleurs différentes sont les mêmes.

Si l'on pouvait trouver une méthode uniforme, sûre et objective de mesure des différences entre les couleurs, les industriels disposeraient d'un critère permettant de reproduire toutes les couleurs d'une manière acceptable ce qui revient à dire que l'on pourrait préciser jusqu'à quel point deux couleurs doivent être voisines pour que l'on ne voit pas de différence.

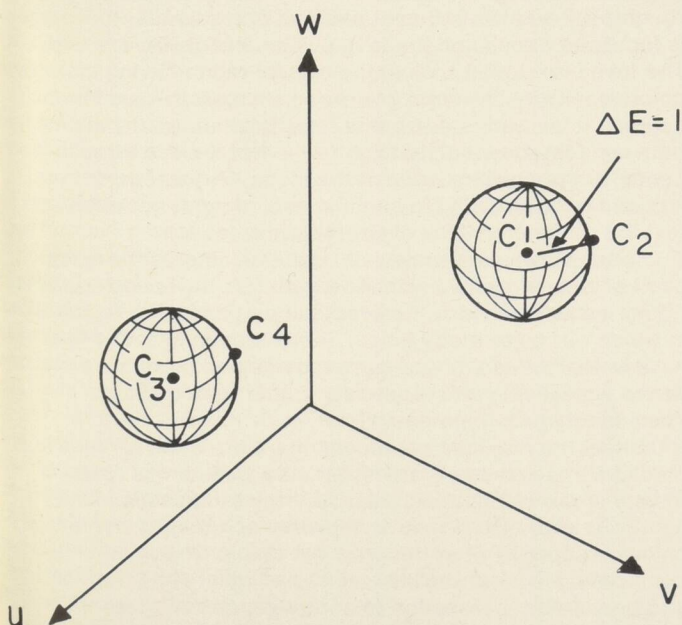
La colorimétrie théorique a déjà des bases solides mais les chercheurs essaient encore de la perfectionner. Toute couleur peut être représentée dans un espace tridimensionnel suivant des axes X, Y, Z, chacun correspondant à une fonction de trois couleurs appelées couleurs fondamentales comme le rouge, le vert et le bleu. On peut obtenir une couleur en mélangeant trois lumières, chacune étant d'une couleur fondamentale; c'est le "mélange additif". On peut aussi se servir de pigments ou de peintures et les couleurs fondamentales utilisées sont alors le rouge, le bleu et le jaune. C'est le "mélange soustractif" car il implique la nature chimique des pigments et il est très différent du mélange des lumières dans son principe. Une couleur C, par exemple, comme l'orange ou le jaune, peut correspondre à un point d'un espace tridimensionnel, la position du point étant donnée par trois coordonnées appelées "valeurs d'excitation" (Fig. 1). On peut aussi trouver la position du point correspondant à une deuxième couleur C' si peu différente de C que la différence échappe presque à l'observateur. L'enveloppe, c'est-à-dire la surface rappelant celle d'un ballon et contenant tous les points représentant ces différences perceptibles dans toutes les directions à partir de C, décrit les conditions aux limites à l'intérieur desquelles les couleurs sont identiques à C pour l'oeil humain et en dehors desquelles les couleurs sont différentes.

La forme et la dimension du volume à l'intérieur de l'enveloppe varient avec la couleur C et, par suite, avec son emplacement dans cet espace tridimensionnel de comparaison des couleurs, c'est-à-dire "d'appariage". Cet espace peut être grand ou petit et sa forme est fréquemment celle d'un ellipsoïde, c'est-à-dire d'un corps en forme d'oeuf. Du point de vue de la perception des différences entre les couleurs cet espace est nettement non uniforme.

Cependant, un espace uniforme des couleurs peut être obtenu par une transformation mathématique de l'espace tridimensionnel X, Y, Z en un nouvel espace U, V, W où les volumes enclos dans l'enveloppe sont sphériques et de la même dimension quelle que soit la couleur (Fig. 2). La différence, ΔE , entre deux couleurs représentées par les points C_1 et C_2 peut alors être trouvée immédiatement en se servant d'une équation mathématique. Ainsi les couleurs 1 et 2 ont des différences égales en valeurs absolues dans toutes les directions. Les chercheurs ont défini la valeur de cette différence ΔE pour qu'elle corresponde à la faculté de différenciation de l'oeil humain. Si ΔE est inférieure à l'unité, les différences entre les couleurs sont dites imperceptibles; si

Figure 2. The ideal U, V, W, color space. Color differences are uniform and are not perceptible to the eye within unit spheres ($\Delta E=1$).

• Espace idéal U, V, W. Les différences sont uniformes et ne sont pas perceptibles par l'oeil à l'intérieur des sphères unitaires, c'est-à-dire des sphères de rayon $\Delta E=1$.



unequal in crossing from one row to the next.

"The CIE has a working program to improve on this and work on other versions of formulas as well," Dr. Wyszecki says.

By learning how the human eye perceives color differences, researchers may formulate a better description of color-perception space.

Design and construction of instrumentation in the NRC color laboratories was begun in 1958. In particular, the seven-field colorimeter designed for these studies is the only instrument of its kind in the world.

On this instrument, an observer with normal color vision sees an array of six small hexagonal windows closely packed around a central window. The colors in each of the seven windows can be varied independently and widely. A difference between the color in the central window and one of the neighboring windows is initially fixed. The observer must then create five colors in the remaining five windows so that the final differences in all six radial and peripheral directions are identical and equal to the initial difference. Researchers have found that color discrimination in the eye varies with the illumination and with the color of the field surrounding the colored array. The array of seven colors from each test run represents one portion in a cross-section of the observer's color-reception space.

To build up a representation of color space "you need quite a few observers," Dr. Wyszecki explains, "and you must control the various parameters which influence their judgment. For example, the size of the colors plays a part as well as the level of light available. Also, whether you look at the colors in the dark or have a white or gray surrounding is important and has not yet been fully investigated. Obviously, the relationships are very complex."

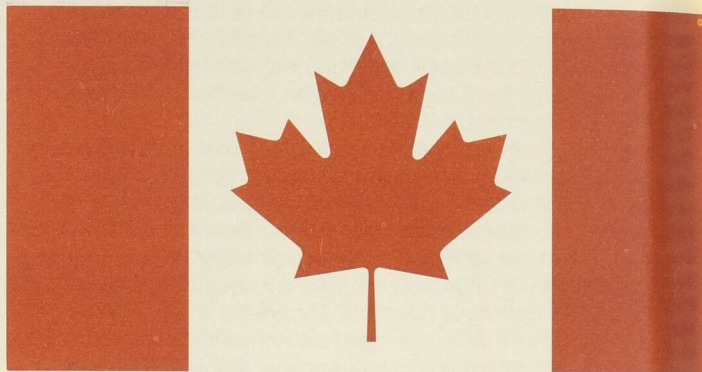
Once the color discrimination faculty of the human eye has been expressed in mathematical terms, improved color-difference meters can be built for industrial use. The language of colorimetry and, in particular, that of color-difference measurement, can then be the same for all.

"Our aim is to give industry two things," Dr. Wyszecki says. "One is the possibility of measuring any color in terms of three X, Y, Z coordinates or tristimulus values. The other concerns color differences which require a formula such as the ΔE formula which can measure the distance between two colors in a uniform color space which is transformed from the X, Y, Z space. With these tools, industry will have a complete system of colorimetry, will be able to specify a color exactly in objective terms and specify color tolerances as well."

A calibrated colorimeter can tell the manufacturer right away whether a color is on- or off-standard and by exactly how much. Eventually, interfaced with computers, colorimeters can control machinery on-line, simultaneously checking and adjusting color variations.

The research program in the Radiation Optics Section explores several other related areas. One is color-matching, where scientists test the precision of an observer's ability to match one color to another under various conditions.

The basic laws of color matching were summarized by Grassmann in 1853. One law implies that three coordinates are necessary and sufficient to specify any given color. Another law, that lights of the same color produce identical effects in mixtures regardless of their spectral composition, forms the basis of all modern colorimetry. As conceived, Grassmann's set of principles was thought to hold true over



This maple leaf will not change color with the seasons. A precise specification of the standard red color for the Canadian flag was established in 1965 by the Radiation Optics Section of what was then

the entire range of light levels. In the moderate range employed for most colorimetric purposes, these laws do hold exactly. However, under certain other conditions, they may break down.

Dr. Wyszecki says, "there are phenomena taking place inside the eye and the receptor mechanism at various stages along the pathway of the optic nerve which interfere with the simple color vision model implied in Grassmann's laws."

Since 1970, G.H. Fielder of the Radiation Optics Section has been testing the color matching abilities of observers under varying conditions on a trichromator, one of only three similar instruments in the world.

Test subjects exactly match a color adjacent to a given one by varying the intensities of three primary colors. The lights produced by these three independent intensity settings of red, green and blue add together to produce the observer's matching color.

Most color vision is studied in colored fields of either 2-degree or 10-degree size. In a 2-degree visual field, having roughly the size of a 10 cent piece at arm's length, the image is focussed directly on the fovea within the observer's eye. The fovea is a small area of the central retina having maximum color sensitivity. A dental grip, specially constructed for each subject, ensures that the same head position will be maintained between test runs and that light will enter the eye through the center of the pupil to arrive at the fovea. By increasing the size of the observed field and the level of light, scientists can test the range of validity of Grassmann's laws.

"These areas are mainly of academic interest from the point of view of basic vision research," Dr. Wyszecki explains. "But it establishes also, for practical purposes, the region within which our colorimetry holds. There are many cases where we have to look at very bright surroundings and there are situations where light is very dim. Some standard method of color specification would be desirable."

Under varying light conditions there are different receptor mechanisms in the eye. Receptor cells called rods respond to very small amounts of radiant energy (such as in moonlight) and give high sensitivity but only achromatic or neutral color perceptions of white, gray and black. On the other hand, cone cells are most sensitive at higher light levels (daylight) and provide our perception of chromatic color. However, in dim light levels or twilight vision the relative participation of

Étude des couleurs

called NRC's Division of Applied Physics. Color coordinates were determined to pinpoint the exact red shade in an objective manner. Color differences were also considered and two limit shades of red were chosen as an indication of the acceptable color tolerance for the flag manufacturer. Subsequent laboratory tests were carried out by the Textile Chemistry Section of what was then NRC's Division of Applied Chemistry on the fading of red material supplied by industry. These experiments ensured that the flag would remain colorfast. • La couleur de cette feuille d'érable ne variera pas avec les saisons. En 1965, la section d'optique des radiations de ce qui était alors la Division de physique appliquée, a établi des normes précises pour la couleur rouge du drapeau canadien. On s'est servi de coordonnées tridimensionnelles pour déterminer le rouge exact recherché. On a également tenu compte des différences maximales de couleur et choisi deux limites de rouge pour indiquer au fabricant la tolérance admissible. Pour s'assurer que les couleurs du drapeau ne passeraient pas après une exposition prolongée aux effets du temps, la section de chimie des textiles de ce qui était à cette époque la Division de Chimie appliquée a procédé, ultérieurement, à des essais sur la résistance à l'altération des couleurs utilisées par les industriels.

$\Delta E=1$, les différences sont tout juste perçues et si $\Delta E=2$, par exemple, la différence est deux fois plus grande, etc.

Quoique l'espace uniforme idéal n'ait pas encore été trouvé, on dispose quand même d'une approximation appelée CIE (U^* , V^* , W^*) mise au point par le CNRC et adoptée en 1964 comme étalon international par la Commission Internationale de l'Éclairage.

Le Dr Wyszecki est président du Comité de colorimétrie de la Commission Internationale de l'Éclairage depuis 1963.

Il nous a dit: "Certaines personnes pensent qu'il est peu probable que l'on puisse mettre au point un espace uniforme des couleurs mais je pense que l'on peut en avoir une très bonne approximation qui permettra de l'utiliser dans presque tous les cas. La formule CIE (U^* , V^* , W^*) utilisée actuellement n'est encore qu'une approximation qui a d'ailleurs quelques inconvénients".

L'un de ces inconvénients (notre couverture) est un manque d'uniformité dans certaines zones. Dans le profil bidimensionnel que nous décrivons les différences entre couleurs voisines sont faibles et égales dans le cadre d'une rangée verticale mais ces différences sont plus grandes et moins égales lorsque l'on passe d'une rangée à la suivante.

"La CIE a un programme d'amélioration de la formule et elle travaille aussi actuellement sur d'autres formules semblables ou différentes", nous a dit le Dr. Wyszecki.

Les chercheurs peuvent formuler une meilleure description de l'espace de perception des couleurs s'ils étudient comment l'œil humain perçoit les différences.

C'est en 1958 que l'on a commencé dans les laboratoires du CNRC à concevoir et à construire des instruments et, en particulier, le colorimètre à sept cibles, le seul instrument de cette sorte dans le monde.

Grâce à lui, un observateur ayant une vision normale des couleurs voit six petites fenêtres hexagonales placées les unes contre les autres autour d'une fenêtre centrale. Dans chacune des sept fenêtres, on peut faire varier les couleurs indépendamment et dans une grande gamme. Une différence entre la couleur de la fenêtre centrale et celle d'une des fenêtres périphériques est fixée initialement. L'observateur doit alors produire cinq couleurs dans les cinq autres fenêtres de sorte que les différences finales dans les six directions radiales et périphériques soient identiques et égales à la différence initiale. Les chercheurs ont trouvé que la différenciation entre



Rick '74

In color-matching studies, scientists test the precision of an observer's ability to match one color to an adjacent given one under various conditions. To compose the matching color, subjects vary the intensities of three lights of the additive primary colors red, green and blue.

• L'aptitude de l'appareur est évaluée par les chercheurs en lui demandant de faire varier l'intensité de trois couleurs fondamentales additives, le rouge, le vert et le bleu, jusqu'à ce qu'il pense avoir obtenu la même "couleur" que la couleur témoin.

Color studies

rod and cone vision continually varies and color judgments may become unreliable. Some manufactured products have to be evaluated by this mixed vision because they are intended for use in dim light.

The ability of observers to match colors is tested under these varying conditions over the whole visible spectrum of wavelengths from violet to red.

In 1972, Dr. Wyszecki was the founding president of the Canadian Society for Color in Art, Industry and Science. The Society provides a forum, communication center and official association for artists, advertisers, engineers and scientists alike interested in the many aspects of color in daily life. □

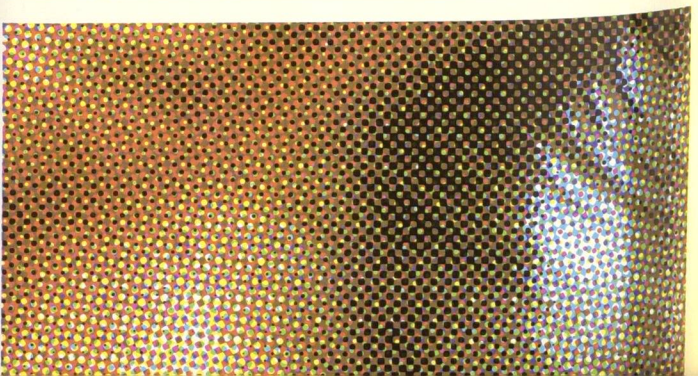
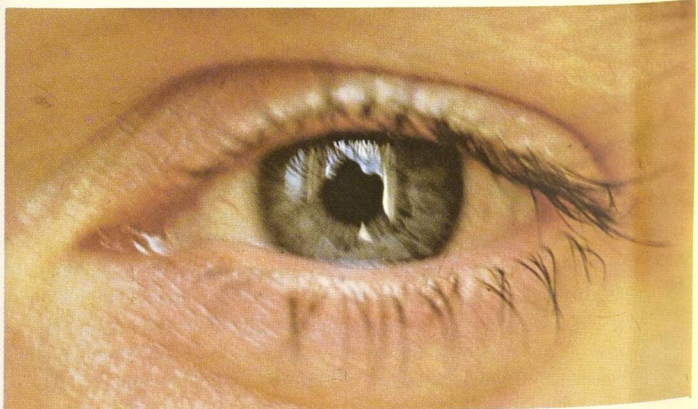
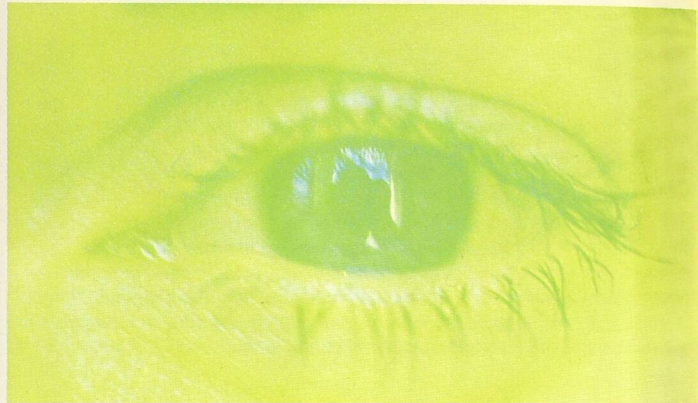
W.J. Cherwinski

Right

The principle of reproducing any given color from a particular combination of its three constituent primaries forms the basis for printing of color photographs and illustrations in magazines by a 'subtractive' process called color-separation. The original colored illustration, when photographed through a series of three filters, is initially separated into three negatives which retain the relative amounts of the primaries cyan (blue), magenta (red) and yellow which compose it. When separation is done through a fine-mesh wire screen, this process breaks down the image into a pattern of fine, microscopic dots on each negative's surface. Larger-sized dots reflect a greater intensity of color. Individual metal plates produced from these three negatives transfer the array of dots in blue, red and yellow transparent inks to the paper on the printing press. Where different-colored dots overlap, the new colors arising from superimposition can duplicate any hue found in the original. In the final stage of the printing process, a black plate is added to accentuate depth and contrast in the color reproduction. The final "net" impression of color in the human eye arises from the combined effect of these colored dots which reflect light onto the color-sensitive cone-cell areas of the retina. A similar process by which individual dots of primary colors are excited on a screen is employed in the television tube. The top frame shows a color-separated negative comprised of thousands of microscopic yellow dots; the second, yellow plus blue; in the third, red is added; and in the fourth frame, black completes the picture. The bottom frame represents the microscopic composition of the final color reproduction.

À droite

Toute couleur est reproduite sur papier en partant de la combinaison des trois couleurs fondamentales qui la constituent. C'est un processus soustractif appelé séparation des couleurs. L'illustration en couleur à reproduire est photographiée trois fois et utilisant trois filtres correspondant aux trois couleurs fondamentales, le cyan (bleu), le magenta (rouge) et le jaune. On obtient ainsi trois négatifs correspondant chacun à l'une de ces couleurs. Lorsque l'on utilise aussi, lors de la séparation des couleurs, une toile métallique à mailles fines, on obtient des points microscopiques à la surface de chaque négatif. Ces points sont d'autant plus grands que la couleur est intense. À l'aide de ces négatifs on fait trois plaques métalliques grâce auxquelles on peut transférer la vraie couleur sur papier si l'on utilise des encres transparentes bleues, rouges et jaunes. Si l'on veut accentuer la profondeur et le contraste on peut faire une passe supplémentaire en utilisant une plaque imprégnée d'encre noire. La perception des couleurs est possible grâce à la sensibilité des cônes et des bâtonnets de la rétine de l'oeil qui sont excités par la lumière réfléchie. Un processus semblable à base de points de couleurs fondamentales est utilisé sur les écrans de télévision. De haut en bas: le négatif constitué de milliers de points jaunes microscopiques puis, ce que l'on obtient en superposant successivement le bleu, le rouge et le noir. La dernière image donne le détail à l'échelle microscopique de la reproduction finale en couleur.



Étude des couleurs

les couleurs varie avec l'éclairage et avec la couleur du champ entourant les fenêtres. La configuration des sept couleurs, après chaque essai, représente une portion du profil bidimensionnel de l'espace de réception des couleurs de l'observateur.

Le Dr Wyszecki nous a expliqué: "Pour construire une représentation de l'espace des couleurs, il faut pouvoir disposer d'un certain nombre d'observateurs et il faut contrôler les différents paramètres qui influencent leur jugement. Ainsi, par exemple, la dimension des couleurs joue un rôle ainsi que leur séparation et l'intensité lumineuse dont on dispose. Certains facteurs comme le type d'environnement et le fait que l'on regarde les couleurs dans le noir, à la lumière blanche ou à la lumière grise, sont aussi importants et ils n'ont pas encore fait l'objet d'une étude complète. Evidemment les relations sont très complexes".

Une fois que la possibilité, par l'oeil humain, de différencier entre les couleurs aura été exprimée mathématiquement, des colorimètres différentiels améliorés pourront être construits pour l'industrie. Le langage utilisé en colorimétrie, et en particulier celui qui sert à mesurer les différences entre les couleurs, pourra alors être le même pour tous.

Le Dr Wyszecki a ajouté: "Notre but est de donner deux choses à l'industrie: l'une est la possibilité de mesurer toute couleur en fonction des trois coordonnées X, Y, Z, et l'autre se rapporte aux différences nécessitant une formule telle que la formule du ΔE qui permet de mesurer la distance entre deux couleurs dans un espace uniforme obtenu en faisant une transformation des coordonnées X, Y, Z. Avec ces outils, c'est-à-dire les valeurs de X, Y, Z et la formule du ΔE , l'industrie aurait un système complet de colorimétrie et pourrait ainsi spécifier exactement les couleurs en termes bien définis et en préciser les tolérances".

Un colorimètre bien étalonné peut permettre au fabricant de savoir de combien les couleurs obtenues s'éloignent de l'étalon. Ultérieurement, l'utilisation d'ordinateurs pourrait peut-être permettre au colorimètre de contrôler les machines pendant les fabrications tout en empêchant les couleurs de varier au-delà des limites prescrites.

