

SCIENCE DIMENSION

1975 / 1



National Research
Council Canada

Conseil national
de recherches Canada

SCIENCE DIMENSION

Vol. 7 No. 1, 1975

Contents / Sommaire

4	Going Metric	Le système métrique au Canada	5
10	Seeds of time from the cesium atom	Le temps selon l'atome de césium	11
16	A copper smelter on tape	L'optimisation industrielle	17
22	What triggers an avalanche?	Le déclenchement des avalanches	23
28	Epiphytes in our cities	Les épiphytes de nos grandes villes	29

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

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

Credits — tables, pages 3, 4, 5, Canadian Government Metric Commission; page 8, National Film Board; page 9 (left) Volker Seding Photography Ottawa; page 13, painting of Sir Sanford Fleming courtesy National Archives; pages 16-17, 18, 19, 20, Division of Mechanical Engineering, NRC; page 21 diagram, Miss C.W. Clyde, NRC; pages 22, 23, 24, 25, 26, 27, Division of Building Research NRC; page 29, Information Canada; pages 30, 31, Dr. Fabius LeBlanc.

Illustrations: tableaux des pages 3, 4 et 5 de la Commission du système métrique du gouvernement canadien; page 8, de l'Office national du film; page 9 (à gauche), de Volker Seding Photography Ottawa; page 13, Sir Sanford Fleming, tableau des Archives nationales; pages 16 à 20, de la Division de génie mécanique du CNRC; schéma de la page 21, de Mlle C.W. Clyde, du CNRC; pages 22 à 27, de la Division des recherches en bâtiment du CNRC; page 29, d'Information Canada; pages 30 et 31, du Dr Fabius LeBlanc.

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

EDITORIAL NOTE

Starting with the present issue, Science Dimension will be using the standards of measurement used in engineering and scientific research endeavors described in its articles. Articles written on research using the SI (Système Internationale d'Unités) international system of units, refined from the metric system, will use this standard of measurement, and the Imperial System of Weights and Measures will be used in texts having to do with research using that system. As a transitory measure, equivalents for one or the other system will be given in brackets, unless the SI or metric system has already become the one normally used in the field of research covered. This is in keeping with the fact that Canada, by 1980, will be predominantly an SI country. The article "Going Metric — A Yardstick for Conversion" published in this issue provides information on Canada's proposed timetable for conversion. More generally, Science Dimension will attempt to follow this timetable, moving to an exclusive use of the SI gradually over the next few years, in step with the implementation of SI in this country. As readers will have noted, Science Dimension is also moving to an international size, 297 mm x 210 mm (11 3/4" x 8 1/4").

NOTE DE LA RÉDACTION

A compter du présent numéro, Science Dimension utilisera les normes de mesure employées dans les travaux de recherche scientifique et technique décrits dans ses articles. Les articles préparés sur des recherches utilisant le Système international d'unités, dérivé du système métrique, feront appel à ce système, alors que le Système impérial des poids et mesures continuera d'être employé dans les textes traitant de recherches utilisant ce système. A titre transitoire, les équivalents dans l'un ou l'autre système seront donnés entre parenthèses, à moins que le système SI ne soit déjà devenu celui que l'on emploie normalement dans le domaine de recherches concerné. Cette politique est conforme au fait que le Canada, en 1980, sera devenu un pays où le système SI prédominera. L'article "Le système métrique au Canada — Critères pour la conversion" publié dans ce numéro fournit des informations sur le calendrier adopté par le Canada pour la conversion à ce système. De façon plus générale, Science Dimension se conformera à ce calendrier, évoluant graduellement vers un emploi exclusif du SI au cours des prochaines années, au rythme de la mise en oeuvre du système au pays. Comme nos lecteurs l'auront remarqué, Science Dimension adopte également un format international, 297 mm x 210 mm (11 3/4" x 8 1/4").

METRIC CONVERSION TABLE

Approximate conversions to metric measures

When You Know	Multiply by	To Find	Symbol
LENGTH			
inches	2.5	centimetres	cm
feet	0.3	metres	m
yards	0.9	metres	m
miles	1.6	kilometres	km
AREA			
square inches	6.5	square centimetres	cm ²
square feet	0.09	square metres	m ²
square yards	0.8	square metres	m ²
square miles	2.6	square kilometres	km ²
acres	0.4	hectares	ha
MASS			
ounces	28	grams	g
pounds	0.45	kilograms	kg
short tons (2000lb)	0.9	tonnes	t
VOLUME			
fluid ounces	28	millilitres	ml
pints	0.57	litres	l
quarts	1.14	litres	l
gallons	4.5	litres	l
cubic feet	0.03	cubic metres	m ³
cubic yards	0.76	cubic metres	m ³
TEMPERATURE (exact)			
Fahrenheit		Celsius	°C
	$°F - 32 \times 5/9 = °C$		

TABLE DE CONVERSION MÉTRIQUE

Conversion approximative aux unités métriques de mesure

Lorsque vous connaissez les mesures en	multipliez par	pour obtenir des	Symbole
LONGUEUR			
pouces	2.5	centimètres	cm
pieds	0.3	mètres	m
verges	0.9	mètres	m
miles	1.6	kilomètres	km
SUPERFICIE			
pouces carrés	6.5	centimètres carrés	cm ²
pieds carrés	0.09	mètres carrés	m ²
verges carrées	0.8	mètres carrés	m ²
miles carrés	2.6	kilomètres carrés	km ²
acres	0.4	hectares	ha
MASSE			
onces	28	grammes	g
livres	0.45	kilogrammes	kg
tonnes courtes (2000 lb)	0.9	tonnes	t
VOLUME			
onces liquides	28	millilitres	ml
chopines	0.57	litres	l
pintes	1.14	litres	l
gallons	4.5	litres	l
pieds cubes	0.03	mètres cubes	m ³
verges cubes	0.76	mètres cubes	m ³
TEMPÉRATURE (exacte)			
Fahrenheit		Celsius	°C
	$°F - 32 \times 5/9 = °C$		



Going metric — A yardstick for conversion

Most meteorologists agree that by 1980 winter temperatures in Canada will seldom rise above zero.

The dawn of a new Ice Age? No, but by 1980 it is expected that Canada will be a predominantly metric country. As a result, weather forecasts will be given in degrees Celsius on a temperature scale normally associated with the metric system and having zero (rather than 32 degrees) as the freezing point of water. But, although the numbers may change, it won't really be any colder. This meteorological conversion program is expected to last from mid-1974 to late 1976.

According to the Canadian government's Metric Commission, 1977 will be the peak metric conversion year. By then, all major road signs in Canada setting out distances in miles and speed limits in miles per hour, will be replaced by new signs marking distances and speed limits in kilometres. Clothing sizes will be given in centimetres rather than in inches. Building dimensions will be written in metres and centimetres rather than in feet and inches. The list of future metric changeovers is almost endless.

The entire program is geared to keep Canada from remaining an inch-pound island in an otherwise metric sea. More precisely, Canada will convert to the SI (Système International d'Unités), a preferred international system of units evolved and refined from the original metric scheme. It is the latest stop on the world's metric itinerary which began in the seventeenth century.

The first comprehensive decimal (relating to tenths or tens) system of weights and measures was proposed in 1670 by Abbé Gabriel Mouton, a vicar in Lyons, France.

But the original metric (based on the metre) system was born many years later in the aftermath of the French Revolution. In 1791, a committee of the Paris Academy of Sciences fixed the standard of length as the metre, derived from the Greek word metron meaning measure. This quantity was defined as one ten-millionth part of the distance from the Equator to the North Pole, and was established by measuring the arc of the meridian from Dunkirk, France to Barcelona, Spain.

The nascent metric system soon spread across continental Europe with Napoleon's armies to take root in many conquered territories.

In Britain, meanwhile, the Imperial system of weights and measures had evolved from convenient trading practices of the eighteenth century. The units comprising this system were often arbitrary in relation to one another. In North America, this application of pounds, feet and British thermal units was one legacy of membership in the British Empire. Many other nations doing business with Britain also adopted the same system of standards and measurements.

The French (Napoleonic) metric system became gradually more refined during the nineteenth century and soon gained acceptance, most notably in scientific circles, throughout the world. Canada's Weights and Measures Act of 1873 legally permitted the use of metric standards although the Imperial system was still preferred for virtually all practical measurements. Eventually, in 1951, Imperial units such as the yard and the pound which remained in everyday use were redefined in metric terms.

In 1875, 17 nations signed the Treaty of the Metre through which an international body was established to standardize metric units throughout the world. Before signing in her own right in 1907, Canada's adherence to this body was assumed via the United Kingdom. Metal standards made of platinum-iridium alloy were constructed to define the international metre and the prototype kilogram, while the litre was defined as one kilogram of water at maximum density. Since then, international conferences on weights and measures (Conférences générales des Poids

et Mesures — CGPM) have been held regularly with the purpose of maintaining and refining the metric units and of disseminating them throughout the world.

In 1948, the ninth CGPM undertook the task of compiling a comprehensive set of rules for units of measurement, or *Système International d'Unités*. Since then, the SI has been progressively developed, starting from the base of the MKSA (metre, kilogram, second, ampere) system already used by scientists and technologists.

Much of this work has been guided by seven international consultative committees (each concerned with a different aspect of measurement) whose members are supplied by the larger national standards laboratories; NRC is represented on all of these. In addition, NRC laboratories carry out important development work necessary to the maintenance of a world-wide measuring system.

On the first level, the SI is composed of seven base units (Table 1). Multiples of base units in powers of ten are named by adding standard SI prefixes to the name of the initial base quantity (Table 2). Thus the kilometre (kilo- denotes a factor of one thousand) and the millimetre (milli- represents one-thousandth) are larger and smaller multiples respectively of one base unit, the metre. This is both simple and consistent, which is not the case, for example, for the system in which pounds are comprised of 16 ounces or yards represent three feet.

The SI also includes a series of units having special names which are derived from a product or quotient of any of the base seven. For example, the expression for the newton (N), which is the derived unit of force, involves the product

Table 1. The seven base units of the SI

Quantity	Name of Unit	Sym.
length	metre	m
mass	kilogram	kg
time	second	s
electric current	ampere	A
thermodynamic temperature	kelvin	K
amount of substance	mole	mol
luminous intensity	candela	cd

Table 2. SI prefixes

Multiplying factor	Prefix	Sym.
1 000 000 000 000 000 000 = 10 ¹⁸	exa	
1 000 000 000 000 000 = 10 ¹⁵	peta	
1 000 000 000 000 = 10 ¹²	tera	
1 000 000 000 = 10 ⁹	giga	
1 000 000 = 10 ⁶	mega	
1 000 = 10 ³	kilo	
100 = 10 ²	hecto	
10 = 10 ¹	deca	
BASE UNIT		
0.1 = 10 ⁻¹	deci	
0.01 = 10 ⁻²	centi	
0.001 = 10 ⁻³	milli	
0.000 0001 = 10 ⁻⁶	micro	
0.000 000 001 = 10 ⁻⁹	nano	
0.000 000 000 001 = 10 ⁻¹²	pico	
0.000 000 000 000 001 = 10 ⁻¹⁵	femto	
0.000 000 000 000 000 001 = 10 ⁻¹⁸	atto	

Le système métrique au Canada

Critères pour la conversion

Pour la plupart des météorologistes, il est clair que les températures ne s'élèveront que rarement au-dessus de zéro durant l'hiver de 1980.

Est-ce que nous nous en allons vers une nouvelle période glaciaire? Certainement pas! Mais on pense que le Canada aura, dans sa plus grande partie, adopté le système "métrique" en 1980 et c'est pourquoi les températures des prévisions météorologiques seront données en degrés Celsius, c'est-à-dire selon une échelle dont le zéro correspond à 32°F, point de solidification de l'eau. Autrement dit, soyez sans crainte car, même si les nombres changent, il ne fera pas plus froid. Cette conversion météorologique se fera de l'été 1974 à la fin de 1976.