Le programme de recherche de la section de l'optique des radiations comporte des études dans d'autres domaines connexes. L'une se rapporte à l'appariage et les chercheurs procèdent à des essais pour évaluer la précision des observateurs lorsqu'ils comparent des couleurs dans différentes conditions.

Les lois fondamentales permettant de comparer des couleurs ont été formulées par Grassmann en 1853. Selon ces lois, trois coordonnées sont nécessaires et suffisantes pour définir toute couleur. Un autre principe selon lequel les lumières de même couleur produisent des effets identiques dans des mélanges, quelle que soit leur composition spectrale, forme la base de toute la colorimétrie moderne. Les principes établis par Grassmann étaient, pensait-on, valables d'un bout à l'autre de la gamme entière des niveaux de lumière. Dans la gamme modérée employée dans la plupart des cas en colorimétrie, ces lois sont très valables mais il se peut qu'elles ne le soient pas dans certaines autres conditions.

Le Dr Wyszecki nous a dit: "Les lois fondamentales ont été établies il y a plus de cent ans mais elles ne sont pas valides dans toute la gamme de la vision et des intensités lumineuses. En effet, des phénomènes à l'intérieur de l'oeil et le long du nerf optique interfèrent avec le modèle simple de la vision des couleurs selon les lois de Grassmann".

Depuis 1970, M. G.H. Fielder, de la section de l'optique des radiations, a fait des essais sur des observateurs pour déterminer leur aptitude d'appariage des couleurs dans différentes conditions et à l'aide du trichromateur dont il n'existe que trois exemplaires dans le monde.

Ces observateurs doivent trouver exactement la couleur d'une couleur adjacente en faisant varier les intensités de trois couleurs fondamentales. Les lumières produites par ces trois couleurs fondamentales, c'est-à-dire par le rouge, le vert et le bleu, dont on fait varier indépendamment l'intensité s'ajoutent pour donner la couleur d'appariage selon l'observateur en question.

La plus grande partie des études sur la vision des couleurs se fait avec des champs colorés de deux ou de dix degrés d'ouverture. Dans un champ visuel de deux degrés, c'est-à-dire un champ ayant la dimension approximative d'une pièce de 10 cents tenue à bout de bras, l'image est focalisée directement sur la fovéa à l'intérieur de l'oeil de l'observateur. La fovéa est une petite surface au centre de la rétine ayant la sensibilité maximum à la couleur. Une sorte de griffe spécialement construite pour chaque observateur permet de s'assurer que la position de la tête ne change pas au cours des essais et que la lumière qui entre dans l'oeil au centre de la pupille arrive sur la fovéa. En augmentant les dimensions du champ observé et l'intensité de la lumière, les chercheurs peuvent tester la gamme de validité des lois de Grassmann.

Le Dr Wyszecki nous a expliqué que: "Ces domaines sont intéressants si l'on veut progresser dans les recherches fondamentales sur la vision. En outre, ces travaux définissent aussi le domaine de validité de notre colorimétrie. Dans de nombreux cas, il faut regarder dans un environnement très brillant et il existe aussi des situations où l'éclairage est très atténué. Il serait souhaitable de trouver une méthode standard de définition des couleurs pour ces cas-là".

Dans des conditions de lumière variable, l'oeil utilise différents mécanismes pour percevoir les couleurs. Des cellules réceptrices, appelées bâtonnets, sont suffisamment sensibles pour réagir sous l'action de très petites quantités d'énergie lumineuse comme c'est le cas la nuit au clair de lune, mais elles n'enregistrent que les couleurs neutres comme le blanc, le gris ou le noir. D'un autre côté, d'autres cellules appelées cônes sont plus sensibles que les bâtonnets lorsque les intensités lumineuses sont plus élevées comme c'est le cas de jour; ce sont elles qui assurent la perception des couleurs. Pour les intensités lumineuses intermédiaires, comme c'est le cas au crépuscule, les bâtonnets et les cônes contribuent d'une manière variable de sorte que notre jugement des couleurs peut devenir peu sûr. Certains produits fabriqués doivent être évalués dans ces dernières conditions car ils doivent être utilisés en lumière atténuée. On fait donc des essais sur des observateurs pour déterminer jusqu'à quel point ces personnes peuvent identifier des couleurs identiques, dans ces conditions variables, d'un bout à l'autre du spectre visible dont les longueurs d'ondes vont du violet au rouge, c'est-à-dire de 380 à 770 nanomètres.

La Société canadienne pour la couleur dans les arts, l'industrie et la science a été fondée en 1972 par le Dr Wyszecki qui en a alors été élu président. Cette association officielle a pour mission d'être un centre de communications et une tribune en faveur des artistes, des agents de publicité, des ingénieurs et des scientifiques intéressés aux nombreux aspects de la couleur dans notre vie quotidienne. □

NRC aids Canadian company — Electrochemical oxygen sensor

Research being conducted by a team of scientists at the University of Toronto is helping a Canadian manufacturing company involved in the production of electrochemical oxygen probes, devices which play a vital part in the manufacture of steel. Operating under a Special Project Grant of \$147,000 from the National Research Council of Canada, the team, headed by Dr. C.B. Alcock, Chairman of the University's Department of Metallurgy and Materials Science, steadily has been devising improvements to the probe since early in 1971.

The work already has solved many of the problems which beset the devices since they were first introduced on an industrial scale in 1970. The University researchers are working in collaboration with Leigh Instruments Limited, and its member manufacturing company, Quality Hermetics Limited, of Toronto. Major Canadian companies who use the probes include the Steel Company of Canada Limited (Stelco), Dominion Foundries and Steel Limited (Dofasco) and Algoma Steel. Japanese steel manufacturers also have displayed great interest in the probes.

In order to understand and appreciate the importance of electrochemical oxygen probes, one must understand the basic processes which are involved in the production of steel. First, the molten pig iron which is produced in blast furnaces is poured into a basic oxygen furnace where oxygen is introduced through a lance to oxidize the carbon, along with the other elements contained in the pig iron, such as silicon, manganese, sulphur and phosphorus. Pig iron contains about four per cent carbon which must generally be reduced to less than one per cent in the production of steel. At this stage, knowledge of the oxygen activity gives a reasonable indication of the carbon content. After the oxidation process, the steel has a high oxygen content which must be lowered prior to solidification, usually by the addition of metals such as elemental aluminum, silicon or manganese. The final oxygen content is important since, to a large extent, it controls the structure of the steel cast from the molten metal.

Much of the steel production used to be carried out in open-hearth furnaces, a process which took anywhere from eight to 12 hours. Oxygen content then was monitored by removing a sample of the liquid steel which was cooled and taken to a laboratory for analysis. This rather lengthy procedure is unsatisfactory for basic oxygen furnace steel production which requires only about 45 minutes for a 100-to 200-ton batch, and a means of rapidly determining the oxygen content of the liquid steel is essential. The electrochemical oxygen probe being studied at the University of Toronto is filling this need. After insertion into the liquid steel, the probe takes five to six seconds to achieve thermal equilibrium and then provides an accurate and stable reading of the oxygen content for a further four to five seconds.

Team member Dr. Tom Etsell says of the operation of the device: "An electrochemical probe works on the same principle as an ordinary dry cell, the only difference being that instead of two different chemicals at the electrodes, the same chemical is present but at two different pressures. This creates an EMF (electromotive force or voltage) which is directly proportional to the difference in oxygen activities at the electrodes. Therefore, when the EMF is measured and the oxygen activity at one electrode and the temperature are known, the oxygen activity at the other can be easily calculated."

"In essence, we are establishing two different oxygen levels at the ends of the ceramic electrolyte and measure this



Many oxygen probes have been introduced into small induction furnaces during an extensive testing program conducted by researchers at the University of Toronto. The tests have been carried out at the Ontario Research Foundation and also at the Department of Energy, Mines and Resources in Ottawa. • De nombreuses sondes à oxygène ont été introduites dans de petits fours à induction, selon les directives données par l'Université de Toronto, au cours d'un programme d'essais étendu. La "Ontario Research Foundation" et le Ministère de l'énergie, des mines et des ressources, à Ottawa, ont fait les essais.

difference in the form of an electromotive force. We know what one level is, and we can calculate the other level from the measured voltage difference," says Dr. Susan Zador, another member of the research team.

The probe itself, in manufactured form, is several feet long so it can be dipped into the liquid steel at 1600 degrees Centigrade. The actual sensor consists of an oxygen concentration cell involving an oxide ceramic electrolyte and a reference electrode of known oxygen potential. This cell, the main component of the probe, includes a piece of Vycor glass fused onto a stabilized zirconia electrolyte pellet in the shape of a cylinder, 2.8 millimeters (0.11 inch) in diameter and five millimeters (0.197 inch) long. The end inside the Vycor tube contains a small hole into which a platinum bead welded to a platinum wire is pressed to form the lead wire for the reference electrode. The outer lead for the probe is an iron tube separated from the Vycor by a ceramic insulator insert, the circuit being completed through the liquid steel. The leads are simply connected to a potentiometer, from which the oxygen readings are obtained, and a recorder.

The probe has a life span in the liquid steel environment

Le CNRC aide une compagnie canadienne

La sonde électrochimique à oxygène

Des recherches conduites par une équipe de chercheurs de l'Université de Toronto viennent en aide à une compagnie canadienne fabriquant des sondes électrochimiques pour mesurer la teneur en oxygène des aciers au cours de leur élaboration. Cette équipe bénéficie d'une subvention pour projets spéciaux de 147 000 dollars du Conseil national de recherches du Canada. Elle est dirigée par le Dr C.B. Alcock, chef du Département de métallurgie et des matériaux de l'université et elle étudie, depuis le début de 1971, les améliorations à apporter à cette sonde dont le rôle est considéré comme vital.

Grâce à ces travaux, on a déjà pu améliorer les sondes produites à l'échelle industrielle depuis 1970. Les chercheurs travaillent en collaboration avec la compagnie "Leigh Instruments Limited" et avec une autre compagnie associée, la "Quality Hermetics Limited", de Toronto. Parmi les nombreuses compagnies canadiennes importantes qui se servent de cette sonde, on trouve la "Steel Company of Canada Limited" (Stelco), la "Dominion Foundries and Steel Limited (Dofasco)" et la "Algoma Steel". Les aciéries Japonaises s'intéressent aussi beaucoup à ces sondes.

Afin de comprendre et d'apprécier l'importance des sondes électrochimiques de mesure de l'oxygène, il est nécessaire de savoir comment on fabrique de l'acier. La fonte produite est d'abord versée dans un four où l'on injecte de l'oxygène à l'aide d'une tuyère afin de réduire le carbone et les autres éléments comme la silice, le manganèse, le soufre et le phosphore. La fonte contient environ 4% de carbone et cette proportion doit être réduite généralement à moins de 1% si l'on veut obtenir de l'acier. Il est donc essentiel de connaître la proportion de carbone restant dans le matériau en fusion. Après avoir éliminé le carbone en excès en le faisant brûler, on trouve que l'acier contient trop d'oxygène qu'il faut alors éliminer avant la solidification. On y parvient en ajoutant des métaux comme l'aluminium, le silicium ou le manganèse. La proportion finale d'oxygène est importante puisque, dans une large mesure, c'est cet oxygène qui détermine la structure de l'acier coulé.

A researcher's hand provides perspective for the size of the electrolyte pellet and the Vycor glass used in the manufactured probes.

• Photographie illustrant les dimensions de l'électrolyte et du tube de Vycor.



Jusqu'à ces derniers temps, on a obtenu une grande proportion des aciers en se servant de fours ouverts ce qui prend de 8 à 12 heures. On a déterminé la teneur en oxygène par l'analyse en laboratoire d'un échantillon de l'acier liquide mais, à notre époque, cette méthode est devenue trop lente car les fours modernes sont alimentés en oxygène pur et l'oxydation ne dure que 45 minutes environ pour produire 100 à 200 tonnes d'acier. Il est donc essentiel de disposer de sondes permettant de déterminer rapidement la teneur en oxygène. La sonde de l'Université de Toronto a été étudiée dans ce but; après cinq à six secondes d'immersion dans l'acier liquide, il y a équilibre thermique et l'on peut lire avec précision quatre à cinq secondes plus tard la teneur en oxygène.

Le Dr Tom Etsell, membre de l'équipe de chercheurs, nous a dit: "Une sonde électrochimique fonctionne comme une pile sèche ordinaire, la seule différence étant que les électrodes sont de même nature chimique mais à des pressions différentes. On obtient ainsi une différence de potentiel, ou tension électrique, qui est proportionnelle à la différence de teneur en oxygène sur les électrodes. Donc, lorsque une tension est mesurée et que l'on connaît la température et l'évolution de la teneur en oxygène sur une électrode, il est possible de calculer facilement le pourcentage en oxygène sur l'autre électrode".

"Nous établissons donc essentiellement deux niveaux différents d'oxygène entre les extrémités de l'électrolyte en céramique et la mesure de cette différence se fait sous la forme d'une tension", nous a dit le Dr Susan Zador, autre membre de l'équipe de chercheurs.

La sonde fabriquée en série comprend une tige de plusieurs pieds de longueur, munie d'une tête sensible à l'extrémité qui est plongée dans l'acier liquide à 1 600°C. La tête sensible, c'est-à-dire le capteur, comporte un oxyde résistant aux très hautes températures et jouant le rôle d'électrolyte, une électrode de référence dont le potentiel en oxygène est connu et un tube en verre "Vycor" fondu sur lequel est fixé l'électrolyte stabilisé au zircone et ayant la forme d'un petit bloc cylindrique de 2,8 millimètres de diamètre et de cinq millimètres de longueur. L'extrémité à l'intérieur du tube est percée d'un petit trou sur lequel est fixée une bille de platine soudée à un fil de platine pour constituer le "fil" électrique de l'électrode de référence. L'autre "fil" de la sonde est un tube en fer séparé du tube en Vycor par un isolant en céramique. Le circuit est fermé par l'acier liquide lors de l'immersion. Les "fils" sont tout simplement reliés à un potentiomètre gradué en pourcentages d'oxygène et à un enregistreur.

La sonde a une endurance d'environ 15 secondes. Une coiffe mince, qui recouvre l'électrolyte pour le protéger au moment de l'immersion dans l'acier liquide, brûle en deux ou trois secondes ce qui met l'électrolyte en contact avec l'acier liquide. Pendant les cinq à six secondes suivantes le capteur s'échauffe et la tension est stable lorsque l'équilibre thermique est atteint. On obtient alors une détermination sûre et précise du pourcentage d'oxygène dans l'acier. La durée pendant laquelle la lecture est constante est déterminée plus par l'endurance du matériau de protection de la sonde que par celle de la tête sensible. Des essais comparatifs étendus faits par la "Ontario Research Foundation" et par le Ministère fédéral de l'énergie, des mines et des ressources ont montré que la sonde est sûre et précise. Il existe d'autres sondes électrochimiques à oxygène sur le marché; leur principe de fonctionnement est le même mais la teneur en oxygène de l'électrode de référence est différente.

oxygen sensor

of about 15 seconds. A thin cap covers the electrolyte pellet to protect it as it passes into the liquid steel. The cap burns off in two to three seconds, and the steel floods in around the outer surface of the pellet. For the next five to six seconds, the cell heats to the steel temperature but, until thermal equilibrium is reached, the voltage fluctuates. Finally, it adopts a steady value which enables an accurate and reliable determination to be made of the oxygen content of the steel. The duration of this steady reading is determined by the life span of the protective hardware in the probe, rather than that of the cell itself. Extensive testing at the Ontario Research Foundation, by comparing probe results with those obtained by laboratory analysis on samples of steel taken simultaneously, has proved the probe's reliability and accuracy. The probes have also performed well in testing conducted at the federal Department of Energy, Mines and Resources. There are a few other commercially produced electrochemical oxygen probes using the same principle, but different reference oxygen potentials.

Numerous problems involving manufacturing and application, reference electrodes and ceramic materials have surrounded the project since the research team started to improve probes already being manufactured by Leigh Instruments Limited, and devise new ones.

It has been found that cracks often appear either during or sometimes after production in both the Vycor and the ceramic oxide electrolyte; in the course of production, one end of the Vycor tube is melted and collapsed onto the electrolyte, thus providing a seal; the temperature is raised for this operation to about 1600 degrees Centigrade after which the assembly is allowed to cool. High stresses are set up due to the large difference in the thermal expansion coefficients in the tube. Photoelastic measurements of the strain present in the glass after various subsequent heat treatments have pointed the way to a solution. If, instead of allowing the completed unit to cool, a temperature of about 850 degrees Centigrade is maintained for a number of hours, significant stress relief is realized under laboratory conditions. This study will soon be continued in field trials of the new sealing process under actual manufacturing conditions.

Dr. Alcock stresses the importance of such mission-oriented research and industrial involvement for university researchers.

"There are many problems which crop up that the scientist, left alone in his laboratory, would never look at. It's the interaction between the need to produce and the need for fundamental information in certain areas that he has to serve, which makes the difference. Mission-oriented research has to be the result of a dialogue (between scientists and their industrial counterparts). It is a closed loop, a process of negative feedback which straightens everything out. Without it, I think mission-oriented research is a waste of time."

As an example of successful collaboration between industry and scientist, Dr. Alcock cites the case of the electrochemical oxygen probe and the subtlety of its original application.

"The industrialist wants to get things going and into production. He therefore takes shortcuts, which in one context he gets away with, but as soon as he tries to apply the thing to something else, it won't work anymore."

Such was the case with the oxygen probe, which had been specifically designed to operate in liquid steel at about 1600 degrees Centigrade. Attempts were made to use the probe in

a copper refining furnace at about 1200 degrees Centigrade; however, the Vycor cracked. It was found that the cracks appearing in the glass, described earlier, were eliminated in a steel bath as Vycor softens above 1500 degrees Centigrade. However, the glass remained brittle at the lower temperature in a copper furnace so that the strain present caused it to crack severely and break away from the ceramic oxide plug.

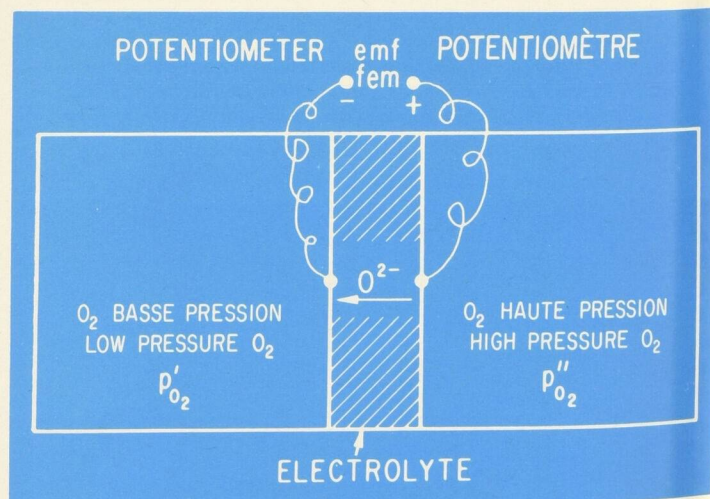
Other problem areas which have been investigated by the team of scientists of the University of Toronto include oxygen permeability through the electrolytes and the reasons for its occurrence. Inaccurate readings in steel with high oxygen contents also have caused concern, and reasons for this limitation in existing probes have been identified as cracking of the electrolyte combined with chemical interaction of components of the probe with the steel bath.

In new areas of research, the quest for alternate and better reference electrodes has resulted in thermodynamic studies on oxides of molybdenum and vanadium. Thermoelectric power measurements are now being conducted in the hope of developing a non-isothermal probe, that is, one with a long life span in a liquid steel environment which would provide continuous readings.

The effect of the amounts, distribution and nature of phases and pores in ceramic electrolytes on thermal shock resistance after plunging the probe into liquid steel is being investigated, with results that support findings of other workers that some ceramic mixtures have a structure which provides an internal cushioning effect during thermal shock. Preparative techniques for improved electrolyte materials and their electrical and thermal properties are also being extensively studied.

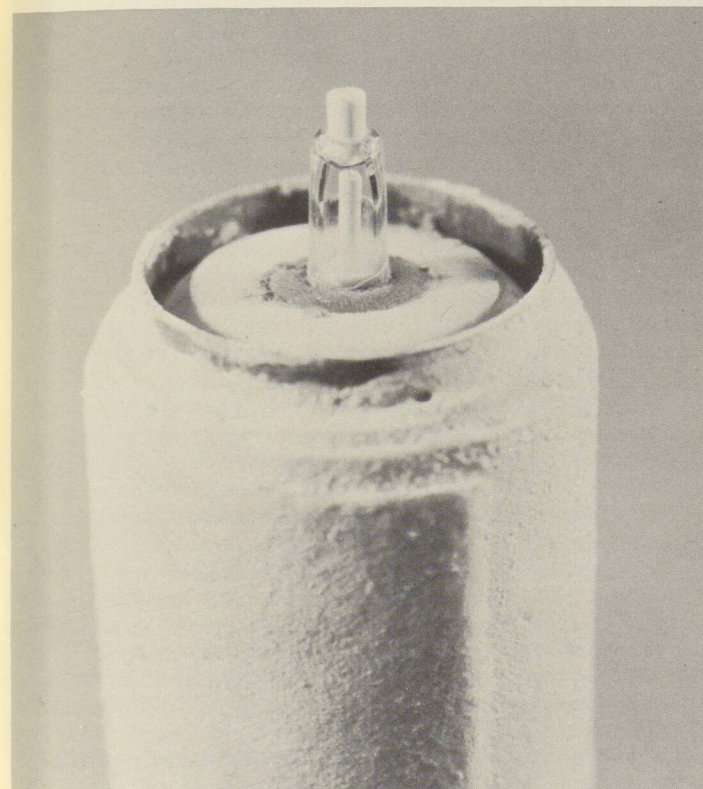
"The first two years of the program were really spent doing very basic research and checking figures already in the literature," says Dr. Alcock. "Now we're getting somewhere and, with collaboration from industry, we have a probe that can be relied upon." □

David Smithers



A simple diagram showing the method of operation of the electrochemical oxygen probe devised with National Research Council assistance by a team of researchers at the University of Toronto and manufactured by Quality Hermetics Limited. • Schéma de fonctionnement de la sonde à oxygène d'un groupe de chercheurs de l'Université de Toronto aidés par le CNRC. Cette sonde est fabriquée par la compagnie "Quality Hermetics Limited".

La sonde à oxygène



A closeup view of the electrochemical oxygen probe as it is manufactured by Quality Hermetics Limited. The small stabilized zirconia pellet can be seen in the tip of the piece of Vycor glass which protrudes from the probe. • Extrémité de la sonde fabriquée par la compagnie "Quality Hermetics Limited". Grâce à l'agrandissement, on voit clairement le petit cylindre de zircone fixé au sommet du tube de verre Vycor.

Pour améliorer ces sondes, fabriquées par la compagnie "Leigh Instruments Limited" et pour en étudier de nouvelles, il a fallu s'attaquer à de nouveaux problèmes se rapportant aux fabrications, aux applications, aux électrodes de référence et aux céramiques.

On a trouvé notamment qu'il se produisait souvent des fissures dans le tube en Vycor et dans l'électrolyte au zircone durant ou après la fabrication. Il est à noter que le joint entre le tube en Vycor et l'électrolyte est obtenu par fusion vers 1 600°C, ce qui donne de fortes contraintes dans le tube au refroidissement en raison de la grande différence entre les coefficients de dilatation des matériaux. Des mesures photo-élastométriques des déformations du verre après différents traitements à chaud ont montré comment résoudre le problème. Si, au lieu de laisser l'ensemble se refroidir complètement, on le maintient à une température d'environ 850°C pendant plusieurs heures, on s'aperçoit que, dans des conditions de laboratoire, les contraintes sont moindres et s'égalisent plus facilement au cours du refroidissement. Cette étude va être continuée lors de l'utilisation du nouveau joint en service.

Le Dr Alcock a mis en relief l'importance, pour les chercheurs universitaires, des recherches orientées de ce type faites en coopération avec l'industrie.

Il nous a dit: "Le chercheur n'essaierait pas de résoudre de nombreux problèmes si on le laissait seul dans son laboratoire car il n'éprouverait pas le besoin de se procurer des informations fondamentales dans certains domaines du fait que ses recherches ne seraient pas liées au besoin de produire à l'échelle industrielle. La recherche orientée doit être le résultat d'un dialogue entre le chercheur et ses collègues ingénieurs dans l'industrie. On peut considérer ces chercheurs et ces ingénieurs comme formant un système à boucle fermée grâce auquel on peut réussir et sans lequel la recherche orientée serait une perte de temps".

Comme exemple de collaboration réussie entre les ingénieurs industriels et les chercheurs, le Dr Alcock rappelle les pièges que l'on peut rencontrer lorsque l'on s'écarte de l'application prévue à l'origine comme cela a été le cas avec cette sonde électrochimique à oxygène. Écoutons-le:

"Les industriels veulent que tout marche bien et que l'on produise. Ils essayent donc toujours de prendre les voies les plus courtes pour atteindre leur objectif ce qui les conduit parfois à un échec car un instrument donné prévu pour une certaine utilisation n'est pas toujours applicable à d'autres domaines".

C'est le cas de cette sonde à oxygène conçue tout spécialement pour travailler dans de l'acier liquide vers 1 600°C et qui n'a pas donné de bons résultats lorsque l'on a essayé de s'en servir dans des fours de raffinage du cuivre vers 1 200°C. Comme le tube de Vycor éclatait, on a fait des recherches et l'on a trouvé que les fissures dans le verre, décrites plus haut, n'apparaissent pas dans un bain d'acier du fait que le tube de Vycor se ramollit au-dessus de 1 500°C. Par contre, dans le four de raffinage du cuivre, à température inférieure, il n'y a pas ramollissement et des contraintes excessives naissent dans le verre, le font éclater et, de ce fait, se détacher du zircone.

Les chercheurs de l'Université de Toronto ont étudié d'autres domaines comme la perméabilité de l'électrolyte à l'oxygène et les causes de mesures fausses dans l'acier à fort pourcentage d'oxygène. On a trouvé que l'électrolyte se fissurait et qu'il existait une interaction chimique des composantes de la sonde avec le bain d'acier fondu.

On a fait aussi des recherches pour trouver de meilleures électrodes de référence ce qui a conduit à faire des études thermodynamiques des oxydes de molybdène et de vanadium. Des mesures de la puissance thermo-électrique se font actuellement dans l'espoir de mettre au point une sonde non isotherme de longue endurance dans l'acier liquide et à lecture continue.

L'influence du nombre de phases et des pores, de leurs répartitions et de leur nature, dans les électrolytes céramiques, sur la résistance aux chocs thermiques est actuellement à l'étude et les résultats déjà obtenus, confirmés d'ailleurs par d'autres chercheurs, montrent que certains mélanges de céramiques ont une structure qui amortit les effets des chocs thermiques. On étudie également des techniques de préparation et les propriétés électriques et thermiques de meilleurs matériaux pour les électrolytes.

Le Dr Alcock a terminé en disant: "Les deux premières années du programme ont été vraiment passées à faire des études très fondamentales et à vérifier des résultats numériques mentionnés par des collègues. Maintenant, nous atteignons notre but et, en collaboration avec l'industrie, nous avons maintenant une sonde sur laquelle nous pouvons compter". □

Communicating research results — The Canadian Journals of Research



What is a referee?

To the sports enthusiast — the recognized authority in administering the rules of a football, hockey or baseball game. But to the scientist or engineer?

Though they are never provided with any information as to the person's identity, the referee, in their case, fulfills somewhat the same function. When a scientist or engineer completes a research project, the results must be communicated to the scientific community at large, unless these results are of a proprietorial nature, as is often the case in industrial research. In order to do this, a paper is written and sent to an editor who, in turn, sends it to a referee. The referee is an authority in the area of the subject matter and makes an assessment of the paper's suitability for publication. Is it truly an original work? Does it really contribute something new to knowledge?

"Publication is an integral part of scientific research," says Dr. Claude Bishop, Editor-in-Chief of the eleven Canadian Journals of Research published by the National Research Council of Canada. "A person could have performed the finest piece of research in the world, but if nobody else knows about it, it is not a contribution to knowledge. It becomes so only when it is published and made available to the rest of the scientific community to use, examine, or assess its validity."

Initially, the few scientists in the world — Copernicus, Galileo, Newton — communicated their results to each other by private letter. As more and more people became involved in science and scientific research, the need to communicate results was felt more broadly. The private letter was followed by informal gatherings, these gatherings eventually leading to the formation of scientific societies.

The oldest scientific society in Great Britain, and perhaps one of the oldest in Europe, is the Royal Society, usually considered to have been founded in 1660. But as early as 1645, weekly meetings took place in London of "divers worthy

persons, inquisitive into natural philosophy and other parts of human learning, and particularly of what hath been called the New Philosophy or Experimental Philosophy."

The correspondence which was maintained with continental philosophers at this early stage was an important part of the Society's work and selections from it formed the beginnings of "Philosophical Transactions: Giving an Account of the Undertakings, Studies and Labours of the Ingenious in Many Considerable Parts of the World." The first edition contained volumes 1 to 3, 1665 to 1668. A diverse range of subjects was covered by the Transactions: "Of a peculiar lead-ore of Germany, and the use thereof"; "A spot in one of the belts of Jupiter"; "The motion of the late comet predicted," and in 1780, a paper on the verification that Mozart was indeed a child prodigy.

Traditionally then, societies (the Royal Society in England, the Académie des Sciences in France, and similar bodies even earlier in Italy) established their own periodical literature and, in addition, provided some financial assistance for experiments — all of which speeded up the collation and communication of scientific results.

In Canada, however, scientific societies were (and to a great extent still are) too small to provide financial support for a publication program that is competitive internationally. Canadians were largely dependent upon foreign journals, already overcrowded as a result of the activities of their own scientific people. This situation resulted not only in delaying the publication of Canadian scientific papers, but also in loss of credit to Canada for the research work covered by papers published in foreign journals.

"I have been hoping that we could get enough forward with the research organization in Canada that a nucleus of publication work could be begun," stated Dr. H.M. Tory, founder and first president of the National Research Council of Canada, in 1925.

Four years later, in 1929, NRC established a national journal devoted exclusively to the publication of research papers. This first journal was called The Canadian Journal of Research.

"This Journal . . . while it is intended primarily for the publication of results of work carried out under the auspices of the Council, either in its own laboratories or under assisted research grants and scholarships, will also be open for suitable papers from any Canadian research worker," stated Dr. Tory in his 1929 Annual Report.

The Journal continued as such until 1935, when it was divided into sections covering Botany, Chemistry, Physics, and Zoology. These sections became separate journals of their own in 1950. Two new sections to the Canadian Journal of Research — Medical Science, and Technology — were begun in 1944. The former grew into two journals, the Canadian Journal of Biochemistry and the Canadian Journal of Physiology and Pharmacology, both of which were established in 1964. The section on Technology attracted papers mainly in the area of chemical engineering and was turned over to the Chemical Institute of Canada in 1957. It has continued to be published by the Institute (with financial assistance from NRC) as the Canadian Journal of Chemical Engineering. The Canadian Journal of Microbiology was begun in 1954; the Canadian Journal of Earth Sciences in 1964, and the Canadian Journal of Forest Research in 1971. The Canadian Geotechnical Journal became part of the NRC series of primary journals in 1969, at the request of a group of soil engineers who had

Antennes des sciences au Canada

Les Journaux canadiens de la recherche

Qu'est-ce qu'un arbitre?

Pour le sportif, c'est la personne qui veille à l'observation des règles qui régissent les jeux de football, de hockey ou de baseball.

Mais pour le scientifique ou l'ingénieur?

Bien que son identité ne leur soit jamais révélée, l'arbitre, appelé examinateur, joue à peu près le même rôle. Lorsqu'un scientifique ou un ingénieur a achevé un travail de recherche, il doit en communiquer les résultats au monde scientifique. A moins que ses travaux soient protégés par la législation sur la propriété industrielle, comme c'est souvent le cas pour certaines recherches industrielles, il rédigera une communication qu'il enverra à un rédacteur qui, à son tour, la transmettra à un examinateur. Cet examinateur fait autorité dans la spécialité de l'auteur et indique au rédacteur si, à son avis, le contenu de cette communication en justifie la publication. S'agit-il véritablement d'un travail original? Apporte-t-il quelque chose de nouveau dans le domaine des connaissances?

Écoutons le Dr Claude Bishop, rédacteur-en-chef des onze journaux canadiens de la recherche scientifique, publiés par le Conseil national de recherches du Canada: "La publication fait partie intégrante de la recherche scientifique. En effet, à quoi cela servirait-il qu'un chercheur mène à bien des travaux égalés nulle part ailleurs dans le monde si personne n'en est informé. Ils ne pourront augmenter la somme des connaissances existantes que s'il les publie."

Jadis, Copernic, Galilée et Newton, parmi les quelques rares scientifiques d'alors, communiquaient leurs résultats par lettres personnelles. Avec l'accroissement du nombre des scientifiques et des chercheurs, la nécessité de communiquer les résultats de leur recherche est apparue de plus en plus urgente. La lettre personnelle a été alors remplacée par des réunions comme celles du Collège de France fondé en 1530 et où "les maîtres les plus éminents" . . . communiquent "les résultats qu'ils ont obtenus dans les recherches où ils se sont spécialisés". Ces réunions ont éventuellement conduit à la création de sociétés savantes.

La plus ancienne de celles-ci, en Grande-Bretagne, et peut-être l'une des plus anciennes d'Europe, est la "Royal Society" dont on fait généralement remonter la création à 1660. Mais, dès 1645, des réunions hebdomadaires de "diverses personnes de valeur s'intéressant à la philosophie naturelle et à d'autres éléments du savoir humain, et notamment à ce que l'on a appelé la Philosophie nouvelle ou la Philosophie expérimentale" avaient lieu à Londres.

La correspondance qu'elle entretenait, à ses débuts, avec les philosophes du continent européen constituait une partie importante des travaux de la Société et une sélection faite parmi cette correspondance a donné naissance à "Philosophical Transactions: Giving an Accompt of the Undertakings, Studies and Labours of the Ingenious in Many Considerable Parts of the World" (Comptes rendus sur les entreprises, les études et les travaux des chercheurs de nombreux pays). La première édition comprenant les volumes 1 à 3 couvrait les années 1665 à 1668 et des sujets aussi divers que: "D'un curieux minéral de plomb en Allemagne et de son utilisation"; "Une tache dans l'une des bandes de Jupiter"; "Prévisions du mouvement de la comète dernièrement découverte" et, en 1780, une communication apportant la preuve que Mozart était effectivement un enfant prodige.

Il était alors de tradition pour les sociétés savantes comme la Royal Society, en Angleterre, l'Académie des sciences, en France, et à une époque encore plus éloignée d'autres



organismes similaires en Italie, de créer leurs propres publications périodiques ainsi que de prévoir une certaine assistance financière pour les expériences. Toutes ces mesures ont permis d'accélérer le collationnement et la diffusion des résultats scientifiques.

Au Canada, au contraire, les sociétés savantes étaient (et sont encore dans une large mesure) trop petites pour financer un programme de publication pouvant soutenir la concurrence sur le plan international. Les Canadiens étaient largement tributaires des publications étrangères déjà surchargées. Cet état de choses a non seulement conduit à retarder la publication de communications scientifiques canadiennes mais il a aussi contribué à faire oublier que les travaux de recherche publiés par des journaux scientifiques étrangers étaient faits au Canada.

Le Dr H.M. Tory, fondateur et premier président du Conseil national de recherches du Canada, en 1925, nous a confié: "J'ai pensé que nous pourrions développer suffisamment l'organisation de la recherche au Canada pour réunir les éléments nous permettant d'assurer le lancement d'une première publication".

Quatre ans plus tard, en 1929, le C.N.R.C. créait un journal national consacré exclusivement à la publication des communications scientifiques: "The Canadian Journal of Research".

"Bien que l'objet principal de ce journal soit de publier les résultats de travaux exécutés sous les auspices du Conseil, dans ses propres laboratoires où grâce à des bourses ou subventions, il ouvrira également ses colonnes à tous les chercheurs canadiens qui soumettront une communication valable", écrivait le Dr Tory dans son rapport annuel de 1929.

La publication de ce journal devait continuer sous sa forme d'origine jusqu'en 1935, époque à laquelle il a été divisé en quatre sections couvrant la botanique, la chimie, la physique et la zoologie. Ces sections devaient, en 1950, constituer autant

published the journal since 1963. Two of the Journals (Chemistry and Physics) are published twice-monthly; two (Forest Research and Geotechnical) appear on a quarterly basis, and the rest are monthly publications.

"The evolution of the Journals may have the appearance of being a very 'ad hoc' and unplanned sequence," says Dr. Bishop, "but consideration of the history of science in Canada shows that the development of the Journals reflects quite accurately the development of science in this country."

The Journals created in the last 20 years responded to demands from scientists in those fields. What then, one may ask, are the criteria that should be used in considering the initiation of a new journal?

First, the proposed journal should fill a gap in the existing literature. This gap can be at the international level, if there are few journals in the field, or at the national level if Canadian authors have difficult or limited access to journals published outside Canada. In either case, there must be sufficient activity to maintain a journal initially at the level of quarterly publication if it is to have any impact. A little known fact is that the mortality rate of scientific journals is some 33 to 40 per cent.

"If one assumes 15 papers per issue, 60 annually, and a normal rejection rate of 25 per cent, then it is clear," Dr. Bishop says, "that a minimum of 80 submissions per year would have to be guaranteed on a continuing basis before initiating a new journal. Such an output would represent some 40 to 60 researchers working actively in the field and prepared to support a new journal. Careful planning and firmly documented evidence of support are also required."

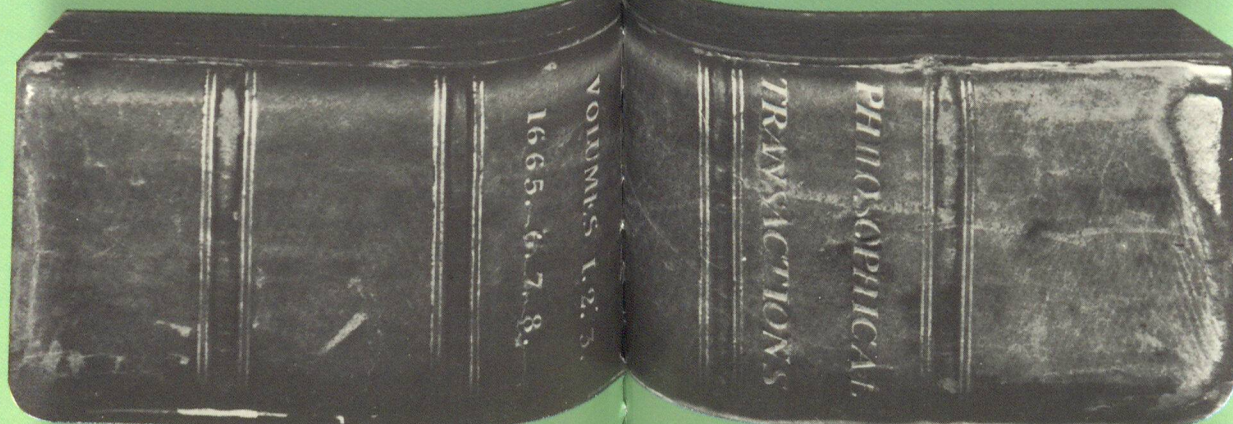
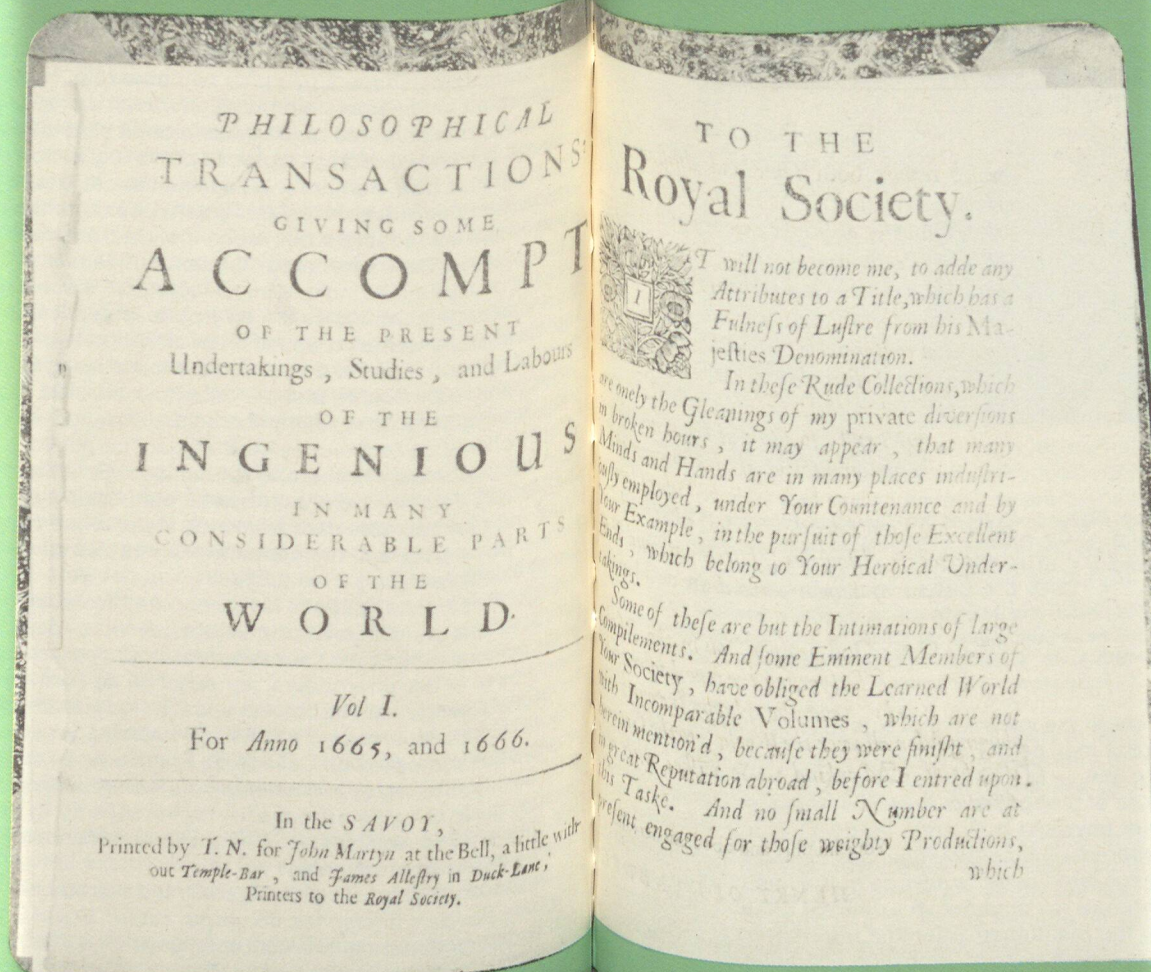
The Canadian Journal of Civil Engineering, being published for the first time in September, is a typical example. The recently-formed Canadian Society of Civil Engineering established a publications committee to investigate ways and means to best publish a journal. The Committee approached the Council in 1972.

"Out of the variety of options available to them — they could publish on their own; approach the Engineering Institute of Canada; or apply to NRC for a grant for financial assistance — they chose to ask NRC to publish it," says Dr. Bishop.

Budget for the Journals currently runs at \$1.65 million a year. Subscriptions, which range from \$5 for a personal copy of a quarterly journal, to \$48 for the multi-user of a semi-monthly publication, help to cover about 25 per cent of the cost. (The deficit is regarded as a justifiable expense on behalf of Canadian science and engineering. As most of the research published is funded by the federal government, it is logical that funds be provided to permit this very important phase of the research process).