Selon la Commission du système métrique du gouvernement canadien, l'année 1977 sera l'année de conversion la plus intense car c'est cette année-là que les panneaux indicateurs de nos routes donneront les distances et les vitesses maximales en kilomètres et kilomètres à l'heure. Nos vêtements et nos maisons seront aussi "métrés", ou "métrifiés", et l'on parlera de centimètres et de mètres plutôt que de pouces et de pieds. Il en sera de même dans bien d'autres domaines.

Tout ce programme de conversion est entrepris pour que le Canada ne devienne pas un pays à l'esprit insulaire et isolé des autres dans un monde entièrement métrique. En fait, et plus précisément, le Canada va adopter le système international (SI) d'unités dérivé lui-même du système métrique. Ce système international peut être en effet considéré comme étant l'étape actuelle d'une longue évolution qui a commencé au 17^e siècle.

C'est en effet en 1670 que l'abbé Gabriel Mouton, de Lyon, en France, a proposé un système de mesures à base 10, c'est-à-dire où l'on n'utilise que des unités étant de 10 en 10 fois plus grandes ou plus petites les unes que les autres.

Il a fallu toutefois encore bien des années pour que naisse le système décimal et métrique basé sur le mètre. C'est en effet au moment de la Révolution française, en 1791, qu'un comité de l'Académie des sciences, à Paris, a défini l'étalon de longueur, c'est-à-dire le mètre dont le nom est tiré du grec "métron", signifiant mesure. Depuis cette époque, tous les petits Français apprennent que le mètre est la dix-millionième partie du quart du tour de la Terre. La mesure a été faite sur le méridien de Paris entre Dunkerque et Barcelone de 1792 à 1799.

Le système métrique naissant s'est ensuite rapidement répandu d'un bout à l'autre de l'Europe probablement aussi grâce à l'influence napoléonienne.

En Grande-Bretagne, on utilisait alors le système dit "Impérial", né d'habitudes remontant fort loin parfois mais satisfaisantes pour les besoins du 18^e siècle. Souvent les unités du système anglais étaient arbitraires les unes par rapport aux autres. Dans l'Amérique du Nord anglaise, on se servait déjà de la livre, du pied et de l'Unité thermique britannique (BTU) du fait que les Américains étaient de langue anglaise et d'anciens membres de l'Empire britannique. De nombreuses autres nations, faisant du commerce avec la Grande-Bretagne, avaient aussi adopté le système "Impérial".

Le système métrique de l'époque napoléonienne a fait l'objet de perfectionnements et de mises au point tout le long du 19^e siècle au cours duquel il a été vite accepté surtout dans les milieux scientifiques du monde entier. La Loi sur les poids et mesures du gouvernement canadien, en 1873, permettait que l'on utilise les étalons du système métrique mais le système impérial restait encore le plus utilisé dans la vie courante. Finalement, en 1951, des unités comme le "yard", appelé "verge" au Canada français, et la livre qui continuaient de servir journalièrement, ont été tout simplement redéfinis en fonction du mètre et du kilogramme.

En 1875, 19 nations ont signé la Convention du mètre grâce à laquelle un organisme international a été créé pour normaliser les unités métriques d'un bout à l'autre du monde. Le Canada était alors représenté par le Royaume-Uni; il a signé cette convention et 1907. On a réalisé des étalons en platine iridié pour définir le mètre et le kilogramme mais le litre a été défini comme étant le volume occupé par un kilogramme d'eau à sa masse volumique maximum. Depuis cette époque, des Conférences internationales des Poids et Mesures ont eu lieu régulièrement pour préciser les unités métriques et pour que leur usage s'universalise.

En 1948, la 9^e Conférence générale des Poids et Mesures a entrepris de compiler un grand groupe de règles concernant les unités de mesure et appelé Système international d'unités. Par la suite, le Système international a été progressivement mis au point en partant du système MKSA, c'est-à-dire du mètre, du kilogramme, de la seconde et de l'ampère, système déjà utilisé par les scientifiques et les ingénieurs.

Une grande partie de ces travaux a été placée sous la direction de sept comités consultatifs internationaux, dont chacun s'occupe d'un type différent de mesure, constitués de membres appartenant aux plus grands laboratoires nationaux d'étalons. Le CNRC est représenté dans chacun d'eux et ses propres laboratoires contribuent aux travaux qui se font dans le cadre d'un système mondial de mesure.

Le Système international comprend sept unités de base données dans le tableau 1. Les multiples et les sous-multiples de ces unités s'obtiennent en faisant glisser la virgule ou le point décimal vers la gauche ou vers la droite et en utilisant le préfixe correspondant à l'unité en question

Tableau 1: Les sept unités de base du Système international

GRANDEUR	DÉNOMINATION	SYMBOLE
longueur	mètre	m
masse	kilogramme	kg
temps	seconde	s
intensité de courant électrique	ampère	A
température thermodynamique	°Kelvin	°K
quantité de matière	mole	mol
intensité lumineuse	candela	cd

Tableau 2. Préfixes SI

Facteur par lequel est multipliée l'unité	Préfixe	Symbole
1 000 000 000 000 000 000 = 10 ¹⁸	exa	E
1 000 000 000 000 000 = 10 ¹⁵	peta	P
1 000 000 000 000 = 10 ¹²	tera	T
1 000 000 000 = 10 ⁹	giga	G
1 000 000 = 10 ⁶	mega	M
1 000 = 10 ³	kilo	k
100 = 10 ²	hecto	h
10 = 10 ¹	déca	da
UNITÉ DE BASE		
0.1 = 10 ⁻¹	déci	d
0.01 = 10 ⁻²	centi	c
0.001 = 10 ⁻³	milli	m
0.000 0001 = 10 ⁻⁶	micro	μ
0.000 000 001 = 10 ⁻⁹	nano	n
0.000 000 000 001 = 10 ⁻¹²	pico	p
0.000 000 000 000 001 = 10 ⁻¹⁵	femto	f
0.000 000 000 000 000 001 = 10 ⁻¹⁸	atto	a

of mass (kg) and length (m) divided by the square of time (s^2).

Two other units (the radian for plane angle and the steradian for solid angle) are not classed as either base or derived and are simply referred to as supplementary units.

Finally, several non-SI units which are deeply engrained in common usage will remain universally permissible within the system. It is recognized that the minute, hour, day or year (units derived from the second, but non-multiples of ten) would be virtually impossible to replace. Other units such as the electron volt will remain permissible in specialized fields, but units like the knot or the nautical mile will stay in use for a limited time only.

This system was endorsed by Parliament in the 1970 White Paper on Metric Conversion in Canada. By an Order-in-Council of June, 1971, the Metric Commission was established to prepare an overall plan for metric conversion in the scientific, industrial, commercial and domestic sectors.

Although the Commission was empowered to implement the practical means to conversion, it required unequivocal working documents and technical source references on which to base its recommendations.

In support of the Commission, The Standards Council of Canada became responsible for planning and carrying out a program for the development of metric standards or specifications.

Two national standards documents were published in 1973 by the Metric Practice Guide Committee (MPGC) of the Canadian Standards Association (CSA), a national association dedicated to providing services in support of standardization.

Mr. Eric Green of the National Research Council of Canada's Division of Physics has served as Chairman of the MPGC since 1967. In his capacity as Head of the Division's Mechanics Section, he has also been concerned with fundamental and legal standards.

"Both the United States and Britain, working within the International Bureau of Weights and Measures, published documents on the SI and on the relationships between their own customary units and those of the SI," he explains. "Each country now has its own version which naturally reflects its own interests. It is obvious Canada must have similar documents to gear our country to the change."

Although the Canadian versions are in technical agreement with the American and British documents, they lend a Canadian perspective in certain areas.

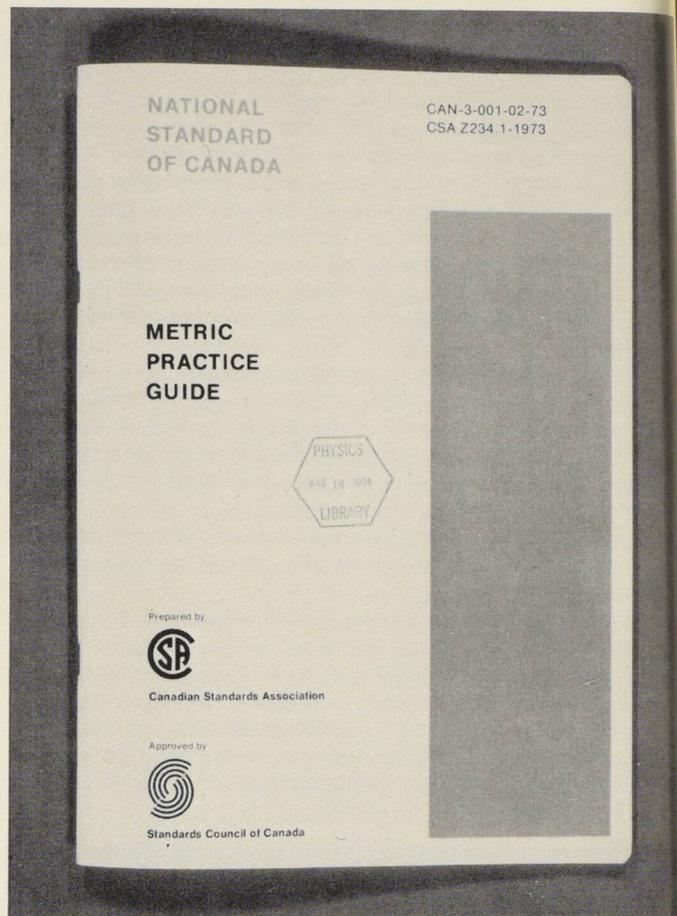
Mr. Green describes one publication of the MPGC "The International System of Units (SI)", as an academic document tracing the history of the SI and the definitions of its base units.

A second publication, the "Metric Practice Guide" focusses more on practical guidelines for using the SI. The Guide contains information on all the base, supplementary and derived units, rules of style for symbols, nomenclature, spelling and writing of SI units, as well as precise conversion tables which translate between the SI and our conventional system.

The Guide also includes a conversion of disparate foreign units. For example, the Canadian gallon differs from both the American and the Imperial gallon, although in the latter case by only a few parts per million.

These two documents are now used as reference texts at all levels of Canada's conversion program. Whether by the Metric Commission or by related committees, the SI will be translated from these into the language of the ultimate user, the citizen or tradesman with a specific application.

"Our Committee has done its job," Mr. Green says, "but we can only sort it out so far. Now industries and those con-



These two national standards documents, prepared by the Metric Practice Guide Committee of the Canadian Standards Association, are the reference texts at all levels of Canada's metric conversion program. Whether by the Metric Commission or by related committees, the SI will be translated from these into the language of the ultimate user, the citizen or tradesman with a specific application.

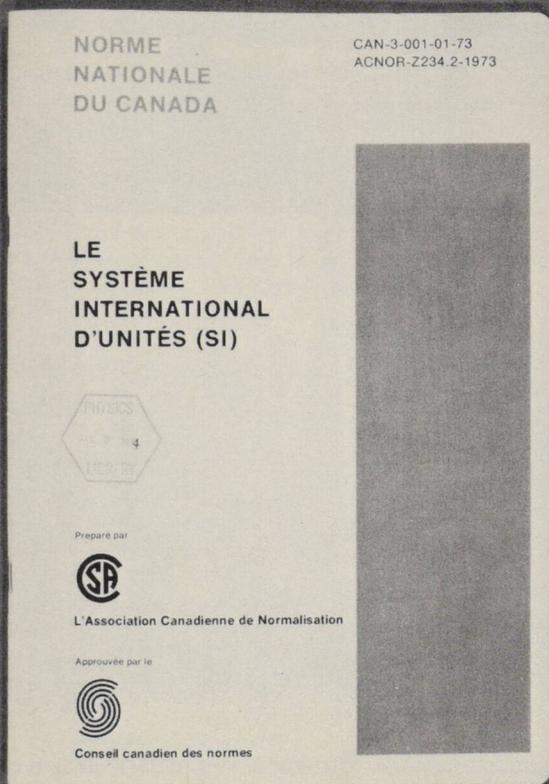
Ces deux documents nationaux, préparés par le Comité de guide de familiarisation au système métrique de l'Association canadienne de normalisation, sont les textes de référence à tous les niveaux du programme canadien de conversion. Que ce soit par la Commission du système métrique, ou par des comités qui travaillent avec elle, le Système international passera finalement dans la langue de tout le monde.

cerned with education must set their own priorities and present the SI in a written form which is appropriate for the readers in their areas of activity."

The MPGC and its 30 members representing industry, trade organizations and educational institutions currently acts in an advisory capacity for some problems. It is also concerned with documents on preferred multiples in the SI. The multiple chosen for a particular (perhaps industrial) application is one which will lead to numerical values within a practical range. For example, writing 3.94 mm is preferred to 0.003 94 m.

The Committee recognizes that the SI, although the best devised thus far, is by no means perfect.

"When you try to standardize anything," Mr. Green notes, "you sometimes run into the brick wall of what has been done in the past. Some problems are always inherited. If the SI had been generated from nothing, we would probably now have an elegantly precise system governed by rules with no exceptions."



commerciaux et pour tout un chacun également.

Quoique la commission était mandatée pour mettre en pratique cette conversion, il était nécessaire qu'elle dispose de références et de documents sans équivoque sur lesquels elle pourrait baser ses recommandations.

Pour soutenir la commission, le Conseil canadien des normes a été rendu responsable de la planification et de la mise en application d'un programme de développement des étalons et des normes métriques.

Deux documents nationaux ont été publiés en 1973 par le Comité du guide de familiarisation au système métrique de l'Association canadienne de normalisation, association nationale dont la mission est d'assurer des services pour appuyer la normalisation.

M. Eric Green, de la Division de physique du Conseil national de recherches du Canada, est président du Comité du guide de familiarisation au système métrique depuis 1967. En tant que chef de la section de mécanique de la division, il s'est aussi intéressé aux étalons de mesures de base et légaux.

Il nous a dit: "Les États-Unis et la Grande-Bretagne ont travaillé ensemble au sein du Bureau international des Poids et Mesures pour publier des documents sur le Système international et sur les relations entre leurs propres unités traditionnelles et celles du Système international. Chaque pays a maintenant sa propre version qui reflète naturellement ses propres intérêts. Il est évident que le Canada doit avoir des documents semblables pour que le pays soit prêt pour le changement".

Quoique les versions canadiennes soient techniquement en accord avec les documents américains et anglais, elles en diffèrent toutefois dans quelques cas du fait que certaines mesures sont typiquement canadiennes.

M. Green a décrit une publication du comité intitulée "Le Système international d'unités", comme étant un document reflétant l'histoire du système international et donnant les définitions des unités de base.

Une deuxième publication intitulée "Guide de familiarisation au système métrique" est plus orientée vers la pratique. Ce guide contient des renseignements sur toutes les unités de base, supplémentaires et dérivées, sur la manière d'écrire les symboles, sur les noms et l'orthographe des unités et l'on y trouve aussi des tables de conversion qui permettent de passer d'un système dans l'autre.

Le guide comprend également des facteurs de conversion pour les unités étrangères disparates. C'est ainsi que le gallon canadien diffère du gallon américain et aussi du gallon impérial quoique, dans ce dernier cas, la différence n'est que de quelques millièmes.

Ces deux documents servent maintenant de textes de références à tous les niveaux du programme canadien de conversion. Que ce soit par la Commission du système métrique, ou par des comités qui travaillent avec elle, le Système international passera finalement dans la langue de tout le monde.

M. Green a ajouté: "Notre comité a fait son travail mais, jusqu'à maintenant, nous ne pouvons guère que préparer l'adoption. Maintenant, c'est aux industriels et aux éducateurs de définir leurs priorités et de présenter le Système international sous une forme appropriée dans les domaines d'activité des lecteurs".

Le Comité du guide de familiarisation au système métrique et ses 30 membres représentant l'industrie, les associations professionnelles et les établissements d'enseignement, ont un rôle de conseiller dans certains cas. Le comité s'intéresse aussi aux documents concernant les unités préférées parmi les multiples et les sous-multiples. L'unité choisie dans un domaine particulier, industriel par exemple, sera celle qui convient le mieux dans cette industrie et l'on préférera

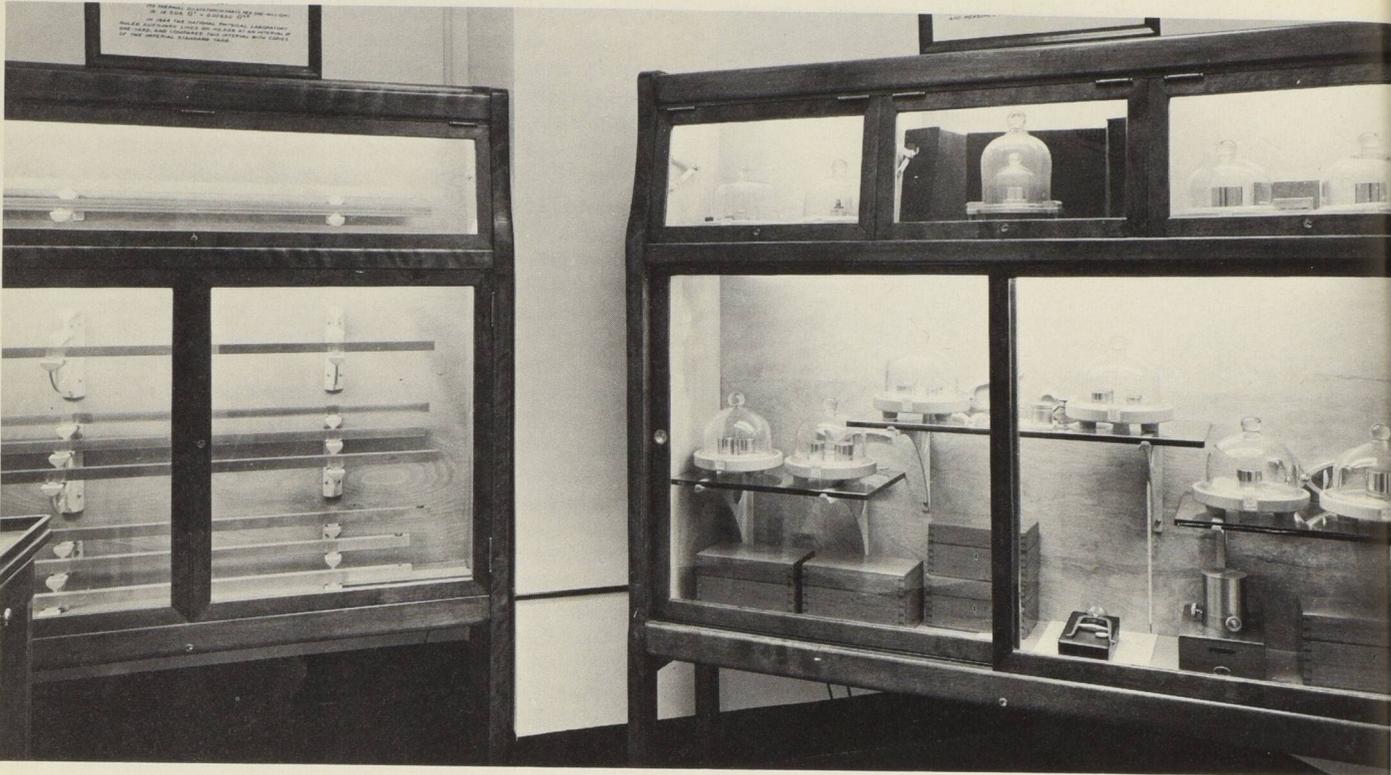
(voir le tableau 2). Ainsi, le mot "kilomètre" formé du préfixe "kilo" signifiant "mille" et du mot "mètre" vaut mille mètres et le mot "millimètre" formé du préfixe "milli" signifiant "millième" et du mot "mètre" vaut un millième de mètre. Ce système est donc très simple quand on le compare au système des mesures anglaises où l'on trouve par exemple que la livre est faite de 16 onces et les yards, ou verges, de 3 pieds.

Le Système international comprend également des unités qui sont obtenues à l'aide de produits ou de quotients en partant des sept unités de base. Ainsi, le newton (N), unité de force, est obtenu en multipliant la masse exprimée en kilogramme (kg) par une accélération, elle-même obtenue en divisant une longueur exprimée en mètres (m) par le carré du temps exprimé en secondes (s²).

Deux autres unités, le radian pour les angles plans et le stéradian pour les angles solides, ne sont pas encore classées comme unités de base ou unités dérivées mais simplement comme unités supplémentaires.

Finalement, on pourra toujours se servir de certaines unités qui ne relèvent pas du Système international mais dont l'usage est fortement enraciné dans le monde entier. Il s'agit de la minute, de l'heure, du jour ou de l'année, toutes unités dérivées de la seconde mais qui ne sont pas des multiples de dix; ces unités sont pratiquement impossibles à remplacer. D'autres unités, comme l'électron-volt, pourront être utilisées dans des travaux très spécialisés; le noeud et le "mille nautique", ou mille marin, continueront d'être utilisés pendant un certain temps.

En 1970, le Parlement, dans son Livre blanc sur la Conversion au système métrique, a accepté ce système. Par décret ministériel, de juin 1971, la Commission du système métrique a été créée pour préparer un plan global de conversion dans les secteurs scientifiques, industriels,



Metal standards of mass and length are housed in a vault at NRC's Division of Physics in Ottawa. Traditionally, metal bars (left) have served as length standards. The original Canadian standard of length, a bronze standard yard, came from England in 1874. A nickel replica of the international length standard (a platinum-iridium metre bar kept at Sèvres, France) was obtained in 1921. However, the international metre was re-defined in 1960 in terms of an invariant physical quantity, the frequency of a particular emission line in the spectrum of krypton-86. This standard of length is now maintained by the Optical Physics Section of the Division of Physics.

Les étalons métalliques de masse et de longueur sont placés sous la garde de la Division de physique du CNRC à Ottawa. Traditionnellement, des barres de métal (à gauche) ont servi d'étalons de longueur. L'étalon canadien de longueur a été, à l'origine, une "verge" de bronze apportée d'Angleterre en 1874. Une copie en nickel de l'étalon international de longueur, un mètre en platine iridié déposé à Sèvres, en France, a été obtenue en 1921. Toutefois, le mètre international a été redéfini en 1960 en fonction d'une quantité physique invariable: la fréquence d'une raie d'émission particulière dans le spectre du krypton 86. Cet étalon de longueur est maintenant conservé par la section de la physique optique de la Division de physique.

One brick from that wall is the kilogram, still a base unit but a remnant from the Napoleonic system. The difficulty lies not with the size of the quantity itself but in nomenclature. The name "kilogram" already bears the prefix kilo- (no other base units have prefixes) since it has survived intact as a multiple of the gram, once a component unit of the older centimetre-gram-second system, but no longer recognized as a base unit.

If not perfect yet, the SI is in a continuing state of development and refinement.