The Journals are under the authority of Council. On a day-to-day basis they are under the direction of the Editor-in-Chief and the Manager. Policies arise from two sources: first, the Board of Scientific Editors, made up of the editors of each of the Journals, and second, an Advisory Committee consisting of people who have experience or a particular expertise in some facet of scientific publication. The former group is concerned with the scope of the journals, what type should be published, formats, and standards. The Advisory Committee deals with long-range policies — the initiation of a new journal, journal economics, new forms of publications, new printing methods and future trends.

Papers may come from any scientist or engineer in any part of the world, on any topic. NRC's Nobel Laureate, Dr. Gerhard



de journaux séparés. Deux nouvelles sections, l'une consacrée aux sciences médicales, l'autre à la technologie, ont été ajoutées au Journal canadien de la recherche scientifique à partir de 1944. La section consacrée aux sciences médicales devait donner naissance à deux journaux séparés: le Journal canadien de biochimie et le Journal canadien de physiologie et de pharmacologie qui ont été publiés pour la première fois en 1964. Ce sont surtout des communications touchant le domaine du génie chimique qui ont été soumises pour publication dans la section consacrée à la technologie dont la responsabilité a été confiée, en 1957, à l'Institut de Chimie du Canada. L'Institut continue à la publier sous le titre de Journal canadien de génie chimique. Le Journal canadien de microbiologie a été créé en 1954; le Journal canadien des sciences de la terre, en 1964, et le Journal canadien de la recherche forestière, en 1971. C'est en 1969, sur la demande d'un groupe d'ingénieurs des sols, qui en avait assuré la publication depuis 1963, que le Journal canadien de géotechnique a été inclus dans la série du C.N.R.C. des principaux journaux de recherche. Deux de ces journaux, ceux de chimie et de physique, sont bimensuels; deux autres, ceux de la recherche forestière et de géotechnique, sont trimestriels et tous les autres sont des mensuels. Écoutons le Dr Bishop: "A première vue cette évolution semble tout à fait fortuite mais un examen de l'histoire des sciences au Canada montre bien que l'apparition de ces publications reflète très précisément l'évolution des sciences dans ce pays".

Les journaux qui ont vu le jour au cours de ces vingt dernières années répondaient au souhait de scientifiques spécialistes des domaines couverts par ces publications. Quels sont alors, est-on en droit de se demander, les critères qui doivent présider à la création d'un nouveau journal?

En premier lieu, le journal envisagé doit combler une lacune parmi les publications existantes. Cette lacune peut apparaître au niveau international, s'il existe peu de revues dans la discipline considérée, ou au niveau national si les auteurs canadiens éprouvent des difficultés à se procurer des publications publiées à l'étranger. Dans l'un ou l'autre cas, les communications doivent être assez nombreuses pour justifier d'une périodicité trimestrielle initiale et d'un niveau assez élevé si l'on veut apporter une contribution certaine. Il n'est pas inutile en effet de rappeler que 33 à 40% des publications scientifiques disparaissent très vite.

Si l'on envisage de présenter 15 communications par numéro, soit 60 par année, et que le pourcentage des communications non retenues atteigne 25%, il apparaît immédiatement qu'il faudra être assuré d'en recevoir au minimum 80 par an pour être en mesure de lancer un nouveau journal. Une production de cet ordre implique la participation d'environ 40 à 60 chercheurs travaillant activement dans le domaine en question et prêts à contribuer au lancement d'un nouveau journal. Il est donc manifeste qu'une telle initiative doit être précédée d'une planification minutieuse et d'une garantie absolue de soutien.

On ne peut trouver de meilleur exemple pour illustrer notre propos que le Journal canadien de génie civil qui doit paraître pour la première fois en septembre. De création récente, la Société canadienne de génie civil a mis sur pied un Comité des publications chargé d'étudier quels sont les meilleurs moyens de publier un journal. Ce comité a pris contact avec le Conseil en 1972. Le Dr Bishop nous a dit: "Différentes options s'offraient à cette société: assurer ses propres publications;

Herzberg, publishes many of his papers in the Canadian Journal of Physics. Dr. A.D. Allen of the University of Toronto published one of the first papers on nitrogen fixation in the Canadian Journal of Chemistry; and Dr. Raymond Lemieux, the first scientist to synthesize sugar, publishes most of his results in the Journals. As soon as a paper is accepted for publication, it is forwarded to the Manager's Office to be copy-edited and sent on to the printer. Last year, 3,350 papers were submitted to the Journals with 2,423 being accepted for publication (including 1,866 Canadian papers). This represented a total of 18,321 printed pages.

Papers are published in the language in which they are submitted, that is, they may be published in either of Canada's two official languages.

"This has been the case since 1929 when the Journals were initiated," says Dr. Bishop. "As we were able to arrange adequate translation services over a period of time, abstracts of each paper in both languages also began to be published. Today, abstracts appear in all eleven Journals in both languages."

Because the success of any scientific journal vitally depends upon high standards, the scientific editor is the key person and his selection must be made with care. The scientific editors, who are responsible for setting and maintaining high standards, are chosen from the government, university or industrial sectors and take full responsibility for the scientific content of the Journals. They should have a sufficiently well established research record to command the respect of both authors and referees and should be presently active in research in the laboratory.

"This is important," says Dr. Bishop, "because with the speed at which science moves nowadays, anyone who is out of the laboratory for as little as six months, is 'out of touch'."

Present activity in laboratory research helps the editor to select reviewers and to be able to make assessments of the reviewer's remarks as they pertain to the manuscript.

"The third quality of a good editor," continues Dr. Bishop, "follows from the other two: if a person is a busy research worker and has been busy enough to produce a good research record, then that person will usually be well organized."

Diplomacy and tactfulness are additional qualities for the job.

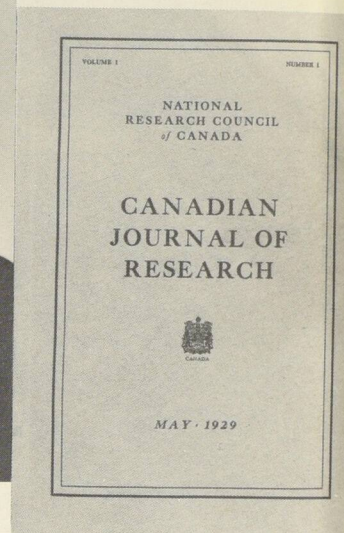
"In other words, the person has to be firm and stand by judgments made and be able to express these in a non-abrasive way," Dr. Bishop says. "And it helps to have a sense of humor."

"This combination of qualities is not so rare as might be supposed. The main difficulty in recruiting scientific editors seems to be that many active researchers are very jealous of demands on their time outside the laboratory. However, it is essential to the well-being and continuation of the Journals that such people be persuaded to serve a term as editor."

Although the editors serve without remuneration, the Journals budget does provide each with a secretary and the necessities for the operation of an office.

Over 21,600 copies of the Journals are distributed throughout the world each year, some 66 per cent of the subscriptions being from outside Canada. Circulation for individual journals is as large or larger than most well-established European journals and the Journals are covered by all abstracting and current awareness programs.

"Scientific knowledge is international," says Dr. Bishop, "so that when you are publishing a scientific paper, you are communicating the results not just to a national scientific



Dr. C.T. Bishop, Editor-in-Chief of the Canadian Journals of Research, and Associate Director, Division of Biological Sciences, NRC, with Volume 1, Number 1, of the Canadian Journal of Research, published in May, 1929. • Le Dr C.T. Bishop, rédacteur-en-chef des Journaux canadiens de la recherche scientifique et directeur associé de la Division des sciences biologiques du CNRC et une photographie du volume 1, numéro 1, du "Canadian Journal of Research", publié en mai 1929.

community but to the international scientific community. Work done in Canada may be of just as much use — in fact, may be of even more use — to a physicist who is working in the particular area of that paper in Australia, India, or France, as it is to another physicist in Canada. And so the Journals are part of the international communications network of science."

But perhaps even better evidence of the impact of the Canadian Journals is contained in a Journal Citation Report, published by the Institute of Scientific Information in Philadelphia. From a data base of almost 20,000 journals (which included any journal that was cited three or more times in the last quarter of 1969), the first 1,000 were ranked according to the total number of citations and then by what was called an impact factor — that is, the average number of citations per paper. The total number of citations for a particular journal were divided by the number of papers that were published in the journal. This eliminated the factor of the size of the journal (a journal which publishes 1,000 papers would naturally be expected to have more citations than a journal that publishes only 500).

"All of the Journals published by NRC ranked in the first 500 of the 1,000 journals that were rated," says Dr. Bishop. "Since the total data base was 20,000 journals, any that rank in the first 500 are in the top two-and-a-half per cent of the world scientific literature as ranked by citation."

"The Journals are certainly making a very valuable contribution to both the national and international scientific communities, justifying the wisdom of the policies evolved through NRC over the last 20 years, policies whereby Journals have always been under the continuing direction of active scientists." □

Joan Powers Rickerd

prendre contact avec l'Institut canadien des ingénieurs et, enfin, soumettre une demande d'aide financière au Comité de sélection des subventions du C.N.R.C. Elle a choisi de demander au C.N.R.C. de s'en charger".

Le budget annuel des journaux est actuellement de 1,65 million de dollars. Les abonnements qui s'échelonnent de 5 dollars l'exemplaire pour un journal trimestriel adressé nominativement, à 48 dollars pour un abonnement collectif à une publication bimensuelle, aident à couvrir environ 25% du prix de revient. Le déficit est considéré comme une dépense justifiée puisque ces journaux servent la cause des sciences et de la technique canadienne. Comme la majeure partie des travaux de recherche publiés est financée par le gouvernement fédéral, il est logique que des fonds soient dégagés pour soutenir cette dernière phase de la recherche.

Tout scientifique ou ingénieur, de n'importe quel pays, peut soumettre des communications sur n'importe quel sujet. Parmi les Canadiens, nous remarquons le Dr Gerhard Herzberg, Prix Nobel, qui publie un grand nombre de ses communications dans le Journal canadien de physique, le Dr A.D. Allen, de l'Université de Toronto, qui a publié dans le Journal canadien de chimie une des premières communications sur la fixation de l'azote et le Dr Raymond Lemieux, le premier scientifique ayant réussi à synthétiser le sucre et qui publie la plupart de ses résultats dans les Journaux. Les communications qui ont été retenues pour publication sont envoyées au bureau du directeur de la publication pour révision et ensuite à l'imprimeur. L'année dernière, 3 350 communications ont été soumises à la rédaction qui en a retenu 2 423 dont 1 866 communications canadiennes. L'ensemble représentait un total de 18 321 pages imprimées.

Les communications sont publiées dans la langue que l'auteur a utilisée pour la rédaction, c'est-à-dire qu'elles peuvent être publiées dans l'une ou l'autre des deux langues officielles du Canada.

"C'est la politique suivie depuis 1929, date de création des premiers Journaux. A mesure que nous avons pu faire traduire les textes, nous avons commencé à en publier les résumés dans les deux langues et c'est le cas aujourd'hui pour l'ensemble des résumés paraissant dans les onze Journaux", nous a dit le Dr Bishop.

Comme le succès de toute publication scientifique est basé sur le haut niveau des travaux publiés ce succès dépend, en fait, du rédacteur scientifique qui doit donc être soigneusement choisi. Les rédacteurs scientifiques à qui il revient d'établir et de faire respecter des normes qualitatives élevées sont choisis au sein du gouvernement, des universités ou de l'industrie et assument la pleine et entière responsabilité du contenu scientifique des Journaux. Ils doivent avoir une expérience confirmée de la recherche de sorte que leur jugement commande le respect des auteurs et des examinateurs et ils doivent également être activement engagés dans la recherche en laboratoire.

"Ce dernier point est important", nous dit le Dr Bishop, "parce que, avec la rapidité du développement des sciences de nos jours, un chercheur perd rapidement contact avec l'état de la recherche s'il n'a pas travaillé en laboratoire, ne serait-ce que pendant six mois".

Les recherches qui se font actuellement dans les laboratoires aident le rédacteur à sélectionner les examinateurs et à évaluer les remarques que ces derniers lui présentent après avoir lu le manuscrit. Écoutons encore le Dr Bishop:

"La troisième qualité d'un bon rédacteur découle des deux

premières: si un chercheur a beaucoup de travail et s'il en a eu suffisamment pour soumettre un bon dossier de recherches, il y a de fortes chances pour que ce chercheur sache bien s'organiser".

La diplomatie et le tact sont des qualités supplémentaires qu'il est bon d'avoir pour exécuter ce travail. "En d'autres mots, la personne en question doit être ferme et s'en tenir aux jugements exprimés et, enfin, être capable de les exprimer diplomatiquement. Il est également certain que les personnes qui ont beaucoup d'esprit réussiront mieux que les autres".

"Cet ensemble de qualités n'est pas aussi rare qu'on pourrait le penser. La principale difficulté rencontrée dans le recrutement de rédacteurs scientifiques semble se trouver dans le fait que nombre de chercheurs activement engagés dans la recherche sont très réticents lorsqu'il s'agit de consacrer le temps dont ils disposent à des travaux sortant du cadre de leur laboratoire".

Plus de 21 600 exemplaires des Journaux sont distribués dans le monde entier annuellement et quelque 66% des abonnements sont servis à l'étranger. Chacun de ces Journaux a une diffusion au moins égale à la plupart des journaux européens à la réputation bien établie et ils sont couverts par tous les programmes de publication de résumés et de collationnement des données les plus récentes. Citons encore le Dr Bishop: "La science est internationale et les travaux exécutés au Canada peuvent être tout aussi utiles et même plus utiles à un physicien travaillant dans le domaine particulier couvert par la communication, en Australie, en Inde, en Grande-Bretagne ou en France, qu'à un autre physicien canadien. C'est pourquoi les journaux font partie du réseau international de communications scientifiques."

Mais on trouvera peut-être la meilleure preuve de l'impact qu'ont les journaux canadiens dans le rapport publié par "l'Institute of Scientific Information", de Philadelphie, donnant une liste des journaux fréquemment cités dans la documentation scientifique. Partant de cette liste couvrant presque 20 000 revues comprenant tout journal ayant été cité au moins trois fois au cours du dernier trimestre de 1969, les 1 000 premiers journaux ont été classés en fonction du nombre de fois qu'ils ont été cités et également en fonction de ce qu'on a qualifié de facteur d'impact, c'est-à-dire du nombre moyen de citations par communication obtenu en divisant le nombre total de citations par le nombre de communications publiées dans le journal. Cette méthode a permis d'éliminer le facteur que constitue le nombre de pages du journal car il faut bien s'attendre à ce qu'un journal qui publie 1 000 communications soit cité plus fréquemment qu'un journal qui n'en publie que 500.

"Sur les 1 000 journaux qui ont été cotés, tous les journaux publiés par le C.N.R.C. se sont placés parmi les 500 premiers", nous a encore dit le Dr Bishop. Compte tenu du fait que la liste d'origine couvrait 20 000 journaux, tout journal qui se place dans les 500 premiers se situe dans les 2 1/2% de la documentation scientifique mondiale qui a été classée en fonction de la fréquence des citations.

"Ces journaux apportent certainement une contribution précieuse à la communauté scientifique nationale et internationale. On voit donc que la politique du C.N.R.C. au cours des vingt dernières années a été sage puisqu'il a toujours été fait en sorte que les journaux soient placés sous la direction continue de scientifiques activement engagés dans la recherche", nous a enfin dit le Dr. Bishop. □

A formulation for power - L'énergie, les mathématiques **Mathematics of the Fundy Tides et les marées de la baie de Fundy**

For centuries man has watched the ebb and flow of the tides and dreamed of tapping off the huge amounts of energy embodied in the moving mass of water. Although modern technology derives its hydraulic power almost exclusively from the damming of rivers and streams, the "tide mill" or paddle wheel driven by tidal waters has been used in Europe since antiquity. This ancient invention (the oldest known examples date back to 1100 A.D. in Britain and France) has been neglected in recent times as a means of securing power largely because of the difficulties involved in expanding the simple mill into a larger power plant operation; compared to river plants, the energy output is not only intermittent (dependent on the tides) but the problems of damming estuaries and building suitable turbines are technically more difficult. Until recently, electricity generated from dammed rivers or coal-driven thermal plants has been so cheap that the relatively high construction costs involved in tidal power development could not be economically justified. Apart from the tidal power plants at La Rance on the Brittany coast of France and in the Kislava inlet on the shore of the Soviet Union's White Sea, the tides have not been exploited as a source of energy.

However, with the increasing scarcity of fossil fuels and the exploitation of many of the best river sites for hydroelectric power generation, other sources of energy have taken on increased importance. Along with the energy derived from the wind, the sun, molecular hydrogen combustion, and nuclear fusion, the tides are being seriously considered as a possible power source to meet the needs of the future. In a time of ecological sensitivity, tidal power has two very attractive characteristics, neither of which are shared by fossil or nuclear fuels: it is a constantly renewable energy source, and no pollution arises from the generation procedure.

The structure of a tidal power plant takes the form of a dam or dike across an inlet with sluice gates and turbines spaced along its length. The simplest type of operation is to admit the rising tide through the sluice gates into the basin behind the barrier and close them at high tide; when the tide falls the water is then released through the turbines with the generation of electrical power. This is known as a "single-effect" operation. Using more sophisticated two-way turbines, power can be generated in both the ebb and flow periods of the tide. This "double effect" operation is currently being employed at the La Rance power plant in France.

Of the important sites in the world suitable for tidal power generation, several are located in Canada; examples are Ungava Bay in northern Quebec, Frobisher Bay and Cumberland Sound on Baffin Island, and the Bay of Fundy in the Maritimes, an arm of the Atlantic ocean separating New Brunswick and Nova Scotia. The Fundy tidal range, that is, the difference between successive high and low water marks, reaches a value of 53 feet in the Minas basin at the head of the Bay, making it one of the highest in the world. During the last 50 years, several schemes have been advanced to build tidal plants on Fundy, but except for one project by the Americans none have ever been attempted. During President

The Tidal Power Plant at La Rance, France. Situated in the Bay of St. Malo on the Atlantic Coast, this prototype plant is the only one of its kind in the world. The waters of the outgoing tide are shown passing through the power plant complex. • L'usine marémotrice de la Rance, en construction, dans la baie de Saint-Malo, en France. C'est un prototype unique au monde. Photo prise à marée basse lorsque le réservoir se vide dans la mer.



Pendant des siècles, l'homme a rêvé d'exploiter les marées pour obtenir d'énormes quantités d'énergie qu'il retire toutefois, de nos jours, surtout à l'aide de turbines placées en aval de barrages sur les rivières et sur les fleuves. Il est toutefois à noter que, en Europe, la roue à palettes a servi à exploiter les marées à petite échelle depuis l'antiquité. Cette vieille invention qui remonte à l'an 1100 environ, en Grande-Bretagne et en France, a été négligée ces derniers temps du fait qu'il est très difficile de passer de la roue à palettes à la centrale électrique moderne car les problèmes liés à la construction des barrages des estuaires et à celle des usines sont plus difficiles à résoudre que dans le cas des rivières et des fleuves. En outre, l'énergie des marées n'est convertie en énergie électrique que durant un certain nombre d'heures par jour. Jusqu'à ces derniers temps, l'électricité produite par les centrales hydro-électriques ou les centrales thermiques a été si bon marché que les coûts élevés de la construction d'usines marémotrices ne pouvaient pas être justifiés sur le plan économique. En dehors de l'usine marémotrice de la Rance, sur la côte de Bretagne, en France, et de celle de Kislava, sur la côte de la Mer Blanche, en Russie, on n'a pas vraiment cherché à exploiter les marées.

Toutefois, comme les combustibles fossiles vont devenir rares et que les meilleurs sites sur les rivières et les fleuves sont déjà aménagés pour produire de l'énergie hydroélectrique, les autres sources d'énergie ont pris de l'importance et c'est le cas des marées, du vent, du soleil, de la combustion de l'hydrogène moléculaire et de la fusion nucléaire. A une époque où l'opinion publique a été sensibilisée sur le plan écologique, l'énergie que l'on pourrait tirer des marées devient très intéressante ce qui n'est pas toujours le cas pour les combustibles fossiles et nucléaires; en outre, cette énergie est constamment renouvelable et ne donne aucune pollution.

Une usine marémotrice signifie qu'il faut construire un barrage ou des digues dans un endroit où les eaux des marées ne peuvent éviter de passer et d'y placer des turbines. L'exploitation la plus simple de ces usines consiste à laisser l'eau de la marée montante entrer dans le réservoir ainsi construit, à fermer les portes des sas à marée haute et à les ouvrir à marée basse. Ainsi, les eaux accumulées dans le réservoir à la marée montante font tourner les turbines en s'écoulant dans la mer à marée basse. C'est l'usine à "effet simple", mais on peut utiliser l'effet double, c'est-à-dire faire aussi tourner les turbines durant la marée montante comme dans le cas de l'usine marémotrice de la Rance, en France.