"It's going to be changing all the way on," Mr. Green explains. "The system would stagnate if the definitions of the units and their practical realization were not updated from time to time. This will become important especially when the

larger industries begin to adapt and encounter possible roadblocks in some metric practices."

Mr. Green describes two basic types of conversions which industry must face in going metric.

The easier or "soft" conversion involves a straightforward mathematical translation of customary to SI units. In seeking to convert any size in inches to one in millimetres, for example, a manufacturer need simply set his slide rule at 25.4.

More difficulties arise with "hard" conversions which involve physically changing commodities, engineering components or industrial items to a convenient, rounded-off metric unit.

For example, a direct "soft" conversion of speed limits now set at 30 miles per hour would yield traffic signs urging drivers to restrict their speed to 48.28 kilometres per hour, a peculiar and rather inconvenient figure. On the other hand, a "hard" conversion would alter the same speed limit to perhaps 50.

In practice, similar "hard" conversions within industry require much deliberate planning. Where the sizes of such items as screw threads or machine components are rounded off to an appropriate metric dimension, strong economic considerations take hold. If materials are then unavailable within the tolerances of the converted size, partial redesign of some equipment may become necessary.

Although the process of metric conversion will be both costly and complex, compelling positive benefits were reviewed in the government's 1970 White Paper.

"The conversion is undertaken in the expectation that the costs will be more than offset by the benefits. These will derive from the simplicity in use of the more rational system of units and from the improved ability to communicate both commercially and in other ways with the growing metric community."

Many sectors of society are already thinking metric before any full-scale conversion begins. After all, 28.350 g of prevention is worth 0.454 kg of cure.

□ **W.J. Cherwinski**

écrire 3,94 mm plutôt que 0,003 94 m.

Le comité reconnaît que le Système international est loin d'être parfait même s'il est actuellement supérieur aux autres.

M. Green a ajouté: "Lorsque vous essayez de normaliser quelque chose, vous vous heurtez parfois à un mur, c'est-à-dire à ce qui s'est fait dans le passé. Certaines difficultés viennent de loin. Si le système international était parti de rien nous aurions probablement bâti un système précis et élégant basé sur des règles sans aucune exception".

L'une des pierres du mur est le kilogramme, l'une des unités de base, mais aussi une des survivances du système napoléonien. La difficulté ne se trouve pas dans la dimension de cette quantité mais dans sa dénomination. Le nom "kilogramme" comprend le préfixe "kilo" alors qu'aucune autre unité de base n'a de préfixe; c'est un multiple du gramme qui, lui-même, était l'une des unités de base de l'ancien système CGS, c'est-à-dire du système basé sur le centimètre, le gramme et la seconde.

Le Système international n'étant pas encore parfait, on essaie sans cesse de l'améliorer.

M. Green nous a encore dit: "Il y aura toujours des changements. Le système stagnerait si les définitions des unités et leur réalisation pratique n'étaient pas mises à jour de temps en temps. Ce sera là un travail important plus spécialement lorsque les grandes industries commenceront à rencontrer des obstacles dans l'application du système métrique".

M. Green nous a décrit deux types fondamentaux de conversions industrielles.

Le premier type pourrait s'appeler "conversion exacte" et ne consisterait qu'en une multiplication exécutée avec une règle à calcul; ainsi on multiplierait les dimensions en pouces par 25,4 pour avoir des millimètres.

On rencontre plus de difficultés pour la conversion "approximative". C'est le cas, par exemple, de pièces de moteurs ou d'articles changeant physiquement, des composantes de machines, etc., qui n'ont pas été calculées au départ dans le système métrique.

Nous pouvons donner, comme exemple, la vitesse de 30 miles à l'heure qui donnerait, après conversion exacte, une vitesse de 48,28 kilomètres à l'heure, nombre quelque peu compliqué et inattendu. D'un autre côté, la conversion approximative pourrait induire à adopter 50 car 50 "frappe"

mieux le conducteur que 48,28.

En fait, de nombreuses conversions dans le domaine industriel ne peuvent se faire qu'après une planification sérieuse. Ainsi, pour les pas de vis ou les composantes de machines, il semble difficile de faire une conversion approximative car il faut alors résoudre le problème des tolérances ce qui conduit souvent à recalculer et à redessiner certains équipements.

Il est certain que la conversion dans le Système international sera à la fois coûteuse et compliquée; toutefois, dans le Livre blanc de 1970 du gouvernement, on passe en revue les avantages que l'on pense en tirer et nous citons cet extrait:

"On se lance dans la conversion dans l'espoir que les avantages l'emporteront sur les coûts. Les avantages découlent de ce que le système d'unités, de conception plus rationnelle, est simple à utiliser et facilite les communications, sur le plan commercial et à d'autres niveaux, avec le groupe toujours plus nombreux des adhérents au système métrique".

De nombreux secteurs de la société pensent déjà en termes métriques bien avant que la conversion soit commencée sur une grande échelle. Après tout, "mieux vaut prévenir que guérir", comme on dit en français, ce que Wally Cherwinski exprime en anglais et après "métrification": "28.350 g of prevention is worth 0.454 kg of cure". □

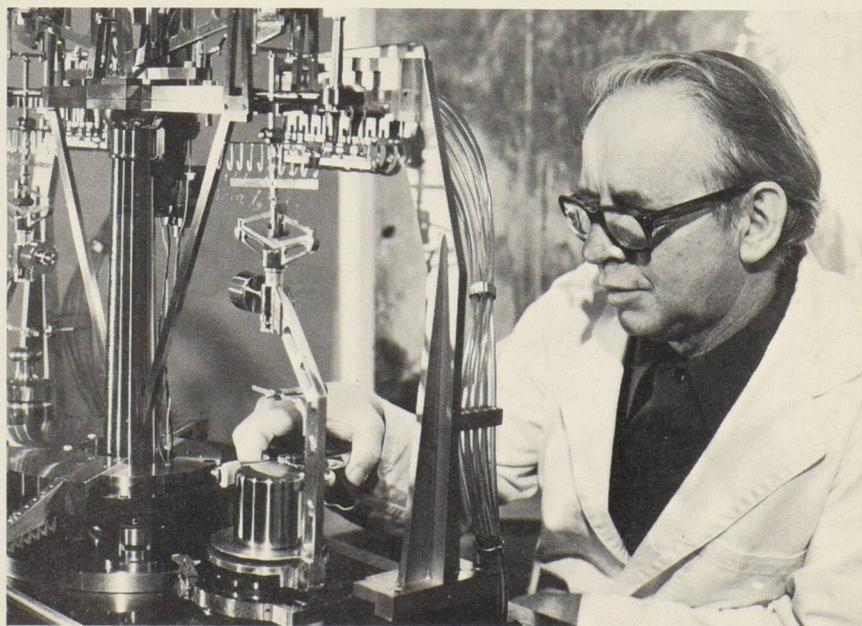
The primary standards of mass (both the pound and the kilogram) are maintained for Canada by the Mechanics Section of NRC's Division of Physics.

The primary one kilogram standard, here isolated under two bell jars, is constructed of platinum-iridium alloy.

A hydraulically-operated primary balance, normally sealed within a controlled environment, is used for the periodic weighing of reference standards and the calibration of secondary working standards. Here Mr. Roland Gendron adjusts a weight on the pan.

Les étalons primaires de masse, la livre et le kilogramme, sont conservés au Canada par la section de mécanique de la Division de physique du CNRC.

L'étalon primaire canadien représentant le kilogramme, placé sous deux cloches, est en platine iridié. Il est identique au prototype international. Une balance primaire commandée hydrauliquement et normalement étanche dans un environnement contrôlé sert périodiquement et uniquement à comparer les étalons de référence avec l'étalon primaire. M. Roland Gendron place un poids sur la balance.



Seeds of time from the cesium atom – A new standard in atomic clocks



Over the years there have been countless descriptions of time. A file that wears and makes no noise. The arbitrary division of eternity. A sandpile we run our fingers in. The life of the soul.

For centuries, men have sought the most accurate means to measure and monitor time. Their search has ranged from tracking the regular motions of heavenly bodies to probing the energies of atoms.

A significant advance in atomic timekeeping has lately been made in the Time and Frequency Section of the National Research Council of Canada's Division of Physics. A new cesium beam standard, Cs V, will soon begin operation as the world's most accurate clock.

Dr. Cecil Costain, Head of the Time and Frequency Section, tests apparatus from a planned new service for the distribution and maintenance of correct time. From anywhere in Canada, a commercial secondary clock can be linked by telephone line with the NRC laboratory from where its time will be corrected automatically via an electronic time code.

Le Dr Cecil Costain, chef de la section Temps et fréquence, essaye un appareil appartenant à un nouveau service prévu pour la diffusion et la conservation de l'heure exacte. Une horloge secondaire commerciale, où qu'elle soit au Canada, peut être reliée par ligne téléphonique au laboratoire du CNRC pour être corrigée automatiquement au moyen d'un code de temps électronique.

Le temps selon l'atome de césium

Nouvel étalon pour l'horloge atomique

Les écrits sur le temps ne se comptent plus et se sont accumulés au cours des siècles. Le temps, c'est ce qui use sans bruit; c'est la division arbitraire de l'éternité, de l'insaisissable, de la vie de l'âme.

Pendant des siècles, l'homme a cherché le moyen le plus précis de mesurer et de contrôler le temps. Dans ses recherches, il a travaillé dans des domaines allant de la mesure du mouvement des corps célestes au sondage des énergies atomiques.

Récemment, on a fait des progrès importants dans la mesure du temps atomique à la section Temps et fréquence de la Division de physique du Conseil national de recherches du Canada. Un nouvel étalon au césium, le Cs V, sera bientôt utilisé comme horloge atomique la plus précise du monde.

Il y a des années, la mesure du temps était basée sur la durée de rotation de la Terre sur elle-même. Quand on s'est aperçu que cette rotation n'était pas uniforme, les astronomes ont adopté la période de révolution de la Terre autour du Soleil pour l'année 1900 comme base de la mesure du temps. Ce "temps des éphémérides" est maintenant à la base de nombreux calculs astronomiques et de prévisions mais il n'est pas facile de s'en servir couramment.

Les instruments construits par l'homme pour mesurer le temps vont du cadran solaire au sablier, aux horloges à eau, mécaniques et à pendules et même aussi aux oscillateurs à cristaux de quartz. Aujourd'hui, les mesures du temps sont basées sur les horloges atomiques au césium dont la fréquence a été mesurée avec précision en fonction du temps des éphémérides. Le temps atomique et le temps des éphémérides ne varient pas avec les saisons ou les années.

L'horloge est dite "atomique", non pas parce que l'énergie qui la fait marcher est atomique, mais parce que certaines propriétés fondamentales de l'atome sont utilisées pour définir le temps.

Dans un champ magnétique, les atomes de césium 133 peuvent adopter l'un ou l'autre de deux niveaux énergétiques correspondant chacun à des moments cinétiques différents. De plus, chaque niveau contient une structure hyperfine de sous-niveaux très peu espacés les uns des autres. Dans la pratique, une transition, ou résonance de Rabi, peut être excitée du niveau le plus bas jusqu'au niveau le plus haut entre deux niveaux hyperfins particuliers à une fréquence de 9 192 631 770 Hz dans la bande des micro-ondes. La seconde a été définie dans le système international, en 1967, par le Bureau international des Poids et Mesures comme étant la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à cette transition.

On a fait les premières expériences sur les étalons à faisceau de césium vers 1955 au "National Bureau of Standards", à Washington, aux États-Unis, et au "National Physical Laboratory", à Teddington, en Angleterre. Au CNRC, on a commencé des travaux en 1957 en construisant un étalon atomique à faisceau de césium, le Cs I. En 1963, un étalon de fréquence primaire amélioré, le Cs III, a été mis au point et a servi à étalonner les premiers oscillateurs à cristaux de quartz et, l'année suivante, lorsque l'on a commencé des travaux sur la conservation du temps, des horloges secondaires commerciales à faisceau de césium. Le CNRC a également réglé des horloges atomiques confiées à l'Observatoire fédéral qui assurait alors le service de l'heure au Canada.

En 1970, le groupe du CNRC a assuré dans sa totalité la conservation du temps pour tout le pays et il est ainsi devenu responsable, non seulement pour les recherches et le développement sur le temps atomique et les étalons de fréquence, mais aussi pour donner le temps officiel et le diffuser dans tout le pays. Le personnel et l'équipement de l'Observatoire fédéral et du CNRC ont été combinés pour donner une nouvelle section dans le cadre de la Division de physique.

Une batterie d'horloges atomiques secondaires commerciales étalonnées et réglées à l'aide du Cs III est devenue la base de l'échelle de temps canadien. Des étalonnages fréquents étaient nécessaires puisque ces horloges secondaires dont la stabilité et la précision étaient beaucoup moins grandes que celles des étalons primaires tendaient toutes à être en avance ou en retard.

Il faut faire une distinction importante entre les horloges et les étalons de fréquences. Les horloges fonctionnent en permanence et donnent une échelle de temps indiquant le temps total qui s'écoule en partant d'un zéro arbitraire alors que les étalons de fréquence, comme le Cs III, sont mis en marche de temps à autre afin de vérifier les vitesses, ou fréquences, des horloges continues. De la même manière, une montre-bracelet peut être réglée périodiquement en se servant d'une horloge électronique plus précise.

Pour combiner en un seul instrument l'étalon de fréquence primaire précis, mais intermittent, et l'horloge continue de façon à avoir un instrument réunissant les avantages des deux autres, il a été nécessaire de lancer au CNRC, en 1970, la construction d'un étalon amélioré, le Cs V.

Le Dr Allan Mungall, de la section Temps et fréquence, a été chargé de la conception globale du Cs V; il a été aidé dans ses travaux par MM. Herman Daams et Ralph Bailey (aujourd'hui en retraite).

Depuis sa construction, en 1973, on s'est servi du Cs V comme étalon expérimental de fréquences et l'on s'en servira aussi comme horloge la plus précise et la plus stable du monde. Dans les autres pays, les étalons primaires au césium n'ont pas été construits pour servir d'horloges mais uniquement comme étalons de fréquences utilisables pour mesurer les vitesses moyennes d'horloges atomiques commerciales.

Écoutons le Dr Mungall: "Je pense qu'il est beaucoup plus important de construire une bonne horloge primaire stable que de prendre une moyenne en partant d'un grand nombre d'horloges secondaires moins stables. Dans d'autres pays on se sert de procédés compliqués pour faire ces moyennes et arriver à une échelle de temps moyen mais j'ai toujours pensé que, sur le plan de la physique, c'est une mauvaise manière d'attaquer le problème".

Les horloges secondaires peuvent être assez stables sur de longues durées mais, comme elles tendent toutes à être de conception identique, leurs dérives tendent aussi à être dans le même sens. Il est inévitable que de petites dérives en fréquence se produisent du fait du vieillissement des composantes électroniques, des variations dans le blindage magnétique ou d'une accumulation de césium métallique dans leurs cavités. On est donc conduit à étalonner fréquemment ces horloges secondaires en utilisant une référence primaire stable.

Le Dr Mungall conclut: "Nous pensons que notre système donnera par la suite une meilleure échelle de temps, qu'il faudra moins de personnel pour s'en occuper et que son coût de fonctionnement sera beaucoup moins élevé".

Le Cs V, mesurant quatre mètres de long (13 pieds), ne ressemble en rien à une horloge traditionnelle. Sa précision ne dépend pas d'un pendule ou d'un ressort mais d'un champ magnétique très uniforme dans la région de transition du césium.

Une petite masse de césium métallique de 5 grammes (0.2 once) est tout d'abord chauffée jusqu'à 80°C (176°F) dans un four en acier inoxydable situé à une extrémité du Cs V. A cette température le césium solide se transforme en un liquide dense et argenté dont la vapeur à une pression suffisante pour donner un faisceau d'atomes libres de césium qui sont alors projetés entre les pôles d'un aimant sélectionneur d'état grâce auquel les atomes sont séparés en deux faisceaux correspondant à deux niveaux énergétiques.

atomic clock

Years ago, the measurement of time was based on the period of the earth's daily rotation. When this proved non-uniform, astronomers adopted the period of revolution of the earth around the sun for the year 1900 as the basis for the measurement of time. This "Ephemeris Time" now forms the basis for many astronomical calculations and forecasts but is not readily available for day to day use.

Similarly, man-made devices for recording and keeping track of time have evolved through sun dials, hourglasses, water clocks, mechanical clocks, pendulum clocks and quartz crystal oscillators. Today, time measurements depend on the cesium atomic clock whose frequency has been measured carefully in terms of Ephemeris Time. Neither atomic nor Ephemeris Time vary with the seasons or the years.

The "atomic" clock is so named not because it is powered by atomic energy but because certain fundamental properties of the atom are used to provide a definition of time.

In a magnetic field, atoms of the element cesium 133 can adopt either of two energy levels corresponding to differences in total angular momentum. Additionally, each level contains a hyperfine structure of closely-spaced sub-levels. In practice, a transition or Rabi resonance can be excited from the lower to the upper level, between two particular hyperfine levels, at a frequency of 9 192 631 770 cycles per second (Hz) in the microwave region. The international (SI) second was thus defined in 1967 by the International Bureau of Weights and Measures as the duration of 9 912 631 770 periods of the radiation corresponding to this transition.

Early experiments on cesium beam standards were conducted in the mid-1950's at the National Bureau of Standards in Washington, D.C., and the National Physical Laboratory in Teddington, England. Activity at NRC began in 1957 with the construction of the cesium beam atomic standard Cs I. In 1963, an improved primary frequency standard, Cs III, was developed and served to calibrate first quartz crystal oscillators and later commercial cesium beam secondary clocks when atomic timekeeping activities started in the following year. NRC also monitored the rates of a group of atomic clocks maintained by the Dominion Observatory, which was then responsible for official time in Canada.

In 1970, the NRC group assumed the entire timekeeping function for the country and thus became responsible not only for research and development of atomic time and frequency standards but also for the generation and dissemination of official time. The staff and equipment from both the Observatory and NRC were combined to form a new section within the Physics Division.

A battery of commercial (secondary) atomic clocks, calibrated and regulated by Cs III, became the basis of the Canadian time scale. Frequent calibrations were necessary since these secondary clocks, with stability and accuracy much poorer than for a primary standard, all tended to run either fast or slow.

There is an important distinction between clocks and frequency standards. Clocks run continuously and generate a time scale indicating total elapsed time from an arbitrary zero. On the other hand, frequency standards such as Cs III are set in operation only at intervals in order to check the rate or frequency of continuously running clocks. In an analogous way, a wristwatch can be adjusted periodically to the time kept by a more accurate electronic timepiece.

To combine in one instrument the accuracy of a primary frequency standard with the capability of continuous operation in a clock generating its own time scale, plans were initiated at NRC in 1970 to construct an improved standard, Cs V.

Dr. Allan Mungall of the Time and Frequency Section was responsible for the overall design and was assisted by Mr. Herman Daams and Mr. Ralph Bailey (now retired).

Since its construction in 1973, Cs V has functioned

experimentally as a frequency standard, but the change-over to continuous operation will make it the most accurate and stable clock in the world. By contrast, the primary cesium standards of the other countries are not intended for use as clocks but as frequency standards to measure the mean rate of an ensemble of commercial atomic clocks.

"I feel it is far more important to build a good, stable primary clock than to take an average of a large number of less stable secondary clocks," Dr. Mungall says. "Other countries use elaborate averaging procedures to arrive at a mean time scale but I've always felt that, physically, this is the wrong approach."

Although an ensemble of secondary clocks can provide a fairly stable rate for long periods, the component clocks tend to be of identical design and consequently all eventually drift in the same direction. Inevitably, small frequency shifts arise from aging of electronic components, changes in magnetic shields or a build-up of cesium metal in their cavities. As a result, frequent recalibration by a stable primary reference becomes necessary.

Dr. Mungall concludes: "We think our system will ultimately produce a better time scale, will require fewer people to run it and will cost much less to operate."

The 4 m (13 ft) long Cs V looks nothing like a conventional clock. For its accuracy it depends not on a pendulum or mainspring but on a highly uniform magnetic field in the cesium transition region.

A 5 g (0.2 oz) charge of metallic cesium is initially heated to 80°C (176°F) in a stainless steel oven situated at one end of Cs V. At this temperature, normally solid cesium melts to a dense silvery liquid with sufficient vapor pressure to produce a beam of free cesium atoms which is then shot between the poles of a state selector magnet. Here the atoms are separated into two beams corresponding to different energy levels.

Both beams then pass through a long evacuated space maintained at a uniform low magnetic field (the C field) in which the hyperfine atomic splitting is maintained.

Two different types of atomic transitions can then occur.

In one case, a low frequency transition can be excited in the cesium beam by a series of axially-oriented coils. By monitoring this transition, scientists can determine the magnitude and uniformity of the C field throughout the magnetically shielded region.

In the second case, which corresponds to actual clock operation, the cesium beam is subjected to a source of microwave power (called a Gunn diode oscillator) which excites the atomic transition. The closer the oscillator frequency is to the atomic resonance frequency the more atoms in the beam will undergo transition.

The beam then passes from the microwave and C field region through a second state selector magnet onto a platinum-iridium hot-wire detector. Here, the arriving cesium atoms are ionized, then collected as an electric current.

The amplitude of this current serves to indicate what proportion of the cesium atoms have been excited and, in turn, how close the microwave exciting frequency is to the precise cesium atomic transition frequency. (The microwave frequency is produced from a 5 MHz (5Mc/s) quartz crystal oscillator by a series of electronic multipliers and synthesizers).

Changes in the cesium ion current serve as an indication of error and a feedback signal acts to tune the frequency of the crystal oscillator. Thus the microwave and crystal oscillator frequencies are locked to the cesium atomic frequency which is the basis of the international (SI) second.

"In effect, we are interrogating the atoms to find if our frequency is correct or not," explains Dr. Mungall.

Once the correct frequency has been established and

... horloge atomique

Les deux faisceaux traversent ensuite une longue enceinte maintenue sous vide et comportant un champ magnétique faible et uniforme (le champ C) dans lequel la division atomique hyperfine est entretenue.

Deux types différents de transitions atomiques peuvent alors se produire.

Dans un cas, une transition à faible fréquence peut être excitée dans le faisceau de césium par une série de bobines orientées axialement. En réglant cette transition, les scientifiques peuvent déterminer l'amplitude et l'uniformité du champ C dans toute la région blindée magnétiquement.

Dans le deuxième cas, qui correspond en fait au fonc-

tionnement de l'horloge atomique, le faisceau de césium est soumis à des micro-ondes, émanant d'un oscillateur à diode de Gunn, qui excitent la transition atomique. Plus la fréquence de l'oscillateur est proche de la fréquence de résonance atomique, plus il y a d'atomes du faisceau qui subissent une transition.

Le faisceau passe alors de la région du champ C et des micro-ondes dans le champ d'un deuxième aimant de sélection d'état puis dans un détecteur à fil chaud en platine iridié. C'est là que les atomes de césium qui arrivent sont ionisés et apparaissent sous forme de courant électrique.

L'amplitude de ce courant sert à indiquer dans quelle



National Research
Council Canada

Conseil national
de recherches Canada

CHU time signals are transmitted on 3 330 and 14 670 kHz with a power of 3 kW, and on 7 335 kHz with a power of 10 kW. Carrier frequencies and second pulses are derived from a cesium standard. A time announcement is made each minute in French and English.