Plusieurs sites intéressants se trouvent au Canada et l'on peut citer la baie de l'Ungava dans le nord de la province de Québec, la baie de Frobisher et la passe de Cumberland dans l'île de Baffin et la baie de Fundy dans les provinces maritimes. Cette dernière baie est vraiment une partie de l'Océan Atlantique séparant le Nouveau-Brunswick de la Nouvelle-Écosse. Les marées y atteignent jusqu'à 53 pieds de hauteur dans le bassin Minas et sont parmi les plus hautes du monde. Au cours des 50 dernières années, on a étudié plusieurs projets visant à exploiter les marées de cette baie mais, à l'exception d'un projet établi par les Américains, rien n'a été construit. Durant le programme de grands travaux de 1933 lancé par le président Roosevelt pour donner du travail aux chômeurs, on avait commencé une construction sur la côte du Maine de la baie de Fundy, plus exactement à Passamaquoddy, mais les travaux ont été arrêtés faute d'argent. En 1969, une étude de

Roosevelt's make-work program in 1933, construction was started on the Maine coast of the Bay of Fundy (in Passamaquoddy Bay), but it was never completed because of a lack of funds. In 1969, a four-year study sponsored by the Canadian government in conjunction with the provinces of New Brunswick and Nova Scotia was published which examined all aspects of tidal power plant development in Fundy. The report of the Atlantic Tidal Power Programming Board (ATPPB) suggested the best sites for the plants to be built with predictions of the power output that could be expected from the project on completion. In view of the huge costs of construction, however, a sum that might run well in excess of a billion dollars, the project was not deemed economically feasible. (The report was drawn up before the sudden rise in the cost of fossil fuels in the early 1970's).

Because such large amounts of money and construction time would have to be spent on a tidal power plant project, it is important to have a fairly detailed knowledge of how the physical system behaves (the tidal wave in the selected bay or estuary) and to reliably predict how the constructed plants would disturb or alter the system's natural state. It would be a costly mistake to build the system only to find that its presence diminished the tidal wave to the point where the energy return no longer justified the economic investment.

One of the simplest ways of obtaining this information is to build a mathematical model that reflects the behavior of the marine system, a set of equations that simulate the movements of the tidal waters as they ebb and flow through the Fundy basin. The proposed changes can then be made to the model (in this case the addition of the tidal barriers) and the resultant affects on the system studied. Expensive errors can therefore be avoided and the best sites for the tidal barriers chosen, the degree of confidence in the results being reflected in the precision with which the model simulates the real system.

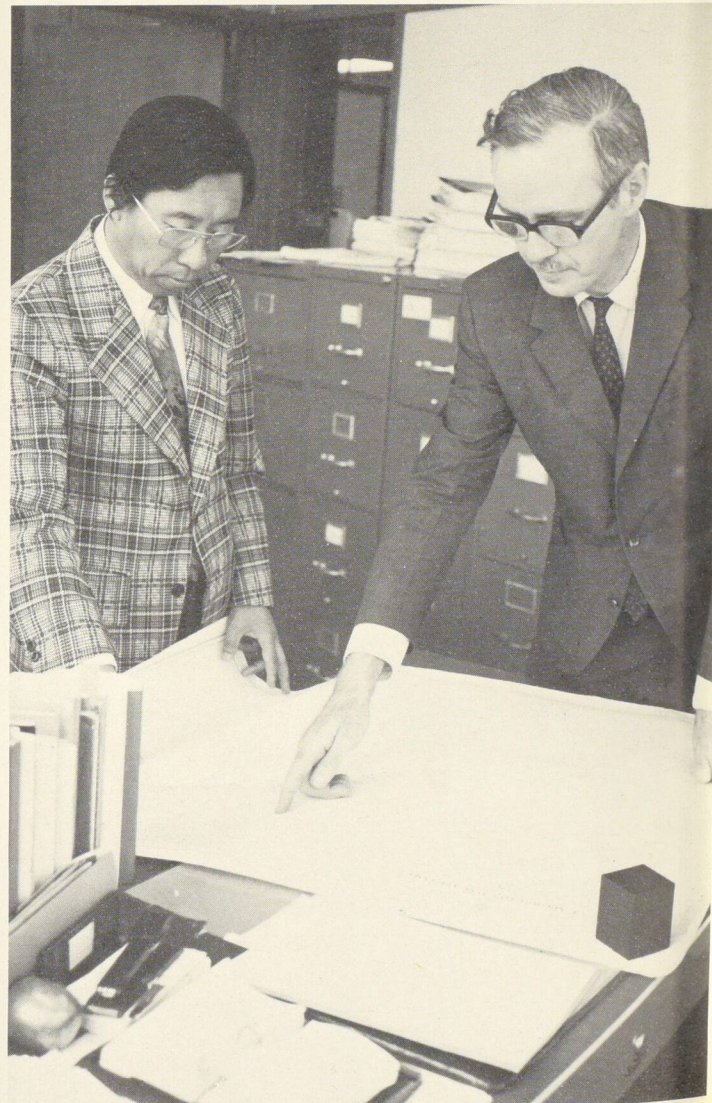
Such a mathematical approach is presently being attempted by Dr. G.F.D. Duff, Chairman of the University of Toronto's Mathematics Department. With the aid of a National Research Council operating grant, he is setting up a model that simulates the tidal motion of the waters from the head of the Bay of Fundy out through the Gulf of Maine and extending across the North Atlantic ocean to the coasts of Africa and South America.

"When this study began," says Dr. Duff, "the existant models of the system did not cover much more than the Bay of Fundy itself. This includes the one used by the Atlantic Tidal Power Programming Board in its feasibility study of tidal power development. However, examination of the information on the tides in Fundy and the surrounding areas suggested the importance of extending the mathematical description to include these outlying waters. After working with some restricted models, I concluded that the tidal characteristics throughout the North Atlantic did make a difference and were significant to a realistic simulation of the Fundy tidal system."

Dr. Duff explains that some idea of the nature of tides is needed to appreciate the complexity of the Fundy system. Tides result from the gravitational attraction of the sun and the moon on the waters of the oceans, and to some extent from the centrifugal force of the earth's rotation. The energies imparted to the oceans by these forces are ultimately dissipated as tidal friction against the coasts of the continents. The fact that the sun and the moon act independently and their distances from the earth vary continuously means that an ever-changing pat-

tern of forces is exerted on the oceans, resulting in a tidal behavior that is much more complex than that of a simple, harmonious ebb and flow. Of the three main components that make up the tide-raising force in Fundy, the most important one is the semidiurnal (twice daily) lunar tide. With a period (time between successive high tides) of 12 hours, 25 minutes, this component results in an amplitude or wave height of 18.5 feet in the Minas basin at the head of the Bay. The other two components are the semidiurnal solar tide with a wave height of 2.7 feet and the lunar elliptic tide (the effect of the approach and recession of the moon in its elliptical orbit) with a wave height of 3.5 feet. As well, there are several minor components resulting from the cyclic character of the paths of the sun and the moon. The highest tides result when these various cycles

Dr. G.F.D. Duff (right) discusses a point of interest on the map of the Bay of Fundy with Dr. Y.L. Park, a colleague involved in the programming part of the study. • Le Dr G.F.D. Duff (à droite) discute, devant une carte de la baie de Fundy, avec le Dr Y.L. Park qui travaille sur la programmation de l'étude.



quatre ans faite sous l'égide du gouvernement canadien en liaison avec le Nouveau-Brunswick et la Nouvelle-Écosse a été publiée; dans cette étude tous les aspects du développement d'une usine marémotrice à Fundy ont été examinés. Le rapport du Bureau des programmes de l'usine marémotrice de l'Atlantique ("Atlantic Tidal Power Programming Board" ou ATPPB) contient des propositions sur les meilleurs sites de construction de ces usines et des évaluations de l'énergie que l'on pourrait en tirer. En raison du coût énorme des travaux, coût qui pourrait bien dépasser le milliard de dollars, on en a conclu que les projets n'étaient pas alors économiquement réalisables. Mais les conclusions de ce rapport sont antérieures à l'augmentation soudaine du coût des combustibles fossiles au début des années 1970.

En raison des coûts énormes en temps et en argent de tels projets, il est essentiel de savoir avec précision comment les marées se comporteront après la construction et quelles seront les perturbations apportées par ces aménagements sur le milieu environnant. Il serait absurde, en effet, d'engager de telles dépenses avant d'être sûr que les ouvrages ne diminuent pas les marées jusqu'au point où l'énergie produite est suffisamment réduite pour ne plus justifier les investissements.

L'une des méthodes les plus simples pour s'en assurer consiste à se servir d'un modèle mathématique, véritable image du système marin. Le modèle consiste en un système d'équations simulant le mouvement des eaux des marées dans la baie de Fundy. Tout changement de configuration peut être incorporé au modèle comme, par exemple, d'ajouter des

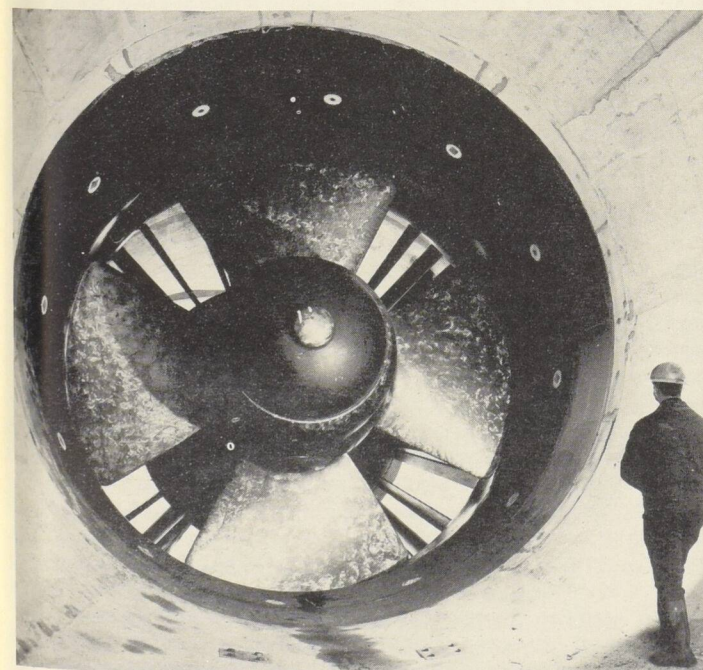
"barrières" de marée; on peut ainsi étudier l'effet de ces modifications sur le comportement du système. On peut aussi, de cette façon, éviter des erreurs coûteuses et mieux choisir les meilleurs sites. Naturellement, la précision des résultats est fonction de celle de la simulation.

C'est ainsi que le Dr J.F.D. Duff, chef du département de mathématiques de l'Université de Toronto, essaye de simuler le système. Grâce à une subvention pour dépenses courantes de recherche du Conseil national de recherches, il construit un modèle devant simuler les marées entre le fond de la baie de Fundy et le golfe du Maine et s'étendant même dans l'Océan Atlantique jusqu'aux côtes de l'Afrique et de l'Amérique du Sud.

Le Dr Duff nous a dit: "Lorsque nous avons commencé cette étude les modèles existant alors ne s'étendaient pas au-delà de la baie de Fundy. Parmi ces modèles se trouvait notamment celui du Bureau des programmes des usines marémotrices de l'Atlantique. Il nous est apparu toutefois qu'il était important d'étendre l'étude mathématique au moins aux eaux des régions voisines. Après avoir travaillé avec certains modèles restreints, j'en ai tiré la conclusion que les caractéristiques des marées dans l'Atlantique Nord pouvaient être à l'origine de différences marquantes ce qui revient à dire que, pour avoir une simulation réaliste de la baie de Fundy, il est nécessaire d'inclure l'Atlantique Nord".

Le Dr Duff nous a expliqué qu'il est aussi nécessaire d'avoir une idée de la nature des marées pour pouvoir apprécier la complexité du système de la baie de Fundy. Les marées sont le résultat de l'attraction du soleil et de la lune sur les eaux des océans et, jusqu'à un certain point, de la force centrifuge due à la rotation de la terre. L'énergie qui est ainsi emmagasinée par les océans se dissipe progressivement par frottement à l'intérieur des fluides et contre les côtes des continents. Comme le soleil et la lune ont des orbites qui leur sont propres et que leur distance de la terre varie continuellement, il en résulte que les configurations des forces agissant sur les océans pour donner des marées sont en perpétuel changement de sorte que le comportement des marées est beaucoup plus complexe que celui qu'on imagine, c'est-à-dire celui d'un écoulement simple et harmonieux ayant lieu six heures dans un sens et six dans l'autre. La composante la plus importante, dans le cas de la baie de Fundy, est la marée lunaire se produisant deux fois par jour et dite semi-diurne. La période en est de 12 heures 25 minutes et l'amplitude de la marée atteint 18,5 pieds dans le bassin de Minas au fond de la baie. Les deux autres composantes sont les marées solaires semi-diurnes donnant une marée de 2,7 pieds de hauteur et la marée lunaire, dite elliptique, c'est-à-dire celle qui est causée par l'approche et l'éloignement de la lune sur son orbite elliptique et qui atteint 3,5 pieds. Il existe aussi plusieurs composantes mineures données par le caractère cyclique des orbites du soleil et de la lune. Les plus hautes marées sont données par ces différentes forces cycliques lorsqu'elles sont en phase, c'est-à-dire qu'elles se trouvent à agir toutes dans le même sens au même moment. Naturellement, les hauteurs que nous venons de donner se rapportent à la hauteur des vagues au-dessus du niveau non perturbé de l'océan et non pas à la différence d'"altitude" entre la marée haute et la marée basse.

Le Dr Duff nous a dit: "Ce sont ces forces qui sont à l'origine de toutes les marées mais les marées extrêmement élevées de la baie de Fundy sont dues aux caractéristiques physiques de la baie elle-même. Comme la profondeur du fond de la baie



A view of the specially-developed turbines installed at the La Rance tidal power plant. The tidal flow causes the blades of the turbine to rotate with the resultant generation of electric power. • Vue frontale de l'un des "groupes bulbes" spécialement mis au point pour l'usine marémotrice de la Rance. L'eau, en s'engouffrant dans le sas, fait tourner cette turbine qui entraîne un alternateur produisant de l'électricité.

come into the same phase, or act in concert. (These figures refer to the wave height above the undisturbed ocean level and not the tidal range, the difference between the high and low tides).

"The interplay of these forces is responsible for the tides throughout the world," says Dr. Duff, "but the reasons for the extremely high tides in Fundy are to be found in the physical characteristics of the Bay itself. It shallows in a gradual manner, and converges progressively to its headwaters, both factors tending to convert a long wave into a steeper and shorter crest of greater height. Because Fundy is fairly steep-sided with a flat bottom, very little energy is lost on the sides of the Bay. In sum, the shape of the Bay has the effect of focusing the energy of the incoming wave. Another energy conserving factor is in the favorable bottom topography of the Gulf of Maine. On its arrival from the deep Atlantic, the wave must make a right-hand turn in the Gulf to enter Fundy, and it so happens that the shape of the bottom is favorable to this process. The wave is able to march or refract around the turn with a minimum loss of energy. Also, the wave may be said to "take to" the right-hand turn because of the so-called Coriolis force resulting from the Earth's rotation. If the map were reversed and the wave had to make a left hand turn it would be quite a different situation."

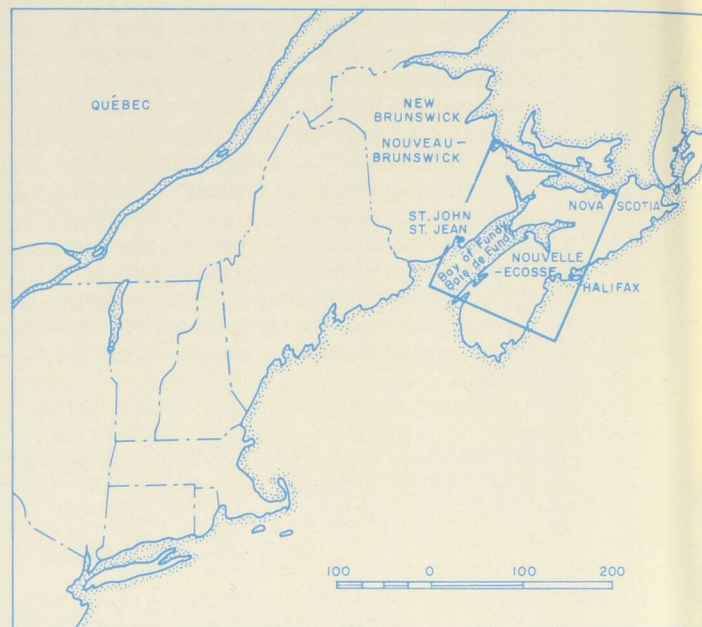
Dr. Duff took all the information available on the area between the continental shelf and the headwaters of the Bay of Fundy, the geographic and oceanographic dimensions, and embodied them in a mathematical model that described the surface wave characteristics of the waters. The results showed that a factor that was unusually strong in the system was resonance, a concept best understood by considering the example of a child on a swing. If an adult pushes the child at the top of each swing, the amplitude or height of the swing increases. The push has a period or interval very close to that of the swing, and the two are said to be in resonance.

"Like the swing, each body of water has its own natural period of oscillation," says Dr. Duff, "and the mathematical model demonstrated that the waters in the Fundy system out to the continental shelf have a natural period very close to that of the lunar tides. In other words the lunar "push" on the oscillating aquatic system occurs at precisely the right time or in just the proper phase to result in a resonating system. Resonance therefore makes a significant contribution to the high tidal wave that characterizes the system."

Dr. Duff explains that detailed numerical calculations were also done on the effects of erecting tidal barriers at sites that were considered in the ATPPB feasibility study. It appears that the barrier proposed for Economy Point will not make much difference to the tidal regime, but he feels that more definitive results require a much larger model, of the sort that he is presently devising. There has been some suggestion that the regime, or amplitude of the tide, would actually be increased by a barrier at Economy Point, but Dr. Duff feels that no one model can yet be said to accurately reflect the real system and as such it is still too early to make a conclusive statement.

"The tantalizing part of this whole problem is the question of what is the correct region to consider," he says. "If the body of water chosen is too small, say just Fundy itself, then the scope is not sufficient and it doesn't tell you very much. It may be just as difficult if it is too large, since you cannot calculate as accurately for a very large body of water.

"The place where the energy enters the ocean is largely the

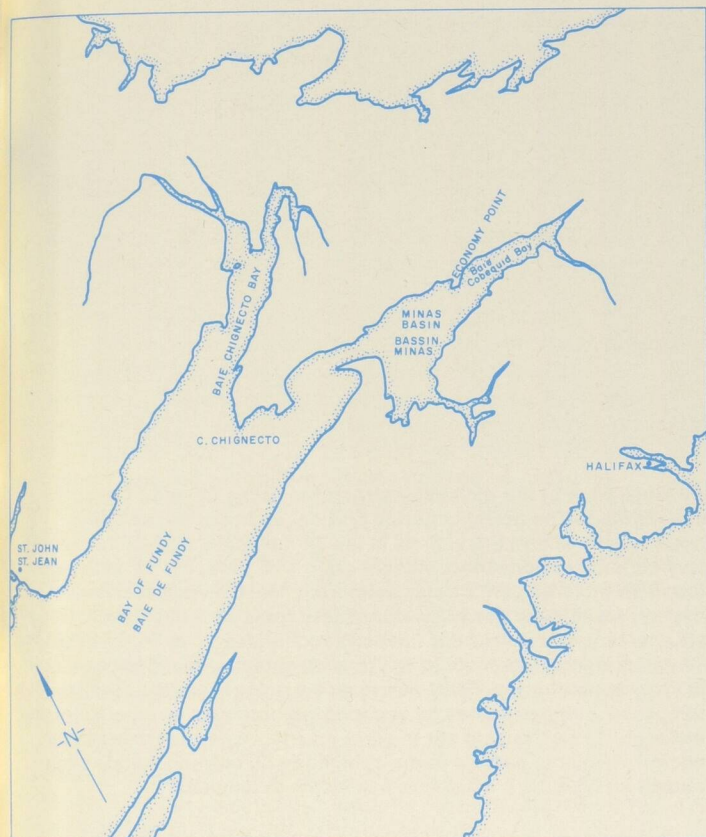


Map of the Atlantic coast showing the Bay of Fundy and its two main headwaters, Chignecto Bay and the Minas Basin, separated by Cape Chignecto. Economy Point, shown on the western side of the Minas Basin, is considered one of the best sites for construction of a tidal power plant. • La baie de Fundy se prolongeant, à l'intérieur des terres, par la baie de Chignecto et le bassin Minas séparés l'un de l'autre par le cap Chignecto. L'un des meilleurs sites pour une usine marémotrice semble être à Economy Point sur la côte ouest du bassin Minas.

North Atlantic itself, and I've come to the opinion that you have to include a great part of the ocean in any realistic model. The question of how high the tides are is determined by a process of adjustment between how much energy enters the system, and how much goes out. It's a kind of contest between the "linear" motion imparted to the oceans by the moon's gravitational field, and the "non-linear" dissipative frictional forces of the tides against the coasts. How these balance or adjust themselves determines the amplitude of the tidal regime, and the adjustment process occurs in the oceanic as well as the coastal waters. The behavior of the waters in the deep ocean is therefore important and has been more adequately portrayed in the latest mathematical model."

As to the extensive studies that have been done on the tidal power plants in the Bay of Fundy, Dr. Duff does not think they have been a waste of time. The ATPPB concluded that the project was not economical but that was before the steep rises in the cost of energy and the discovery that the power output from the plants may in fact be larger than that calculated in the report. Whether or not they will ever be built depends upon the availability of other forms of energy. Breakthroughs in the technology of nuclear fusion or solar energy with their promise of unlimited amounts of energy would very likely relegate tidal power to the drawing board indefinitely. For the present, it represents a good contingency plan, a ready-made, evaluated scheme waiting in the wings should technological advance not live up to expectations. □

Wayne Campbell



diminue graduellement et que la forme en plan est telle que l'évolution des formes est progressive, les grandes ondes que sont les marées ont tendance, au fur et à mesure qu'elles avancent dans la baie, à augmenter de pente, à diminuer de longueur et, de ce fait, à augmenter de hauteur. Comme les bords de la baie sont assez raides et que le fond est presque plat, très peu d'énergie est dissipée le long des parois. En somme, la forme de la baie a pour effet de focaliser l'énergie des ondes y pénétrant. Un autre facteur de conservation de l'énergie se trouve dans la topographie favorable du fond du golfe du Maine. Les ondes venant de l'Atlantique doivent tourner à droite dans le golfe pour entrer dans la baie de Fundy et il se trouve que la forme du fond est favorable à ce mouvement. L'onde peut donc avancer, ou se réfracter, en tournant avec une perte d'énergie minimum. On peut également dire que l'onde se met à tourner à droite en raison d'une force résultant de la rotation de la terre et appelée force de Coriolis. Si la baie se trouvait dans l'hémisphère sud l'onde serait portée à tourner à gauche et la situation pourrait être toute différente".

Le Dr Duff s'est procuré tous les renseignements disponibles sur la région située entre le plateau continental et le fond de la baie de Fundy, sur les dimensions géographiques et océanographiques et il s'en est servi pour établir son modèle mathématique décrivant les caractéristiques des ondes de surface. Les résultats ont mis en relief l'importance inhabituelle de la résonance, phénomène que l'on comprend le mieux lorsque l'on pense à un enfant sur une balançoire. En effet, si l'on pousse fortement l'enfant vers le bas à chaque fois qu'il revient et au même moment qu'il atteint la plus grande

hauteur, cette hauteur augmente à chaque oscillation ou balancement.

Le Dr Duff a ajouté: "Les eaux ont leur période propre d'oscillation comme la balançoire et le modèle mathématique montre que les eaux de la baie de Fundy, jusqu'au plateau continental, ont une fréquence propre très proche de celle des marées lunaires. Autrement dit, la lune "pousse" le système aquatique oscillant juste au bon moment, c'est-à-dire en phase, pour qu'il y ait résonance. En conséquence, la résonance contribue grandement à produire ces fortes marées qui caractérisent le système".

Le Dr Duff nous a expliqué que des calculs numériques détaillés ont également été effectués au sujet de l'influence de barrières de marées sur les sites considérés pour les usines marémotrices. Il semble que la barrière proposée pour Economy Point ne fera pas grande différence mais le Dr Duff pense que pour avoir des résultats plus sûrs il faut disposer d'un modèle plus grand et c'est la raison pour laquelle il en étudie un nouveau. On a proposé de construire une barrière à Economy Point pour augmenter l'amplitude de la marée.

Il a ajouté: "Ce qui est vraiment le plus difficile dans tout ce problème est de savoir quelle est la meilleure région pour les aménagements. Si les eaux choisies couvrent une trop faible étendue et un trop faible volume comme, par exemple, la baie de Fundy elle-même, on trouve que le modèle n'est pas suffisant et que l'on n'en tire pas grand-chose. Il se peut qu'on obtienne le même résultat si le modèle est trop grand puisque les calculs ne peuvent pas être aussi précis si la masse d'eau étudiée est trop grande."

"Comme c'est surtout dans l'Atlantique Nord qu'il y a apport d'énergie, je pense maintenant qu'il est nécessaire d'inclure une grande partie de l'océan dans le modèle si l'on veut avoir quelque chose de réaliste. Pour savoir jusqu'à quelle hauteur les marées peuvent s'élever, il faut recourir à la méthode des approximations successives basées sur l'apport d'énergie et sur les pertes car il y a, somme toute, lutte entre le "mouvement linéaire" des océans sous l'action de l'attraction lunaire et les forces de frottement dissipatives "non-linéaires" des marées le long des côtes. La manière dont ces forces s'équilibrent détermine l'amplitude des marées et cette manière dépend de ce qui se passe dans les eaux de l'océan tout aussi bien que dans les eaux côtières. Le comportement des eaux lointaines de l'océan est donc important et nous avons pu le décrire d'une manière plus appropriée dans le dernier modèle mathématique".

Quant aux études étendues qui ont été faites sur les usines marémotrices de la baie de Fundy, le Dr Duff ne pense pas que le temps ait été perdu. Le ATPPB, dont nous avons parlé, a tiré la conclusion que cette construction n'était pas rentable à l'époque où le coût de l'énergie n'avait pas augmenté brutalement. Toutefois, depuis cette époque, on a aussi découvert que la quantité d'énergie donnée par ce type d'usine pourrait être plus élevée que celle qui avait été prévue. Il apparaît donc que des usines marémotrices seront construites si l'on ne dispose pas d'autres formes d'énergie à meilleur marché. Dans le cas d'une percée technologique dans le domaine de la fusion nucléaire ou de l'énergie solaire, on aurait accès, en principe, à des quantités illimitées d'énergie, ce qui conduirait probablement à la condamnation des usines marémotrices. Mais, dans le cas contraire, ces usines représentent un moyen, déjà étudié, de tirer de l'énergie d'un phénomène que l'on sera très heureux d'exploiter. □

In search of an elusive key — Unlocking the secrets of gonorrhea

Until recently, the condition was referred to as a "social disease", a euphemism that cushioned the sensitivities against the reality of the infection's origin. Gonorrhea, a sexually communicated disease, is caused by a delicate, kidney-shaped bacteria, *Neisseria gonorrhoeae*, more commonly known as the gonococcus. It is a surface invader in its primary stages, infecting the mucous membranes of the urethra in men and the vagina and cervix in women. From these initial sites it spreads into other organs of the body.

The disease has now reached epidemic proportions in spite of the effectiveness of such antibiotics as penicillin and the problem appears to be growing worse every year. In Canada, as in many other countries, it has exceeded the high levels of the war years of the 1940's and now ranks as one of the most common communicable diseases in the world. During 1973, the reported number of cases in Canada totalled 45,266, up from 41,467 cases in 1972, and a median value of 31,552 cases over the years 1968-1972. These figures can be compared with a total of 823,380 cases reported in the United States in 1973 alone.

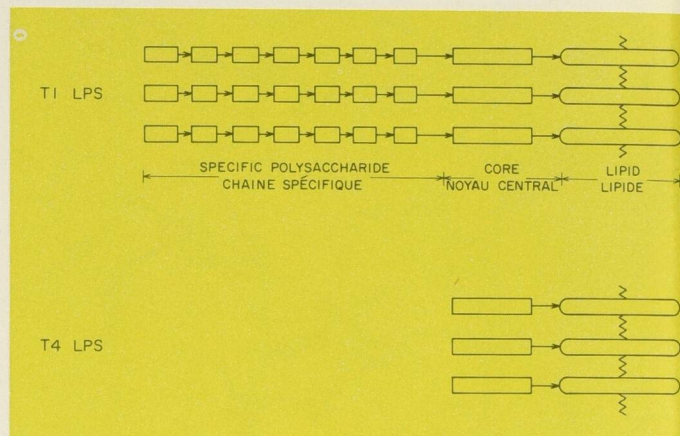
What is peculiar about gonorrhea is that it should be totally eradicable, at least theoretically. Only humans can carry the disease, there being no intermediary vector, such as the mosquito in malaria, and it can be quite effectively cured by treatment with various antibiotics. The persistence of gonorrhea would appear to be more of a social problem then, but certain advances in medical science could be of great assistance in the battle against the disease.

One problem involved in the control of the disease is the lack of a reliable diagnostic procedure. The presence of gonorrhea is usually determined by examining, under the microscope, smears taken from patients, or by culturing the bacteria for further examination and identification. These methods not only give false positives at times but often fail to detect the disease when it is present. In so-called "asymptomatic" people, recognizable symptoms of the disease fail to appear, and anywhere from 20 to 30 percent of the infected population may fall into this category. Because these diagnostic techniques usually involve a waiting period of two or three days, many patients do not reappear at the clinic, either through embarrassment or a mistaken idea that the disease, which can cause sterility, is no more serious than the common cold.

Another problem lies in the inability of the body's natural defences to cope with the gonococcus. The human immune system responds rather poorly to challenge by the organism, and treatment with antibiotics is normally a necessity. Very few people establish a long-term immunological resistance to the disease.

Some fifty years ago it was recognized that freshly isolated gonococcus grow in healthy or "typical" colonies at first, with the bug retaining its infectivity and virulence for humans. But as time elapsed the appearance of the colonies changed with a concomitant loss of infective power. In 1964, Douglas Kellogg of the Centre for Disease Control in Atlanta, Georgia, showed that four types of gonococcus colonies could be defined morphologically, type I (T1), or healthy bugs, and moving in a direction of increasing degeneration through types 2, 3 and 4 (T2, T3, T4). Only cells in the T1 and T2 condition were virulent, while T3 and T4 cells had lost their virulence.

As a subject of basic research, *N. gonorrhoeae* has not received much attention in the past, with only two or three laboratories in Canada concerned with fundamental investiga-



An illustration of the molecular structures of the T1 and T4 lipopolysaccharides. The polysaccharide portion, an important antigenic determinant, is missing entirely in the T4 molecule. As healthy laboratory cultures of gonococcus degenerate with time, the T1 molecule found on the organism's outer membrane loses its polysaccharide moiety, resulting in the T4 or incomplete form. • Illustration des structures moléculaires des lipopolysaccharides T1 et T4. La molécule T4 est totalement dépourvue de l'important facteur antigénique qu'est le lipopolysaccharide. Étant donné qu'il y a dégénération dans le temps des cultures saines de gonocoques obtenues en laboratoire, la molécule T1 se trouvant sur la paroi extérieure de la membrane du micro-organisme perd sa partie constituée de polysaccharide ce qui aboutit au type T4, c'est-à-dire à la forme incomplète.

tions of the disease (the outlay of money and facilities has been much greater in the United States).

One of the main obstacles to gonorrhea research has been the difficulty in culturing the organism outside the human body while maintaining full potency and virulence. The gonococcus appears to be a somewhat fastidious bug, with fairly stringent growth requirements. Another problem has been the lack of a suitable animal model, or host, that is infected by the disease organism in a manner that simulates human infection. These models are vital from the experimental point of view in disease research, and to date researchers have had to rely on human volunteers. There remains, however, a pressing need for a rapid, reliable diagnostic method and an effective vaccine to check the disease at the challenge stage. Recent research in the Division of Biological Sciences of the National Research Council of Canada aims at providing the background chemistry to meet both of these requirements.

Dr. Malcolm Perry, of the Division's Immunochemistry Section, has been investigating the substances that make up the outer surface of the gonococcal cell wall and has discovered an important difference between the virulent and the non-virulent or inactive forms of the organisms. Working in collaboration with Drs. B.B. Diena and Fraser Ashton of Health and Welfare Canada's Laboratory Centre for Disease Control, Dr. Perry is exploiting this knowledge in the development of specific diagnostic methods and the possible production of an effective vaccine against the disease.

"We decided on the following approach to the problem," says Dr. Perry. "We would take the infective form of gonococcus (T1) and the non-infective form (T4) and examine them with a view to determining their differences. If these differences

A la recherche de l'arme absolue

Contre la blennorragie

Ce n'est que tout récemment que l'on ne qualifie plus la blennorragie de "maladie sociale", euphémisme jusqu'alors employé pour ménager les susceptibilités que n'aurait pas manqué de susciter chez certains la simple mention de l'origine de l'infection en question. La blennorragie, maladie contractée par contacts sexuels, est due au *Neisseria gonorrhoeae*, bactérie fragile affectant la forme d'un haricot et plus généralement connue sous le nom de gonocoque. A ses premiers stades, l'infection n'atteint que les parties ayant été directement exposées: la muqueuse urétrale, chez l'homme, celle du vagin et du cervix, chez la femme. Elle se propage ensuite à d'autres parties de l'organisme.

La maladie a atteint des proportions épidémiques en dépit de l'efficacité d'antibiotiques comme la pénicilline et le problème s'aggrave d'année en année. Au Canada, comme dans de nombreux autres pays, les chiffres enregistrés au cours de la Deuxième Guerre mondiale sont maintenant dépassés et la blennorragie est actuellement considérée, à l'échelle mondiale, comme l'une des maladies contagieuses les plus courantes. Le nombre de cas signalés passait de 41 467, en 1972, à 45 266, en 1973, et l'on enregistrait une moyenne de 31 552 cas pour la période 1968-72. A titre de comparaison, on a enregistré aux Etats-Unis 823 380 cas pour la seule année 1973.

Il semble pourtant que, théoriquement, l'éradication totale de cette maladie soit possible. L'être humain en est l'unique vecteur puisqu'aucun autre intermédiaire n'intervient comme, par exemple, le moustique dans le cas du paludisme et il est possible d'obtenir une guérison absolue avec divers antibiotiques. C'est la raison pour laquelle sa persistance semblerait indiquer qu'il s'agit d'un problème relevant du domaine social mais certains progrès en médecine, notamment la mise au point d'une méthode de diagnostic fiable, pourraient apporter une aide précieuse dans la lutte contre la maladie.

L'infection est généralement mise en évidence par l'examen microscopique de frottis prélevés sur les malades ou par la culture des bactéries qui en permet l'étude plus détaillée et l'identification. Ces méthodes conduisent parfois non seulement à des diagnostics positifs faux mais il arrive aussi fréquemment qu'elles ne permettent pas de déceler la maladie comme dans les cas de gonococcies asymptomatiques où les symptômes cliniques habituels n'apparaissent pas. On estime que 20 à 30% des personnes infectées entrent dans cette catégorie. Ces méthodes de diagnostic exigeant habituellement deux à trois jours d'attente, beaucoup de malades ne reviennent pas à la clinique, soit par gêne, soit qu'ils s'imaginent que la maladie n'est pas plus grave qu'un mauvais rhume alors, qu'au contraire, elle peut rendre stérile.

Une des autres difficultés à vaincre est l'incapacité des défenses naturelles de l'organisme à lutter contre le gonocoque. Le système immunologique ne réagit que faiblement à l'attaque bactérienne et il est généralement nécessaire d'avoir recours aux antibiotiques. Sauf rares exceptions, personne ne bénéficie d'une immunité prolongée.

Il y a environ cinquante ans, on a découvert que les gonocoques que l'on venait d'isoler se développaient d'abord sous forme de colonies saines ou "types", la bactérie conservant sa contagiosité et sa virulence. Mais, après un certain temps, on constatait que l'aspect des colonies avait changé et que la virulence des bactéries avait diminué. En 1964, Douglas Kellogg, du "Centre for Disease Control", d'Atlanta, en Géorgie, a montré que quatre types de colonies de gonocoques pouvaient être différenciés morphologiquement:

le type I (T1), ou micro-organisme sain qui évolue vers une dégénération croissante en passant par les types 2, 3 et 4 (T2, T3, T4). Seules les cellules appartenant à la catégorie T1 et T2 étaient virulentes alors que les cellules des types T3 et T4 ne l'étaient plus.

Sur le plan de la recherche fondamentale, *N. gonorrhoeae* n'a pas fait l'objet d'une grande attention dans le passé si l'on sait que seulement deux ou trois laboratoires canadiens se sont livrés à quelques recherches fondamentales alors que les Etats-Unis ont consacré de bien plus grands moyens, tant sur les plans financiers que matériels.

Un des principaux obstacles auxquels on s'est heurté est la difficulté de cultiver le micro-organisme en dehors du corps humain tout en lui conservant la totalité de sa virulence. Le gonocoque est, semble-t-il, un microbe quelque peu exigeant ne se développant que si un ensemble de conditions assez sévères sont réunies. Un des autres problèmes rencontrés se trouve dans le fait que l'on ne peut pas étudier la maladie sur des animaux, ce qui gêne considérablement la recherche fondamentale puisque, jusqu'à maintenant, les chercheurs ont dû faire appel à des volontaires. Il est toutefois urgent de disposer d'une méthode de diagnostic à la fois rapide et fiable et d'un vaccin efficace pour contrôler la maladie à ses premiers stades. Les recherches récemment entreprises à la Division des sciences biologiques du Conseil national de recherches visent précisément à réunir les données chimiques permettant de satisfaire à ces conditions.

Le Dr Malcolm Perry, de la section d'immunochimie de la division, a étudié les substances constituant la surface extérieure de la paroi cellulaire du gonocoque et il a découvert une importante différence entre les formes virulentes et non virulentes, ou "inactives", de ce micro-organisme. Travaillant en collaboration avec les docteurs B.B. Diena et Fraser Ashton, du Laboratoire de lutte contre la maladie, au Ministère de la santé et du bien-être social, le Dr Perry exploite cette découverte pour mettre au point des méthodes de diagnostic spécifiques et un vaccin efficace. Le Dr Perry nous a dit: "Nous avons décidé d'attaquer le problème en étudiant la forme infectieuse (T1) du gonocoque et la forme non infectieuse (T4) pour déterminer ce qui les différencie et, peut-être, si l'on y parvient découvrir ainsi la cause de leur virulence. Nous avons l'intention de tirer avantage de cette transformation gonococcique (T1 à T4), processus qui n'avait été considéré jusqu'alors que comme un obstacle au progrès, et de nous en servir pour trouver les réponses aux problèmes posés par la blennorragie".

C'est aux Américains J. Swanson et E. Gotschlich, de l'Université Rockefeller, à New York, que l'on doit la découverte de la première différence importante entre les formes virulentes et non virulentes. A l'aide d'un microscope électronique, ils ont remarqué que les gonocoques de types T1 avaient des structures filiformes appelées "pili" se développant sur la surface cellulaire, caractéristique absente chez les cellules non virulentes de type T4. On a immédiatement essayé d'expliquer la cause de la virulence en supposant, par exemple, que sans le "pili" les micro-organismes ne pouvaient pas s'accrocher aux cellules de la paroi de la muqueuse. S'il était possible de neutraliser ces "cils", au moyen d'anticorps, la progression de la maladie serait arrêtée.

Les chercheurs américains ont donc entrepris d'isoler la substance constituant le pili, tâche difficile puisqu'elle ne constitue qu'une faible partie de la cellule gonococcique, et ils l'ont utilisée sur des lapins pour fabriquer des sérums antipiliques. On a constaté que l'antisérum du lapin ne réagissait

could be discovered, then one might possibly have a clue as to what causes virulence in gonococci. It was our intent to take advantage of this gonococcal transformation (T1 through to T4), a process that had been seen previously only as an obstacle to progress, and use it to provide answers to the gonorrhea problem."

It was the Americans J. Swanson and E. Gotschlich at the Rockefeller University of New York who discovered the first significant difference between the virulent and non-virulent forms, explains Dr. Perry. Using an electron microscope they observed that T1 gonococci have thread-like structures called pili growing from the cell surface, a feature that is missing in the non-virulent T4 cells. An explanation of virulence was immediately suggested. Perhaps the pili are needed to enable the organism to attach itself to the cells of the mucous lining. If it were possible to inactivate these "tendrils" through the use of antibodies, the disease could be stopped in its tracks.

The American team proceeded to isolate the pili material (a very difficult task since it makes up only a small part of the gonococcal cell) and used it to make anti-pili antisera in rabbits. The rabbit antiserum was found to react only with gonococcal pili and not with the pili of other bacteria, a fact that suggested a means of detecting the presence of the disease. Patients with gonococcal infection will normally have anti-pili antibody circulating in their blood, and since the antigenicity of the pili is specific to gonorrhea, this material can be used to diagnose the presence of the disease. However, the problem of collecting sufficient material remains and there are practical difficulties to overcome in the administration of the test and the interpretation of the results.

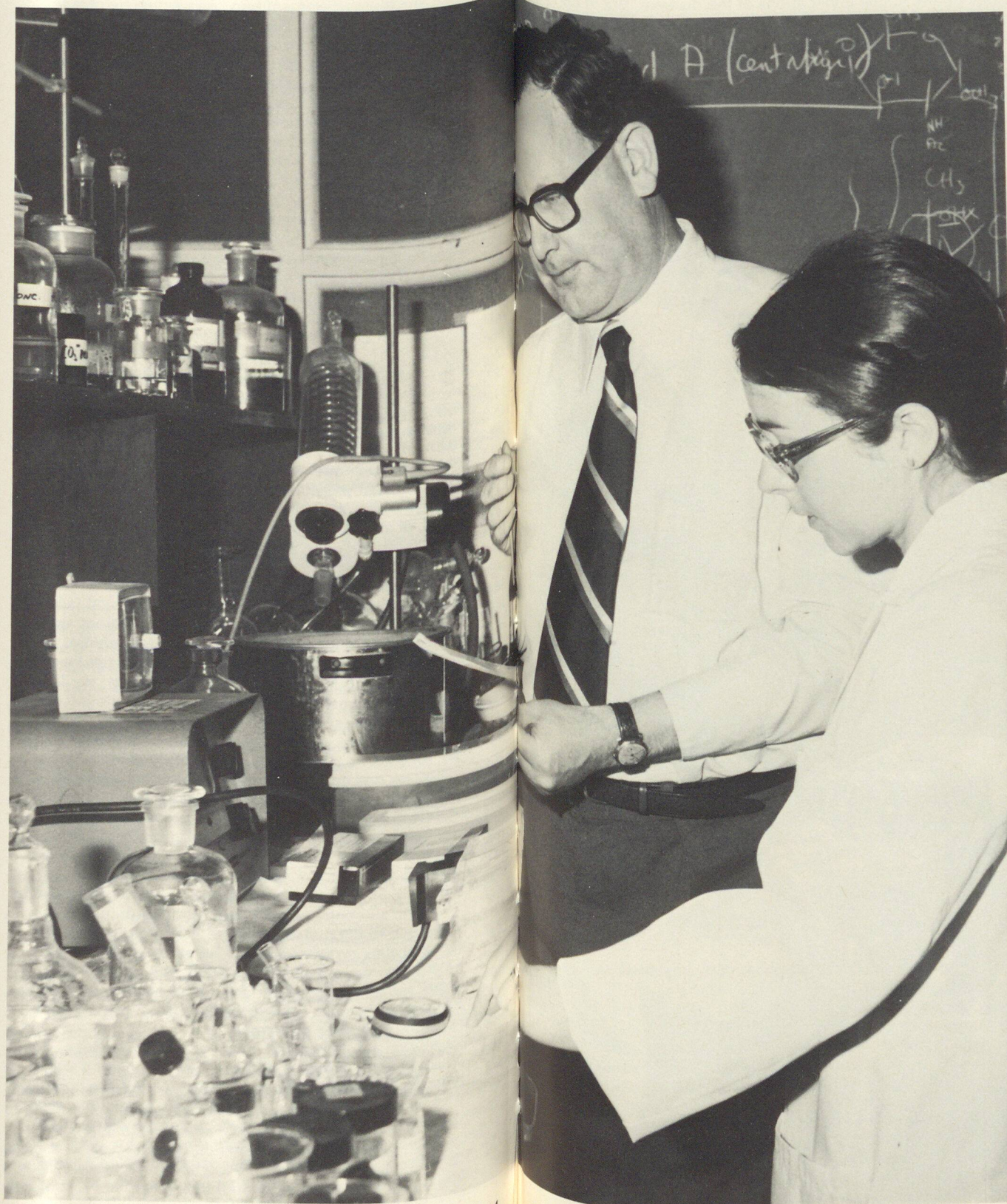
"Our approach to the problem was primarily at the chemical level," says Dr. Perry. "Beginning with colonies of T1 and T4, the virulent and non-virulent forms respectively, we stripped the organism down and examined everything that came off for differences between the two types.