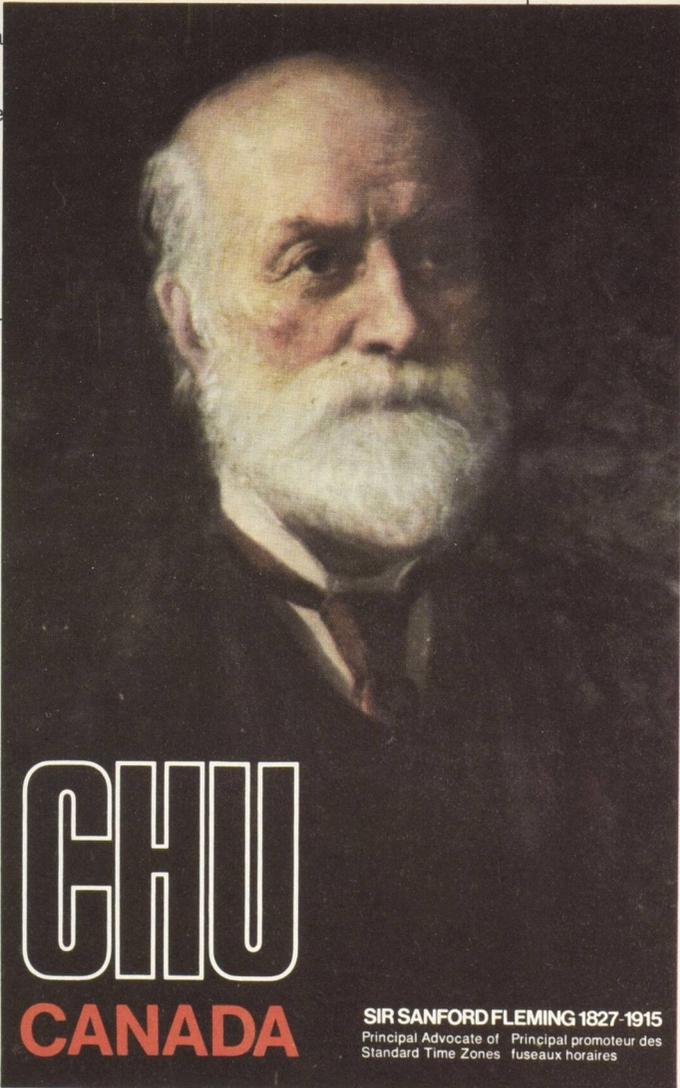
Les signaux horaires CHU sont transmis sur 3 330 et 14 670 kHz d'une puissance de 3 kW et sur 7 335 kHz d'une puissance de 10 kW. Les fréquences des porteuses et les repères des secondes sont dérivés d'un étalon au césium. L'annonce de l'heure se fait à minute en anglais et français.

Thank you for your report
of reception on

Merci pour votre
de réception sur

3 330 kHz 7 335 kHz 14 670 kHz

Radio Station CHU · Ottawa Ontario Canada

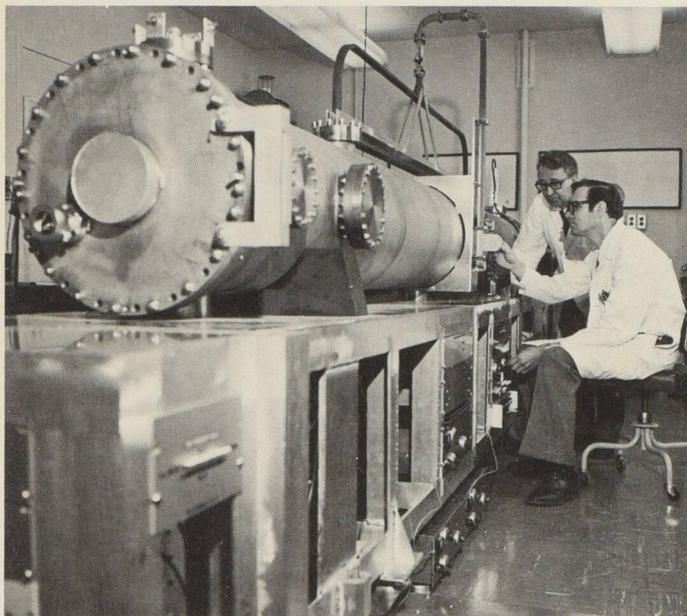


CHU
CANADA

SIR SANFORD FLEMING 1827-1915
Principal Advocate of Standard Time Zones Principal promoteur des fuseaux horaires

Short wave listeners from all parts of the world who receive the CHU time signal send reception reports to NRC. These are welcomed and acknowledged with the card shown. During the 19th century, the development of the railway and the telegraph was followed by the establishment of standard time zones. Sir Sanford Fleming of Canada advocated uniform zones on an international scale. By his plan, the world would be divided into twenty-four zones, each fifteen degrees wide, the first one centred on the Greenwich Meridian. Within each zone, the time would be the same, and the boundary would mark the place where the time would change abruptly by one hour. In practice today, the time zone boundaries tend to conform to national or geographical divisions, so that the divisions differ considerably in size and shape.

Tous ceux qui écoutent la radio sur les ondes courtes dans tous les coins du monde reçoivent le signal de l'heure du poste CHU et peuvent le faire savoir au CNRC qui est très heureux de recevoir la nouvelle et en accuse réception à l'aide de cette carte. Au cours du 19^e siècle, le développement des chemins de fer et du télégraphe a été suivi de la création de "zones de temps". Sir Sanford Fleming, du Canada, s'est fait l'avocat des zones de temps uniformes à l'échelle internationale. Il prévoyait de diviser le monde en 24 zones de 15° de largeur chacune et dont la première serait centrée sur le méridien de Greenwich. L'heure serait la même dans chacune de ces zones et, en passant d'une zone dans l'autre, on changerait d'une heure. Aujourd'hui, en fait, les limites des zones horaires tendent à suivre certaines divisions nationales.



Cs V will begin operation shortly as the world's most accurate clock in the Time and Frequency Section of NRC's Division of Physics and will form the basis for Canada's official time scale. Dr. Allan Mungall (right) was responsible for the overall design and was assisted by Mr. Herman Daams (left) and Mr. Ralph Bailey.

L'horloge atomique Cs V sera bientôt en service à la section Temps et fréquence de la Division de physique du CNRC. Elle sera la base de l'échelle du temps officiel canadien. Le Dr Allan Mungall (à droite) a été responsable de sa conception globale et il a été aidé dans ses travaux par M. Herman Daams (à gauche) et M. Ralph Bailey.

remains stable, the output frequency from Cs V can be counted down by a series of electronic dividers and used to generate regular pulses at one second intervals which appear as numbers on a digital clock — precise atomic time.

Although the design of Cs V is similar to its predecessor, Cs III, certain modifications lead to a tenfold improvement in accuracy and stability.

For example, cesium oven and detector units are mounted at each end of the instrument making bi-directional beam operation possible. By averaging the results from operation in both directions, scientists can compensate for any differences in phase between the two microwave fields used to excite the atomic transitions.

"We want to realize the primary standard definition as accurately as possible," notes Dr. Cecil Costain, head of the Time and Frequency Section, "so that measurements have meaning not only today but in 50 or 100 years."

Scientists expect Cs V to maintain an accuracy of one part in 10^{13} . In other words, the atomic clock would be off by no more than three seconds in one million years.

The only other instrument of comparable accuracy is the hydrogen maser, a frequency standard based on the hydrogen atom as a microwave oscillator. Because of a greater short-term (up to 1000 seconds) frequency stability, two NRC-built masers can be used periodically to evaluate Cs V. However, these instruments are currently less suitable as clocks since their performance gradually deteriorates, showing a frequency shift over a longer time.

With Cs V, NRC will bring substantially improved accuracy to its dissemination of time and frequency to outside users in Canada and to its participation in international time comparisons with other countries through the Bureau International de l'Heure (BIH).

The NRC time scale is also compared regularly with those of other countries through reception at the main time laboratory of the 100 kHz (100 kc/s) pulsed radio signals of the Loran-C navigation system. The Loran chain, a series of stations which extends across the United States, spans the north Atlantic and reaches into Norway and Europe, is operated by the United States Coast Guard and is closely related to the time scale of the U.S. Naval Observatory (USNO). It provides the most convenient regular communication network between various national time laboratories.

In addition to the use of Loran-C, time comparisons using television signals provide links between NRC, the USNO and the National Bureau of Standards in Boulder, Colorado, and also between the NRC time laboratory and the independently operating clocks which provide the standard frequency and time signals transmitted by station CHU in Ottawa.

Although CHU generates its own signal via a secondary cesium standard (installed in 1963), daily cross-comparisons are made with the main time laboratory to ensure that the station's frequency and time conform to the standards agreed upon internationally. Continuous English and French voice announcements are transmitted over three short wave operating frequencies, 3 330, 7 335 and 14 670 kHz (kc/s).

Mr. Sidney Sheard, who is responsible for CHU's operation, notes: "Our time service via radio is available to anyone possessing even the most inexpensive short wave receiving set. Present-day users range all the way from interested listeners to government, scientific and industrial organizations for whose operation precise time is essential."

Time is also disseminated by telephone line from the main laboratory to other government departments. The telephone signal provided to the Canadian Broadcasting Corporation is retransmitted daily at 13:00 EST over the trans-Canada English network and at 12:00 daily on the French-language system.

In addition, many new methods of distribution are currently being investigated. These include dissemination of time by satellite through television broadcasts, and by high speed digital data transmission lines for aircraft collision-avoidance systems.

Another service planned for the near future is serial digital time code transmission over standard telephone lines. By this system, a user anywhere in Canada who owns a commercial digital clock can dial a given telephone number to place his unit in contact with a code generator clock at NRC's time and frequency laboratory. An electronic time code provided by NRC then acts by a data link through the telephone receiver to correct the commercial clock's time automatically to within one millisecond.

Dr. Costain foresees many applications for this service, particularly in the area of control voice-communication networks such as used by many police forces. In this system, audio tapes can be legally indexed with a time readout which would be displayed digitally on a suitable receiver to accompany a playback of the voice.

Another possible use is a digital display of time on home television receivers.

"I believe this is the best way to distribute time accurately and conveniently to the public," Dr. Costain says.

Modern timekeeping seems undoubtedly more efficient than timekeeping in Shakespeare's day:

"It shall be what o'clock I say it is." (Petruccio, Act IV, Scene III, The Taming of the Shrew).

For Petruccio, determining the hour of day was usually a matter of guesswork. However, with the advent of precise modern atomic clocks such as Cs V, these words now describe the certainty of NRC's role in providing official time for Canada □

W.J. Cherwinski

... horloge atomique

proportion les atomes de césium ont été excités et, de ce fait, jusqu'à quel point la fréquence d'excitation des micro-ondes est proche de la fréquence de transition atomique du césium qui est très précise. (La fréquence des micro-ondes est donnée par des multiplicateurs et des synthétiseurs électroniques branchés sur un oscillateur à cristal de quartz de 5 MHz (5 Mc/s)).

Les variations de courant ionique du césium servent à indiquer l'erreur et un signal de rétroaction permet de régler la fréquence de l'oscillateur à cristal. Ainsi, les fréquences de l'oscillateur et celles des micro-ondes sont verrouillées sur la fréquence atomique du césium qui est la base de la seconde internationale. Le Dr Mungall nous a expliqué: "En effet, nous questionnons les atomes pour savoir si notre fréquence est bonne".

Une fois que nous avons la bonne fréquence et qu'elle demeure stable, la fréquence de sortie du Cs V peut être comptée par une série de diviseurs électroniques et elle sert à donner des impulsions régulières à des intervalles de une seconde apparaissant sous forme numérique sur le cadran de l'horloge atomique précise.

Quoique la conception même du Cs V soit semblable à celle de son prédécesseur, le Cs III, certaines modifications ont conduit à une précision et à une stabilité dix fois supérieures à celles du Cs III.

Nous pouvons mentionner comme exemple que le four de césium et les unités de détection sont montés à chaque extrémité de l'instrument ce qui fait que le faisceau peut travailler suivant deux directions. En faisant la moyenne des résultats du fonctionnement dans les deux directions, on a pu compenser toutes les différences entre les phases des deux champs de micro-ondes.

Le Dr Cecil Costain, Chef de la section Temps et fréquence, nous a dit: "Nous voulons réaliser la première définition de l'étalon standard avec autant de précision que possible de sorte que les mesures soient valables, non pas seulement aujourd'hui, mais aussi dans cinquante ou cent ans".

Les scientifiques s'attendent à ce que le Cs V garde une précision de 1×10^{-13} , c'est-à-dire d'un dix millième de milliardième. En d'autres mots, l'horloge atomique ne dériverait pas de plus de trois secondes en un million d'années.

Le seul autre instrument à précision comparable est le maser à hydrogène qui est un étalon de fréquence basé sur l'atome d'hydrogène en tant qu'oscillateur à micro-ondes. En raison de sa stabilité en fréquence plus élevée, mais sur de courtes durées ne dépassant pas 1 000 secondes, deux masers construits au CNRC peuvent servir à évaluer le Cs V de temps à autre. Ces instruments sont toutefois moins appropriés si on les utilise comme horloges puisque leurs performances diminuent graduellement et qu'ils sont sujets à une dérive en fréquence sur une longue durée.

Avec le Cs V, le CNRC augmente la précision des fréquences et du temps diffusés en faveur des utilisateurs canadiens. Cet appareil permettra aussi de participer à des comparaisons au niveau international par l'intermédiaire du Bureau international de l'heure (BIH).

L'échelle de temps du CNRC est également comparée régulièrement à celle des autres pays grâce à la réception au laboratoire principal de la conservation du temps de signaux radio pulsés sur 100 kHz (100 kc/s) du système de navigation Loran-C. La chaîne de ce système consiste en une série de stations s'étendant sur tous les États-Unis et, à travers l'Atlantique, à la Norvège et à l'Europe; elle est exploitée par la Garde côtière américaine et se trouve reliée de très près à l'échelle de temps du "U.S. Naval Observatory" (USNO). Elle assure un réseau de communications régulières des plus pratiques entre différents laboratoires

nationaux de l'heure.

En plus du système Loran-C, les comparaisons à l'aide de signaux de télévision fournissent une relation d'une part entre le CNRC, l'USNO et le "National Bureau of Standards" à Boulder, dans le Colorado et, d'autre part, entre les laboratoires du temps du CNRC et les horloges indépendantes qui donnent les fréquences étalons et les signaux de l'heure émis par la station CHU à Ottawa.

Quoique CHU n'émet son propre signal que par l'intermédiaire d'un étalon au césium secondaire installé en 1963, des comparaisons et des vérifications journalières sont faites avec le laboratoire principal du temps pour s'assurer que les fréquences de la station et le temps qu'elle émet sont en accord avec les étalons internationaux. Les émissions en clair se font en anglais et en français continuellement sur 3 330, 7 335 et 14 670 kHz (kc/s).

M. Sidney Sheard, responsable du fonctionnement de CHU a remarqué: "N'importe qui peut avoir accès à notre service du temps même s'il ne dispose que d'un poste à ondes courtes des moins coûteux. La gamme des utilisateurs s'étend des personnes intéressées aux fonctionnaires et aux membres d'organismes industriels et scientifiques pour lesquels il est essentiel de savoir l'heure avec précision.

Le laboratoire principal est aussi relié aux autres ministères et à Radio-Canada par lignes téléphoniques. Ainsi Radio-Canada donne l'heure exacte en anglais tous les jours à treize heures (heure normale de l'Est) et en français à douze heures.

De plus, de nombreuses méthodes de diffusion sont actuellement à l'étude. Elles comprennent la diffusion de l'heure par satellites équipés pour retransmettre des émissions télévisées et des données numériques à grande vitesse utilisables par les systèmes anti-collision de l'aéronautique.

Un autre service, prévu pour l'avenir proche, consiste en une transmission numérique codée à l'aide de lignes téléphoniques ordinaires. Grâce à ce système, tout utilisateur, où qu'il se trouve au Canada, et qui dispose d'une horloge numérique commerciale pourra faire un numéro sur le cadran de son téléphone pour se brancher sur une horloge-mère se trouvant dans le laboratoire de la section Temps et fréquence du CNRC. Un code de l'heure électronique, fourni par le CNRC, corrigera alors par ligne téléphonique et automatiquement l'heure de l'horloge commerciale avec une précision d'une milliseconde.

Le Dr Costain prévoit que ce service aura de nombreuses applications et plus particulièrement dans les réseaux de communications orales comme ceux qui sont utilisés par de nombreuses forces de police. Dans ce système, les bandes magnétiques comportant les conversations enregistrées peuvent être légalement indexées pour que le temps de ces conversations soit enregistré et puisse apparaître sous forme numérique sur un récepteur approprié au moment de l'écoute.

Une autre utilisation possible se trouve dans l'affichage numérique de l'heure sur les récepteurs privés de télévision. Le Dr Costain nous a dit: "Je pense que c'est la meilleure manière de donner l'heure avec précision et facilement au grand public".

Les garde-temps modernes semblent sans aucun doute plus efficaces que ceux du temps de Shakespeare qui, dans sa pièce "The Taming of the Shrew", fait dire par Petruchio, dans l'acte IV, scène III, "It shall be what o'clock I say it is" (Ce sera l'heure que j'aurai décidé qu'il sera).

Petruchio pouvait donc décider de l'heure à sa fantaisie. Aujourd'hui, avec les horloges atomiques modernes et précises, comme le Cs V, il semble bien certain que c'est maintenant le CNRC qui "décidera" de l'heure officielle au Canada. □

A c

omputer simulation
smelter on tap

Une application des ma
L'optimisation

nathématiques
trielle

It would be difficult to find any area of human endeavor which has not felt the influence, to some degree, of the electronic computer. From handling airline seat reservations to generating a concordance to Shakespeare, the ubiquitous computer has become an almost indispensable item of equipment. As a corollary to this, as more and more operations are computerized, so day to day existence becomes more and more cluttered with various vital items of documentation which must not be bent, folded, mutilated, spindled or stapled. Human beings must learn to adapt to the requirements of the machine.

In his book *Up The Organization* Peter Townsend describes computers as "big, fast, dumb adding machines". While this description might seem a little flippant, it nevertheless highlights the most important features of the computer — large information storage capacity combined with the ability to manipulate its store of information very rapidly. These two attributes have made possible one of the more significant computer applications, that of computer simulation, or "modelling". As the word suggests, computer simulation is the process by which some system or process as observed by the modeller, is defined in mathematical terms, programmed on a computer — producing an abstract simulacrum of that process or system — and then validated by comparing the behavior of the model with that of the original. This computer "model" can then be subjected to a variety of perturbations via input from a terminal unit, the model's resulting behavior being displayed or printed out. Computer modelling is applicable to a wide range of activities and disciplines — political campaigns have employed simulations to predict voter response, sociological researchers have created hypothetical communities (as have market research organizations), nuclear engineers rely heavily on computer models for predicting heat transfer and fluid dynamics characteristics of reactor cores under accident conditions and staff colleges employ computer models for "war gaming".

Computer simulation or modelling offers similar advantages to those obtained from use of physical scale models (in, for example, aerodynamic research) in that it is obviously much cheaper (and safer) to "construct", say, a large chemical processing plant and test it in computer model form, than to build the real thing and hope that it will work correctly the first time. An additional advantage is that in the abstract world of the computer model, time can be accelerated — many weeks of plant operation can be simulated in a few hours of computer time. Industrial processes most amenable to computer simulation are those involving continuous flows of material as, for example, chemical plants or mass-production assembly lines. Less amenable to such treatment are those industrial operations where continuous processes interact with discrete operations under the guidance of human operators, such as in certain metal smelting and refining operations. In these operations, productivity is not simply dependent upon the efficient performance of the individual operations but also upon achieving an optimum scheduling pattern of these operations. The problem of simulating such a process as this falls neither into the category of processes comprising discrete events only (which can be simulated on digital computers) nor into the category of continuous systems (where simulations may be performed on either analogue or digital machines). This was the problem facing Mr. M.L. Nenonen and Dr. U. Graefe of the Division of Mechanical Engineering, National Research Council of Canada in their work toward developing a simulation model of a copper smelting operation at Noranda Mines.

Copper smelting involves three basic processes. Firstly, flotation concentrates, a mixture of copper, iron and sulphur, are smelted in a reverberatory furnace producing a molten



Qu'il s'agisse de réserver des places dans un avion ou d'établir une concordance des oeuvres de Shakespeare, c'est à un ordinateur que l'on a presque toujours recours et il serait difficile aujourd'hui de trouver un domaine d'activité humaine qui ne subisse son influence. Son utilisation se généralisant, le flot d'informations qui lui sont soumises, sous forme de documents divers qu'il ne faut pas plier, mutiler, brocher ou agraffer, s'amplifie de jour en jour. L'homme doit apprendre à s'adapter à la machine.

Dans son livre intitulé "*Up The Organization*", Peter Townsend décrit les ordinateurs comme étant "de grosses machines à faire des additions très rapidement mais aussi très bêtes". Cette sentence peut paraître quelque peu hâtive et imméritée mais elle met néanmoins en relief les caractéristiques les plus importantes de l'ordinateur qui sont sa grande capacité de stockage de l'information et son aptitude à la traiter très rapidement. C'est à ces deux caractéristiques que l'on doit l'une des plus importantes applications de l'ordinateur: la simulation à l'aide de modèles mathématiques. Comme le nom l'indique, la simulation consiste à représenter un système, ou processus, sous la forme d'équations dont l'ordinateur trouve la solution et à comparer ces solutions avec le comportement du système réel. On peut soumettre le modèle à des perturbations dont l'ordinateur tient compte et les nouvelles solutions sont affichées ou imprimées sur une unité périphérique. On se sert de modèles mathématiques pour prévoir les résultats d'élections, en recherches sociales pour lesquelles les hypothèses tiennent compte de collectivités supposées comme dans le cas des recherches sur les marchés, en génie nucléaire pour calculer les transferts de chaleur, les écoulements dans les réacteurs et pour déterminer les limites de sécurité et, dans le domaine militaire, pour simuler des opérations de guerre et trouver le vainqueur.

La simulation mathématique permet de résoudre à meilleur marché certains problèmes pour lesquels on utilise habituellement des maquettes physiques; elle offre en outre une meilleure sécurité s'il s'agit, par exemple, de construire une grande usine de produits chimiques car il est alors aussi possible de faire les essais, à moindres frais, en les simulant. Un autre avantage de la simulation mathématique se trouve dans le fait que l'on peut simuler en quelques heures le fonctionnement d'une usine pendant plusieurs semaines. Les processus industriels les plus faciles à simuler sont ceux qui comportent des "écoulements" continus de matériaux, comme c'est le cas dans les usines de produits chimiques, ou des chaînes de montage. Par contre, il est moins facile de simuler les opérations industrielles où les processus perturbés par les interventions humaines comme c'est le cas à certains stades du traitement des minerais. Dans ce dernier cas, la productivité n'est pas simplement fonction du rendement de chaque opération mais aussi de la configuration optimale des séquences de ces opérations. Un tel processus est difficile à simuler puisqu'il ne tombe, ni dans la catégorie où n'interviennent que des événements discrets simulables sur ordinateurs numériques, ni dans la catégorie des systèmes continus simulables sur ordinateurs numériques ou analogiques. C'est un problème de cette nature qui devait être résolu par M. L. Nenonen et par le Dr U. Graefe, de la Division de génie mécanique du Conseil national de recherches du Canada, pour mettre au point un modèle mathématique de fonderie de cuivre pour la compagnie "Noranda Mines Limited."