"As it turned out, differences were found in a cell wall component called the lipopolysaccharide, or LPS. These molecules are common to all Gram negative bacteria and are highly toxic, causing inflammations and fever even in very minute doses. The bacteria responsible for food poisoning for example, called *Salmonella*, are separated into different serotypes on the basis of certain structural and compositional differences residing in a part of this LPS molecule."

Dr. Perry explains that an LPS is, essentially, a molecule with a glob of lipid (fat) on one end and a long carbohydrate (polysaccharide) chain on the other. The two are connected via a small sugar complex known as the core region. All the immunological properties of the substances, the antigenic sites against which antibodies are directed, reside in the long chain polysaccharide portion. The toxic properties, on the other hand, arise from the lipid part, which consists of long chain fatty acids linked to a few glucosamine residues.

"Comparison of the T1 and T4 lipopolysaccharides led to the discovery that the latter molecule was incomplete," continues Dr. Perry. "Where the T1 form had a normal lipid, core and polysaccharide, the T4 had only the lipid and core — the entire polysaccharide was missing. This was exciting because we knew from work with other bacteria that the polysaccharide was antigenic, stimulating antibody production in the course of infections.

"Based on the analysis of these polysaccharide chains from different gonorrhea patients, our results indicate that there are differences within the gonococci species in structure



qu'avec le pili gonococcique et aucunement avec le pili produit par les autres bactéries, constatation qui a permis de penser qu'on disposait peut-être là d'un moyen de détection de la maladie. Généralement, le sang des malades infectés par le gonocoque contient des anticorps antipiliques et, puisque le pili n'est un antigène que pour la blennorragie, il peut être utilisé pour diagnostiquer l'infection; mais le problème est qu'il en faut une quantité suffisante et qu'il reste aussi à surmonter certaines difficultés dans l'exécution du test et l'interprétation des résultats. Écoutons le Dr. Perry:

"Nous avons surtout attaqué le problème sous l'angle chimique. Commenant avec des colonies de T1 et de T4, c'est-à-dire avec les formes bactériennes virulentes et non virulentes, nous avons disséqué le micro-organisme et examiné en détail ses éléments constitutifs pour déterminer ce qui les différenciait. Nous avons trouvé des différences dans le lipopolysaccharide, ou LPS, c'est-à-dire dans l'un des éléments constituant la paroi cellulaire. Ces molécules sont communes à toutes les bactéries Gram négatives et sont extrêmement toxiques car elles provoquent des inflammations et de la fièvre même à très faible dose. Pour citer un exemple, la bactérie responsable de l'empoisonnement alimentaire, la *Salmonella*, est classée en différents sérotypes en fonction de certaines différences structurales ou de composition se trouvant en partie dans cette molécule de LPS."

Le Dr Perry nous explique que cette molécule est essentiellement constituée d'une gouttelette de lipide (graisse) à une extrémité et d'une longue chaîne d'hydrate de carbone (polysaccharide) à l'autre. Les deux sont reliées par un petit complexe de sucres appelé noyau central. Toutes les propriétés immunologiques des substances, c'est-à-dire des sites antigéniques auxquels s'attaquent les anticorps, résident dans la partie faite d'un polysaccharide à longue chaîne. Les propriétés toxiques, par ailleurs, sont contenues dans la partie lipidique qui est constituée d'acides gras à longue chaîne reliés à quelques résidus de glucosamine. Le Dr Perry continue:

"En comparant les lipopolysaccharides T1 et T4, nous avons été amenés à découvrir que la molécule appartenant au dernier type était incomplète. Alors que la forme T1 présentait un lipide, un noyau central et un polysaccharide normaux, la T4 ne contenait qu'un lipide et un noyau central. Cette constatation nous a enthousiasmés parce que nous savions, grâce aux travaux auxquels nous nous étions livrés sur d'autres bactéries, que le polysaccharide était antigénique, stimulant la fabrication d'anticorps au cours des infections.

Nous basant sur des analyses des chaînes du polysaccharide provenant des différents malades, nous pouvons dire que nos résultats indiquent qu'il existe des différences entre les diverses souches gonococciques du point de vue de la structure et de la composition des sucres et nous commençons à croire qu'il puisse exister de nombreux groupes sérologiques de *N. gonorrhoeae*. Si c'est le cas, cela expliquerait pourquoi la guérison d'une infection gonococcique ne confère pas une protection immunologique contre une réinfection. Les anticorps fabriqués par l'organisme pour lutter contre un sérotype donné peuvent être inefficaces contre tous les autres. Par conséquent, un vaccin préparé à partir d'un seul sérotype gonococcique ne serait pas universel."

Dr. M.B. Perry and Mrs. Virginia Daoust examine the results of an electrophoresis experiment. • Le Dr M.B. Perry et Mme Virginia Daoust examinent les résultats d'une expérience d'électrophorèse.

and sugar composition, and we are beginning to believe that many serological groups of *N. gonorrhoeae* may exist. If this is true, it might explain why recovery from a gonococcal infection does not confer immunological protection against reinfection. Antibodies produced by the human body to one serotype may be ineffective against all others. A vaccine made from a single gonococcal serotype would not therefore be universally effective."

At first glance, it may appear that the LPS discovery is an alternative explanation to the pili story for virulence in gonococci; that is, without the complete LPS molecule, the ability of the organism to infect is lost. However, a choice of hypotheses is not necessary here since both in fact may be true. Infectivity may depend upon some synergistic or cooperative effect between the two substances; for instance, the pili may be needed for the initial adhesion, whereupon the complete LPS molecule is necessary to the continuation of the infective process.

At present, Dr. Perry is collecting LPS's from different gonococci grown in both their T1 and T4 forms and is determining their structures. The results to date indicate that all the LPS's from the various sources have essentially the same core-lipid structure, whether derived from T1 or T4 cells. If, as the preliminary results suggest, the core-sugar complex is immunologically common among all gonococci and differs from other *Neisseria* species, then it will represent a promising material for use as a vaccine and as a specific diagnostic agent.

Drs. Diena and Ashton have been investigating the various LPS's and purified polysaccharide portions (the LPS without the lipid and core) for use as diagnostic reagents and vaccines. Mice immunized with LPS from a particular gonococcal sample (or isolate) have been shown to develop a strong resistance to infection by this same gonococcus isolate, and there are indications that this protection extends to some degree towards gonococci from other sources as well. This is a promising result.

Since the core region of all the gonococcal LPS's appears to have the same structure, artificial immunizing agents made in the laboratory by joining the core molecule to various large-size protein carriers are now being tested as vaccines. Anti-core antibodies produced by these agents should be effective against the whole range of gonococci.

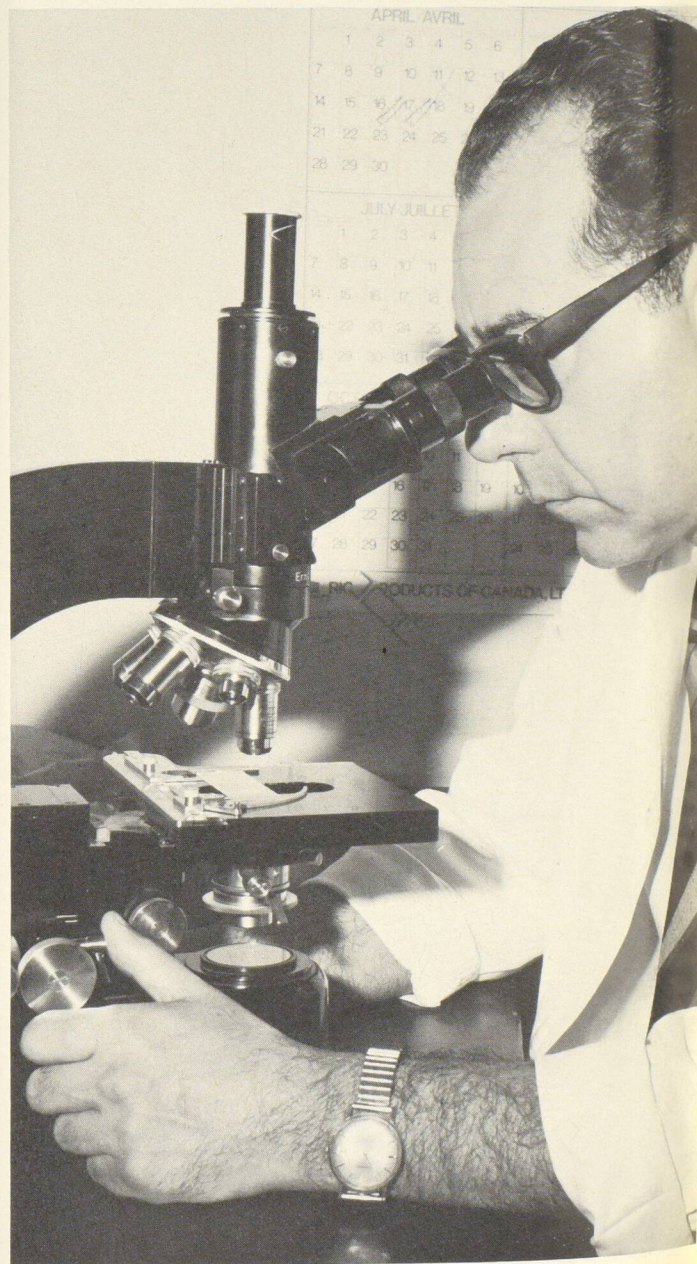
As well, the gonococcus LPS and polysaccharide portions could conceivably be used as a rapid skin test for the disease. As in the pili case, the test depends upon the fact that infected people usually have antibodies to the various gonococcal antigenic sites. If the polysaccharide antigen is injected under the skin, an immunological response occurs and a red spot or inflammation appears in the area in a matter of hours. Tests with animals infected with gonococcus have in fact shown the possibility of a rapid diagnosis of gonorrhea based on this method. Another variation of the test is to coat an inert carrier such as Bentonite or alumina with the polysaccharide antigen and mix it with a sample of test blood; if the disease is present, clumping should occur due to antibody bridges being formed between the particles. Similarly, if the antigen is linked to red blood cells of sheep, infected serum should cause a clumping of the cells. Other methods involve tagging the antigen with a fluorescent dye or radioactive compound, particularly where very minute quantities of antibody are to be measured.

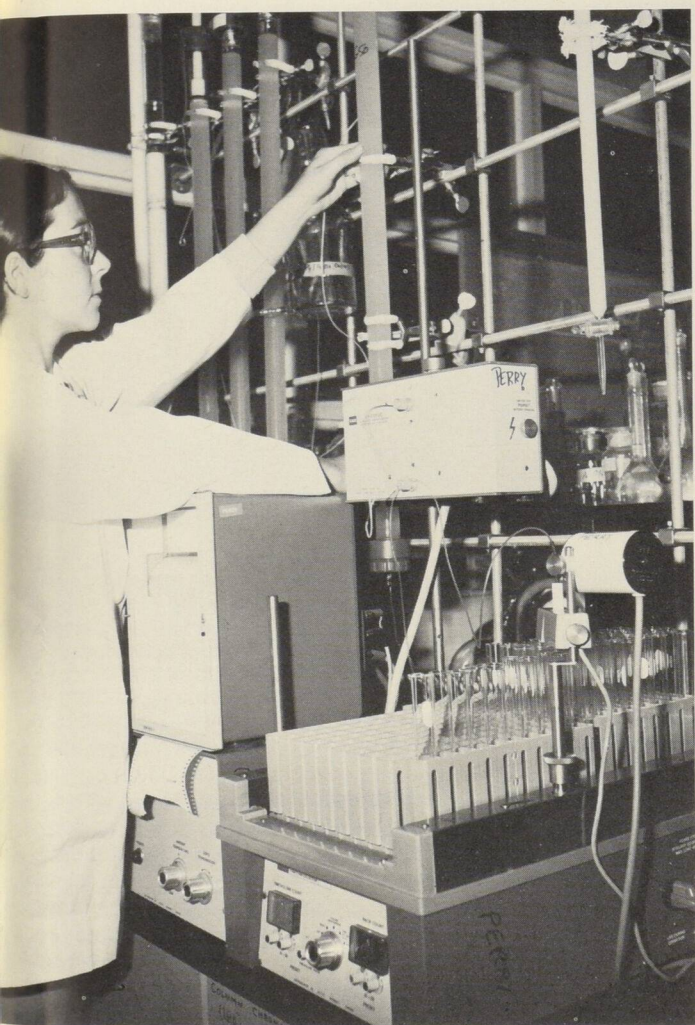
Dr. Perry anticipates that there may be a problem involved in setting up a vaccination program against gonorrhea, con-

sidering the social implications of the disease. But in certain areas of Canada and other parts of the world where the disease incidence is high, the immunoprophylactic approach would be very practical and perhaps the only way of halting the spread of the disease. However, a rapid and accurate diagnostic method would be unequivocally praised by everyone, particularly by physicians and other public health people on the front lines of defence against the disease. □

Wayne Campbell

Dr. B.B. Diena of Health and Welfare Canada's Laboratory Centre for Disease Control studies a sample of *N. gonorrhoeae* under a light microscope. • Le Dr B.B. Diena, du Laboratoire de lutte contre la maladie, du Ministère de la santé et du bien-être social, étudie un échantillon de *N. gonorrhoeae* au microscope.





Mrs. Virginia Daoust makes an adjustment to a Sephadex G-50 column, a molecular sieve technique used to isolate the gonococcal lipopolysaccharides. In the foreground, a recorder that monitors the ultraviolet absorption of the column effluent and an automated fraction collector. • Mme Virginia Daoust fait une mise au point sur la colonne de Sephadex G-50. Cette technique de tamisage moléculaire est utilisée pour isoler les lipopolysaccharides gonococciques. On aperçoit au premier plan un appareil qui enregistre l'absorption en ultraviolet de l'effluent de la colonne et un compteur automatique de gouttelettes.

Il pourrait sembler à première vue que la découverte relative au LPS puisse aussi expliquer la virulence des gonocoques qui ne serait alors pas due au pili et que, si la molécule de LPS est incomplète, le micro-organisme perd son pouvoir infectieux. Cependant, nous ne sommes pas encore tenus à un choix d'hypothèses puisque, en fait, les deux substances peuvent être en cause. La susceptibilité à l'infection peut dépendre de quelques effets synergétiques, ou coopératifs, entre les deux substances. Le pili pourrait, par exemple, être indispensable pour que l'adhérence initiale se produise après quoi la molécule de LPS complète serait nécessaire pour que l'infection progresse.

Le Dr Perry s'emploie actuellement à rassembler des LPS

provenant de différents gonocoques cultivés dans leurs formes T1 et T4 et à identifier leur structure. Les résultats obtenus jusqu'à maintenant indiquent que l'ensemble des LPS provenant des diverses sources ont essentiellement la même structure noyau-lipide, qu'ils proviennent de cellules du type T1 ou du type T4. Si, comme semble le montrer les premiers résultats, le complexe noyau-sucres est immunologiquement commun à tous les gonocoques et diffère des autres espèces *Neisseria*, nous disposons alors d'un vaccin et d'un moyen de diagnostic spécifique.

Les docteurs Diena et Ashton ont étudié les divers lipopolysaccharides et les parties de polysaccharide purifiée (LPS sans lipide, ni noyau central) en vue de les utiliser comme réactif de diagnostic et comme vaccin. On a montré que des souris immunisées avec du LPS provenant d'un échantillon gonococcique (ou isolat) particulier acquièrent une forte résistance à l'infection par ce même isolat gonococcique et certaines indications donnent à penser que cette protection s'étend également, dans une certaine mesure, aux gonocoques issus d'autres sources. Il s'agit là d'un résultat très encourageant.

Puisque le noyau central de tous les LPS gonococciques semble avoir la même structure, des agents artificiels d'immunisation fabriqués en laboratoire par la fusion de la molécule du noyau central avec divers porteurs de protéines de grandes dimensions sont actuellement essayés comme vaccin. Les anticorps, utilisés contre le noyau central et fabriqués par ces agents devraient être efficaces contre l'ensemble des gonocoques.

De la même façon, le LPS du gonocoque et les parties du polysaccharide pourraient être éventuellement utilisés comme test cutané rapide pour déterminer s'il y a infection. Comme dans le cas du pili, le test est tributaire du fait que chez les personnes infectées on trouve habituellement des anticorps aux divers sites gonococciques antigéniques. Si le polysaccharide antigénique est injecté sous la peau, une réaction immunologique se produit et une rougeur, ou une inflammation, apparaît en quelques heures sur la région infectée. Des tests faits avec des animaux auxquels on a injecté le gonocoque ont, en fait, montré que le diagnostic rapide de la blennorragie était possible par cette méthode. Une autre variante consiste à revêtir un porteur inerte comme la bentonite, ou l'alumine, d'une couche de polysaccharide antigénique et de le mélanger avec un échantillon de sang témoin; si il y a infection, une agglutination résultant de la formation de ponts d'anticorps entre les particules doit se produire. De la même façon, si l'antigène est lié aux globules rouges du mouton, le sérum infecté devrait provoquer une agglutination des cellules. D'autres méthodes consistent à marquer l'antigène avec un colorant fluorescent, ou un composé radio-actif, notamment lorsque l'on veut mesurer des quantités infinitésimales d'anticorps.

Compte tenu des implications sociales de la maladie, le Dr Perry entrevoit des difficultés pour la mise sur pied d'un programme de vaccination antiblennorragique. Mais, dans certaines régions du Canada et dans d'autres parties du monde où la maladie est très répandue, l'approche immunoprophylactique est très intéressante et constituerait peut-être le seul moyen d'en arrêter la progression. Dans tous les cas, une méthode de diagnostic rapide et précise serait sans aucun doute bien accueillie par tous et plus particulièrement par les médecins et les responsables de la santé publique. □

Hydrogen, simplest of gases — New storage system

A small storage model devised by National Research Council of Canada scientists may clear the way for the future use of hydrogen as a source of heat and motive power. This simplest of gaseous elements has recently been gaining popularity as an alternate source of energy to the world's diminishing supplies of fossil fuels. The advantages of using hydrogen as a synthetic fuel are numerous: it is clean and causes no pollution; it has more than twice the heating value (heat units per pound) of gasoline or home-heating oil; indications are that it could be produced in plentiful supplies by the process of electrolysis, whereby oxygen and hydrogen are separated from water, by nuclear reactors, or directly from coal by heating.

The main problem associated with using hydrogen as a fuel, in addition to the economic considerations which have not yet been fully explored, is its storage. It is on this particular problem that scientists in the Fuels and Lubricants Laboratory at NRC's Division of Mechanical Engineering are working. Initial evidence is that the small model, which is still undergoing tests, may partially solve the storage problem.

Two ways in which hydrogen can be stored now exist. The usual method in Canada is to store and transport the extremely light gas in pressurized containers. This in itself poses problems. Expensive, heavy, and energy-consuming compressors must be employed to pressurize the gas to approximately 2,000 pounds per square inch in a steel cylinder, which itself must be strong, rugged and resistant to breakage and leakage.

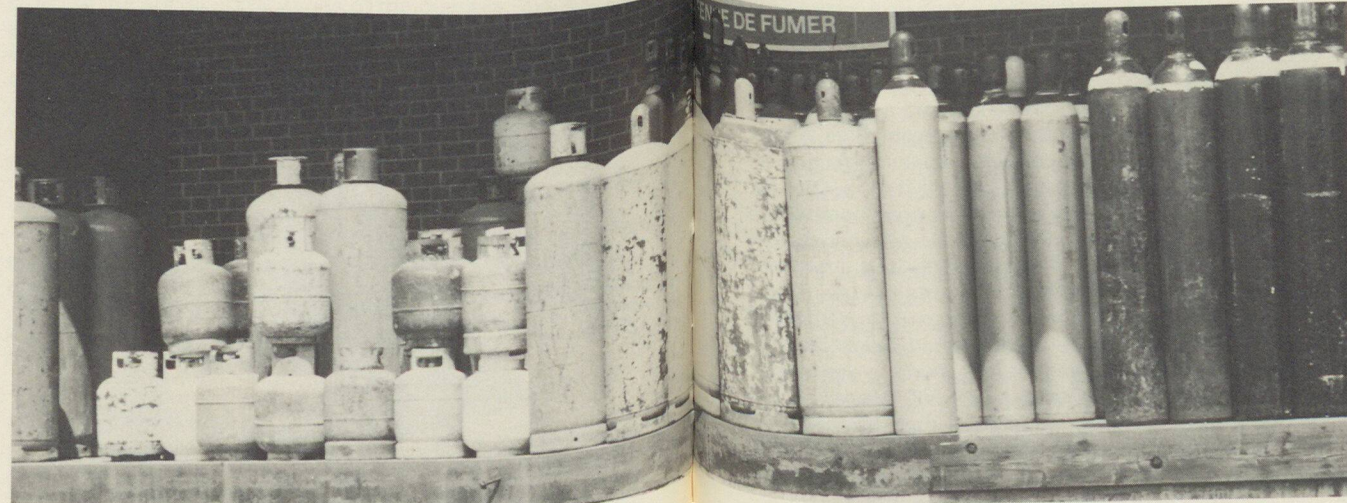
The quantity of hydrogen carried in such a cylinder is small compared to its total weight. For example, a cylinder containing one pound of hydrogen at 2,000 pounds per square inch pressure weighs approximately 200 pounds. Without pressurization, the gas is so light that one pound would occupy about 200 cubic feet; air is 15 times heavier than hydrogen.

Another mode of storage which has been devised but is not used extensively in Canada involves liquifying hydrogen and storing it in specially-designed containers. For this, the hydrogen must be cooled to -424 degrees Fahrenheit (20K), which is a costly and time-consuming process. In addition, containers of liquid hydrogen require special handling methods.

The NRC project, headed by Dr. Tom Ledwell, involves the use of metal powder as a "sponge" for the gas. A model of this process has been devised and has been functioning satisfactorily under test conditions. A number of different metal hydrides are being tested, each with different characteristics for storing and releasing the hydrogen. There is, however, a common denominator in the use of metal hydrides for hydrogen storage — the gas is given off at a steady and predictable rate.

The model consists of a container filled with powdered metal. Magnesium hydride has already been studied in the storage process and has yielded promising results. Heat is applied to the container and hydrogen is emitted from the metal in a steady flow. If the heat source is removed, hydrogen output ceases almost instantly. The departure of the hydrogen leaves pure metal, which must be recharged with hydrogen (to again create a metal hydride) by reintroducing the gas, under pressure, into the container. The metal is heated to slightly less than the temperature at which the gas is emitted so the absorption process can take place.

"It's rather like squeezing a sponge," says Dr. Ledwell. "Water is forced from it until it is dry. The dry sponge then can be immersed in water and will soak it up and retain it until the



Conventional hydrogen storage containers such as these may some day be replaced by less heavy storage vessels, using metal hydrides as a "sponge" for the gas. • Il se peut que ces lourds réservoirs soient un jour remplacés par d'autres plus légers et utilisant des hydrures métalliques.

sponge is again squeezed. Instead of the squeezing and releasing, the model for hydrogen storage uses heating and cooling."

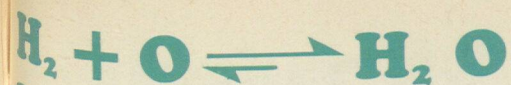
Metal hydrides all have different temperatures at which the powdered metal surrenders the hydrogen. For example, magnesium hydride will release the gas when it is heated to approximately 650 degrees Fahrenheit. Ferrous (Iron) titanium hydride, however, will release hydrogen at 60 degrees Fahrenheit. Work is continuing to determine the temperature at which other metal hydrides, of which there are thousands, will surrender the hydrogen they have absorbed.

The advantages of using the hydride method over either the liquified or pressurized system are considered important by researchers who are attempting to produce an economically feasible process for hydrogen storage which will allow widespread use of the gas as a fuel. The amount of gas which can be stored in a container is increased considerably. For example, one pound of hydrogen can be stored in a container weighing about 50 pounds (including weight of the metal powder), instead of the 200 pounds total for a pressurized container. This means that, in fact, the gas can be stored at twice the density of liquid hydrogen.

"The model has good volumetric efficiency," says Dr. Ledwell. "A hydride vessel which is accidentally broken will not deliver the gas unless there is an intimate heat supply. It is very safe because heat is required to vaporize the hydrogen so it can burn."

In this regard, Dr. Ledwell has reached the preliminary objective of devising a small, safe hydrogen container as an alternative to the conventional bottle system now employed in Canada. But there still remain areas to be explored and possibly corrected.

Impurities in the metal used as the base for the hydrides have been found to improve the metal-hydride ratio, but studies have demonstrated that the presence of oxygen tends to slow down the rate at which the hydrogen is absorbed by the



Mais comment stocker H₂?

jusqu'à une température de -424°F (20°K) ce qui prend du temps et qui coûte cher. En outre, il est nécessaire de prendre des précautions spéciales pour la manutention.

Les études faites au CNRC sont dirigées par le Dr Tom Ledwell et sont caractérisées par l'utilisation d'une poudre métallique dans le réservoir, cette poudre jouant le rôle d'une "éponge" à l'intérieur du gaz. Une maquette a été construite et elle a donné satisfaction dans les conditions normales d'essais. La poudre est un métal qui se charge d'hydrogène en donnant un hydrure; cet hydrure peut ensuite libérer l'hydrogène. Les hydrures essayés ont un dénominateur commun: le gaz est libéré à une vitesse constante calculable.

La maquette du réservoir consiste en une enceinte remplie de poudre. L'hydrure de magnésium a déjà été étudié et semble prometteur. Pour que l'hydrogène soit libéré, il suffit de chauffer le réservoir. Si l'on s'arrête de chauffer, l'émission d'hydrogène s'arrête presque instantanément. Une fois vide, le réservoir peut être rechargé et la température de recharge est légèrement inférieure à celle de libération du gaz faute de quoi le processus d'absorption ne pourrait avoir lieu.

Le Dr Ledwell nous a dit: "C'est un peu comme lorsque l'on presse une éponge: l'eau en sort jusqu'à ce qu'il n'en reste plus. Si l'on immerge l'éponge, elle se remplit d'eau que l'on peut faire sortir en pressant à nouveau. Dans notre cas, l'équivalent de serrer l'éponge correspond au chauffage du réservoir et de l'immerger équivalait au refroidissement".

Les températures d'émission de l'hydrogène varient suivant les hydrures métalliques. Ainsi, l'hydrure de magnésium libère l'hydrogène gazeux vers 650°F environ alors que l'hydrure de titane ferreux le libère à 60°F. On continue d'étudier d'autres hydrures métalliques pour déterminer leur température d'émission.

Les réservoirs à hydrure présentent des avantages sur les autres et c'est pour cette raison que l'on essaye de les rendre économiquement réalisables afin de répandre l'utilisation de l'hydrogène comme combustible. La quantité de gaz qu'on peut stocker dans un réservoir à hydrure est beaucoup plus grande que dans les autres puisqu'une livre d'hydrogène peut être conservée dans une enceinte d'environ 50 livres, le poids de la poudre métallique incluse, au lieu de 200 livres. Autrement dit, la masse volumique du fluide stocké est égale au double de celle de l'hydrogène liquide.

Le Dr Ledwell nous a dit: "Le rendement volumétrique de la maquette est bon. En outre, si le réservoir est crevé accidentellement, l'hydrogène ne sera pas libéré à moins que l'on chauffe. Le système est donc très sûr puisqu'il faudrait chauffer pour vaporiser l'hydrogène avant d'avoir une flamme".

A ce sujet le Dr Ledwell a atteint un premier objectif c'est-à-dire qu'il a pu mettre au point un petit réservoir à hydrogène sûr et pouvant remplacer les bouteilles habituellement utilisées au Canada. Il reste toutefois des domaines à explorer et peut-être aussi des erreurs à corriger.

On a trouvé que les impuretés du métal augmentent le rapport du métal à l'hydrure et que l'oxygène ralentit l'absorption de l'hydrogène durant la recharge. S'il y a oxydation, il se produit en effet un film mince d'oxygène sur le métal et ce film joue le rôle d'une barrière arrêtant l'hydrogène. Une autre étude concerne la formation de poudres pendant le processus d'hydrogénation. Il est souhaitable, jusqu'à un certain point, que le métal soit réduit en poudre car la surface de contact entre le métal et l'hydrogène augmente, ce qui facilite la recharge, mais il reste à trouver quelle est la taille optimum des

hydrogen

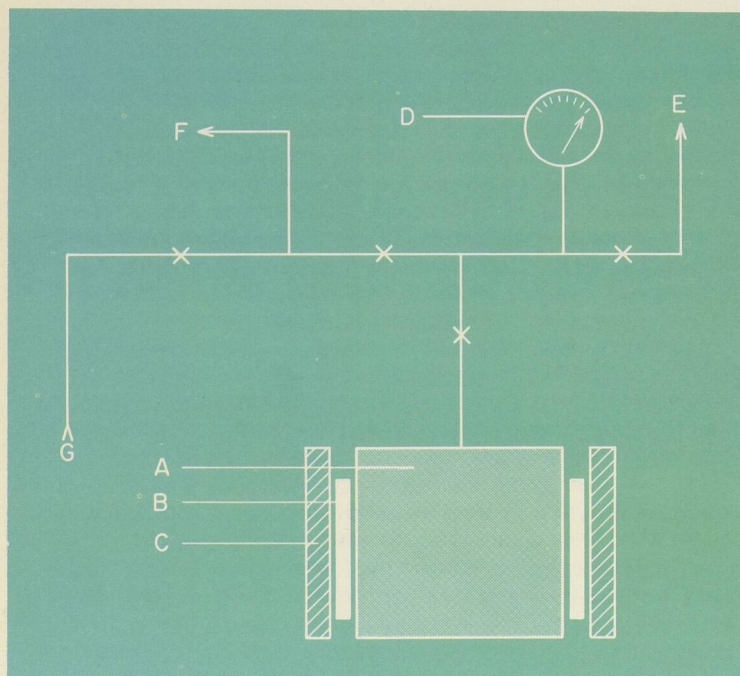


Diagram of model for hydrogen storage
Schéma du montage du réservoir

- | | |
|---------------------------------------|------------------------------|
| A - Metal Hydride | Hydruire métallique |
| B - Electrical Resistance Heater | Chauffage électrique |
| C - Insulation | Isolant |
| D - Pressure Gauge | Manomètre |
| E - To Application | Utilisation |
| F - To Vacuum Pump | Pompe à vide |
| G - Pressurized H ₂ Supply | H ₂ sous pression |
| X - Valves | Vannes |

metal in the recharging process. If oxidation occurs, it creates a thin film on the metal, which acts as a barrier to absorption of hydrogen. Another area of concern over the future perfection of the hydride storage system involves the reduction of the metal to a powder during the actual hydriding process. To an extent, this is desirable because it produces a larger area of metal through which hydrogen can be absorbed and subsequently released. However, the final stable size distribution of these particles is not known and there exists a possibility that the metal particles would continue to be reduced in size until they would become too small to be held in the system.

While continuing to investigate these areas, Dr. Ledwell has discovered that a simple chemical process is responsible for the steady and predictable release of hydrogen from the metal as the heat is applied. The heat is transmitted through the container to the metal, but when the metal hydride starts to give off the gas, the heat is "blown" away by this action. The amount of heat reaching the metal hydride is reduced by this "blowing" process and the release of the gas is decreased allowing heat to again penetrate and activate the metal hydride. This continual process then forms a chemical control system for the release of hydrogen from metal hydride storage containers.

The development of full-scale containers would assist in clearing the way for widespread use of hydrogen. In fact, the

basic technology for converting Canada to hydrogen as a source of energy is either available or close at hand.

While it has been demonstrated that internal combustion engines can easily be modified to operate on hydrogen as a fuel, the storage vessel weight can be prohibitive in certain applications despite the 75 per cent reduction gained through the metal hydride storage system. For instance, Dr. Ledwell doubts that hydrogen, in view of weight considerations, will ever become an economically justifiable alternative to gasoline for powering automobiles. One hundred (100) pounds of gasoline (about 12 gallons) provides the same energy as 40 pounds of hydrogen. But the container and the metal powder needed to store the 40 pounds of hydrogen would weigh about 2,000 pounds. Conventional bottling of that much hydrogen would result in a gross weight in excess of 8,000 pounds.

Instead, Dr. Ledwell is embarking upon another research mission which he feels better fits in with current technology governing hydrogen as a fuel in view of the storage problems. Since the automobile engine has become the subject of new restraints, including severe emission limitations and the shortage of gasoline, Dr. Ledwell proposes using a small amount of hydrogen in conjunction with gasoline to catalyze a lean gasoline-air mixture. Gasoline would therefore remain the principal source of energy for the car, but the addition of hydrogen would hopefully create high thermal efficiency, that is, more mileage per gallon of gasoline and virtually no emission problem.

However, the knowledge that moderate amounts of hydrogen can be obtained from various sources — waste hydrogen from plants producing materials by chemical processes and from coal by heating — Dr. Ledwell sees various practical uses for hydrogen as a fuel in the near future. The criterion is the weight associated with its storage. Thus, locomotives would be a suitable mode of transport to convert to hydrogen fuel. Weight does not have to be of great concern. Subways, submarines and the mining industry also could utilize it and benefit from its major advantage — the burning of hydrogen in underground locations presents no hazards from emissions. And again, weight is not an important consideration.

Insofar as home heating is concerned, Dr. Ledwell says a hydrogen-fuelled furnace would in effect require no stack pipe nor venting to the exterior of a dwelling. The flame is so clean-burning that venting is unnecessary. Presently, between 25 and 30 per cent of heat generated by oil- or gas-fired furnaces is exhausted up the chimney. In addition, the burning of hydrogen results in the generation of water vapor.

"We're not sure whether the humidity level generated by an open hydrogen flame would be suitable or excessive for a Canadian home," he says.

Storage of hydrogen by homeowners need not be a problem. Hydrogen generated at a nuclear power station, for instance, would simply be piped into urban areas. The distance covered by the pipelines would be considerable because of the traditional remote location of nuclear power facilities. The metal hydride system would be utilized for storing excess hydrogen which could then be used during peak demand periods, and the hydrogen would be introduced into the pipeline network under pressure. The pipes themselves would act as pressure containers. The consumer would receive hydrogen in the same manner in which hundreds of thousands of homes now receive natural gas. □

David Smithers

... stocker H₂?

grains qui, s'ils sont trop petits, ne formeront plus qu'une poussière difficile à maintenir dans le réservoir.

Tout en continuant ces études, le Dr Ledwell a découvert le processus à la base de la libération permanente et calculable de l'hydrogène lorsque l'on chauffe les parois du réservoir: lorsque l'hydrure commence à libérer de l'hydrogène la chaleur est, pour ainsi dire, "repoussée". La quantité de chaleur atteignant l'hydrure diminue donc par cette sorte de "soufflage" ce qui entraîne une moindre libération de gaz; de ce fait, la chaleur est moins repoussée et, en conséquence, le dégagement d'hydrogène augmente, ce qui "repousse" la chaleur de nouveau et ainsi de suite. Il existe donc une sorte de régulation du dégagement de l'hydrogène.

Si le système est perfectible et que de grands réservoirs peuvent être construits et essayés, on pourra alors envisager une utilisation étendue de l'hydrogène. En fait, la technologie de base pour que l'on utilise massivement l'hydrogène au Canada semble soit acquise, soit sur le point de l'être.

On a démontré que le moteur à combustion interne peut être facilement modifié pour fonctionner à l'hydrogène mais le poids du réservoir à hydrogène est toujours prohibitif même après l'avoir réduit de 75% en utilisant les hydrures métalliques. Le Dr Ledwell n'est donc pas sûr que l'hydrogène devienne intéressant dans l'automobile quand on le compare à l'essence car 100 livres d'essence, soit environ 12 gallons, donnent la même énergie que 40 livres d'hydrogène nécessitant un réservoir à poudre métallique de 2 000 livres environ. Remarquons qu'un réservoir constitué de bouteilles traditionnelles pèserait plus de 8 000 livres.

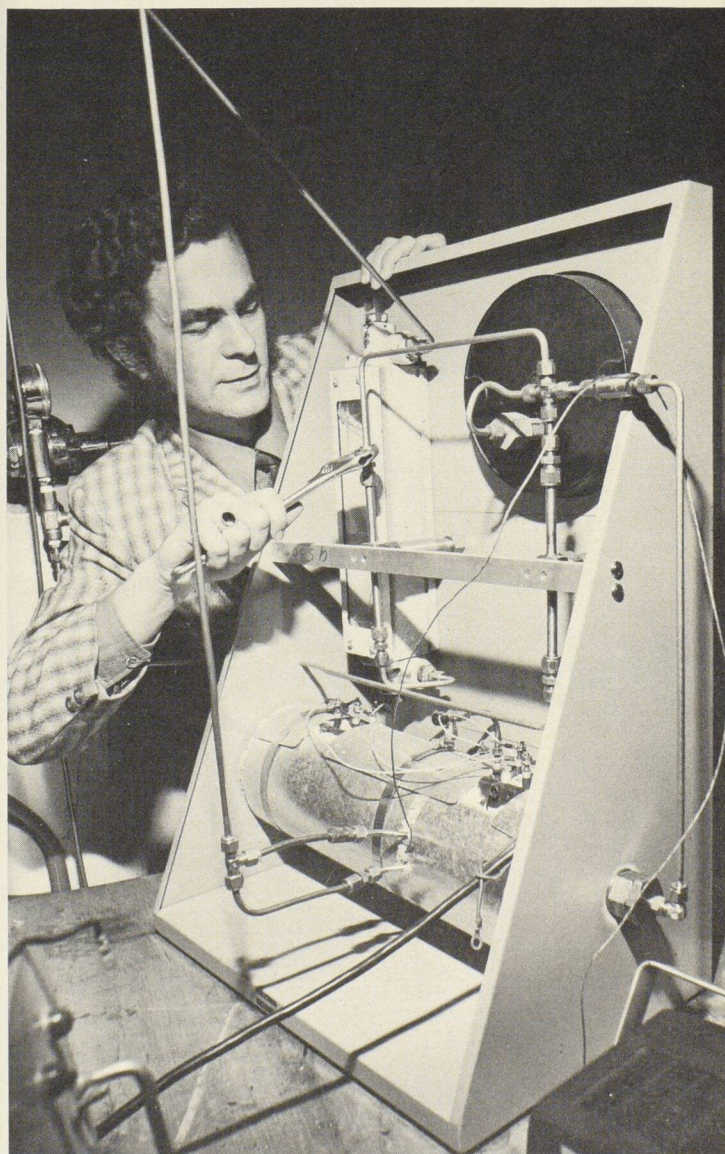
Pour contourner l'obstacle, le Dr Ledwell s'est lancé dans de nouvelles recherches qui, à son point de vue, devraient mener à une meilleure solution. Puisque les moteurs de nos voitures ont fait l'objet de nouvelles restrictions, notamment en matière de pollution et de consommation, le Dr Ledwell propose d'ajouter une petite quantité d'hydrogène enrichissant un mélange pauvre d'essence et d'air. L'essence demeurerait la source principale d'énergie mais l'hydrogène ajouté augmenterait le rendement thermique, c'est-à-dire que l'on pourrait parcourir plus de miles par gallon. En outre, le problème de la pollution serait pratiquement réglé.

Des quantités limitées d'hydrogène peuvent être obtenues de différentes sources, notamment des usines de traitement de matériaux où l'hydrogène est un sous-produit et des usines à gaz où l'on produit le gaz en distillant le charbon; le Dr Ledwell envisage donc différentes utilisations de l'hydrogène comme combustible dans un avenir proche. Le problème à résoudre est celui du poids du réservoir de stockage. En conséquence, il semble que les locomotives pourraient être converties à l'hydrogène car le poids dans les chemins de fer n'est pas un facteur important. Les métros, les sous-marins et l'industrie minière pourraient également s'en servir d'autant plus que la combustion de l'hydrogène sous terre ne présente pas de risque du point de vue de la pollution.

En ce qui concerne le chauffage des habitations, le Dr Ledwell nous a dit qu'une chaudière à hydrogène permettrait de se passer de cheminées et de tuyaux d'aération car la flamme est très propre et la combustion ne donne que de la vapeur d'eau. En outre, il y aurait économie car 25 à 30% de la chaleur produite par une chaudière ordinaire alimentée au gaz ou en dérivés du pétrole se perdent par la cheminée.

Il nous a dit: "Nous ne sommes toutefois pas sûrs que l'humidité relative qui résulterait d'un chauffage à l'hydrogène dans les maisons soit appropriée aux intérieurs canadiens."

Le stockage de l'hydrogène par les propriétaires ne semble pas poser de problèmes. L'hydrogène produite dans une centrale nucléaire, par exemple, serait tout simplement dirigée par des pipe-lines vers les zones urbaines. Ces pipe-lines seraient naturellement très longs en raison du fait que les centrales nucléaires sont construites dans des endroits isolés. Les réservoirs à hydrures métalliques pourraient être utilisés pour stocker l'hydrogène en dehors des périodes de pointes de la consommation. Les pipe-lines serviraient en outre de réservoirs partiels d'hydrogène sous pression. Le consommateur recevrait de l'hydrogène de la même manière que le gaz naturel. □



Dr. Tom Ledwell of NRC's Division of Mechanical Engineering, makes adjustment to a valve on a model devised for the storage of hydrogen.

• Le Dr Tom Ledwell, de la Division de génie mécanique du CNRC, règle une vanne du circuit d'hydrogène d'une de ses maquettes de réservoir.

Cover: A cross-section through the red-blue region of a three-dimensional color space developed at the National Research Council of Canada's Radiation Optics Section, Division of Physics and adopted later as an international standard. (Story page 4). Below: Scientists use the seven-field colorimeter to study the color discrimination faculty of the human eye. Subjects must duplicate a color difference given in two of the windows over the entire colored array by creating appropriate colors in the remaining five windows. By finding a closer approximation to the ideal uniform color space, researchers hope to improve the measurement of color differences. Color photographs by Bruce Kane, NRC. • Notre couverture: profil, dans la région du rouge-bleu, donné par un espace tridimensionnel des couleurs développé à la section de l'optique des radiations de la Division de physique du CNRC et plus tard adopté comme étalon international (article p. 5). En bas: chercheur utilisant le colorimètre à sept cibles pour étudier la discrimination des couleurs par l'oeil humain. Une différence entre deux couleurs, données dans deux des fenêtres, doit être reproduite dans les cinq autres par le sujet. Les chercheurs espèrent mieux mesurer les différences entre les couleurs en trouvant une meilleure approximation de l'espace uniforme et idéal des couleurs. (Photographies en couleur de Bruce Kane, du CNRC).