La métallurgie du cuivre implique trois processus fondamentaux. Tout d'abord la flottation des concentrés, c'est-à-dire d'un mélange de cuivre, de fer et de soufre, ce mélange étant fondu dans un four à réverbère ce qui donne une scorie de silicate fondu et la "matte", c'est-à-dire un mélange en fusion de sulfures de cuivre et de fer. La matte est alors

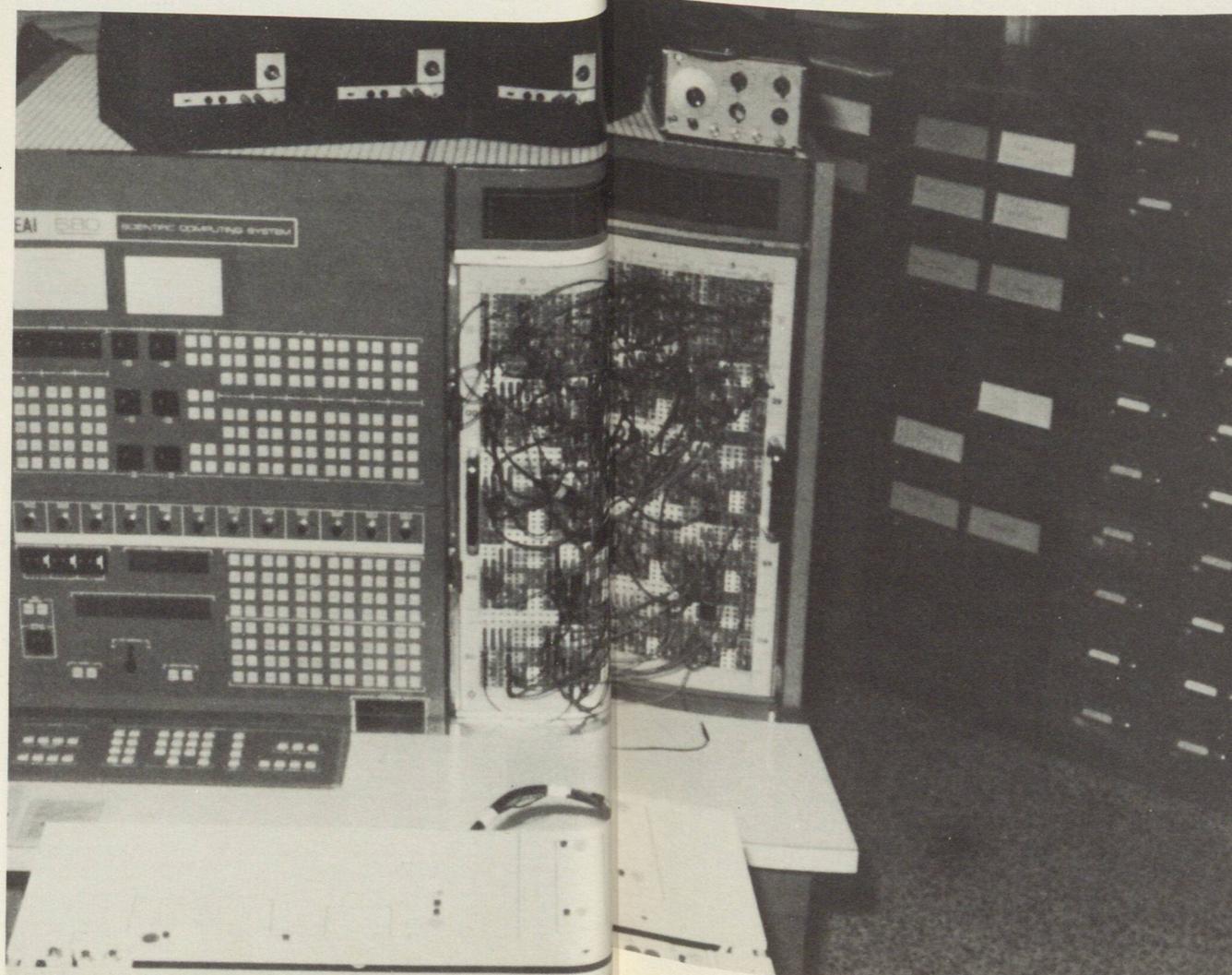
The actuality — a Noranda Mines Ltd. copper smelting operation.



with actual process behavior. In the case of a converter model, for example, an analogue portion of the model integrates the rate equations for the copper, slag and other impurities during the conversion process, these equations being based on knowledge of basic converter chemistry and being functions of airflow rates and oxygen efficiencies. Digital logic senses end points of blowing periods and, via the event structure of the model, requests an operator command or calls upon an automatic decision making algorithm to determine an "ideal" or "optimal" command. The resulting commands are translated into specific material addition or removal events, given a category number, and assigned weights and compositions in terms of iron, copper and sulphur. Fifteen different converter operating states are defined and when a particular addition or removal is requested, its validity is checked against the actual converter status and material category. If the operation is invalid, the operator is informed, but if it is valid, the model is updated and the operation continued. Other converter events provide for breakdowns and maintenance operations.

The essential link between the models of all the elements of the smelting process is, of course, the operator whose commands regulate the material flows through and between

The simulation — using an EAI 690 hybrid computer with special display unit.

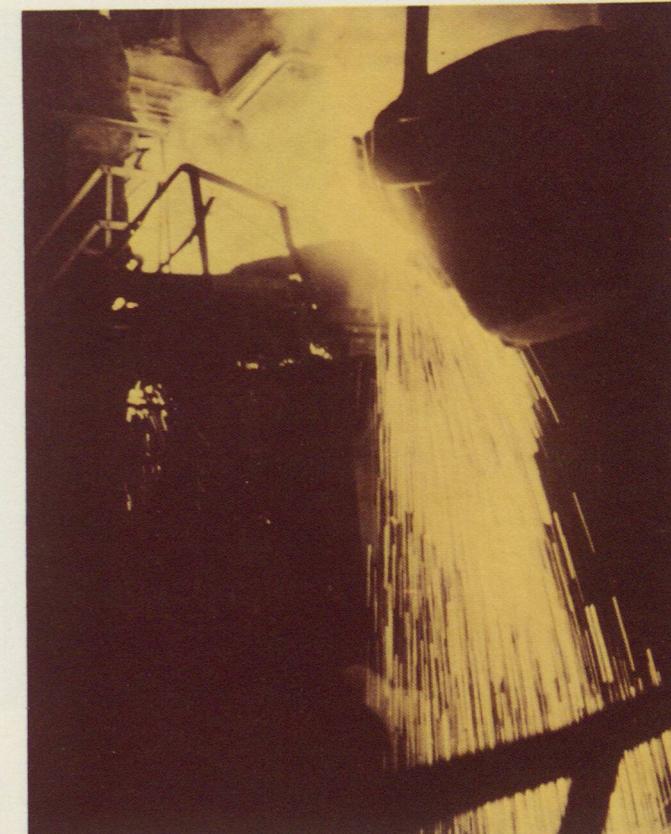


transférée dans un convertisseur où l'oxydation et les sulfures donnent du cuivre "blister" pur à 98% et une scorie contenant des silicates et un peu de cuivre. Pour récupérer ce cuivre, on renvoie les scories dans le four à réverbère. Le cuivre blister sortant du convertisseur passe dans un four à anodes où les sulfures restants sont oxydés et où les oxydes contenus dans le métal en fusion sont réduits. Quoique le rendement de ces différentes opérations, relevant du domaine du métallurgiste et du contrôleur des processus, peut être évalué à l'aide d'un ensemble de règles assez simples et logiques, il dépend largement de l'adresse du contremaître qui surveille le convertisseur. Le contremaître décide de poursuivre l'opération ou de la modifier en se basant sur ce qu'il voit, sur son expérience et sur les données apparaissant sur des tableaux d'affichage. La prépondérance de l'élément humain dans ce domaine de la décision et sa nature essentiellement subjective signifient que même une simulation partielle est compliquée. Enfin, il faut considérer certains événements aléatoires, comme les pannes, qui peuvent intervenir dans les décisions.

Le Dr Graefe et M. Nenonen ont utilisé un ordinateur hybride, c'est-à-dire numérique-analogique, dont la partie analogique résoud les équations différentielles représentant

La simulation: un ordinateur hybride EAI 690 associé à un tableau synoptique spécial.

La réalité: les fours de la compagnie "Noranda Mines Limited" au travail.



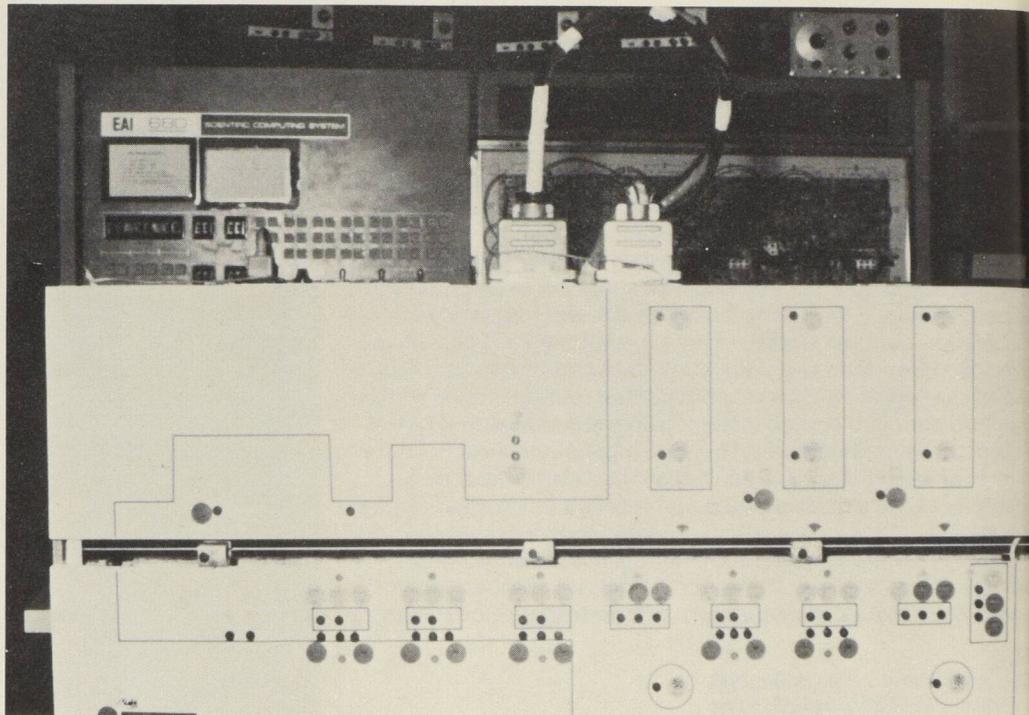
silicate slag and "matte" (a molten mixture of iron and copper sulphides). The matte is then transferred to a converter where oxidation of the sulphides produces "blister copper" (98 per cent pure copper) and a slag containing silicates and some copper. To recover this copper from the slag it is returned to the reverberatory furnace. The blister copper from the converter process is transferred to an anode furnace where the remaining sulphides are oxidized and oxides in the molten metal are reduced. While the performance of these individual operations (the province of the metallurgist and the process operator) can be defined by a fairly straightforward and consistent set of rules, overall smelter performance is largely dependent upon the skill of the converter foreman in scheduling the various operations of the smelter. The foreman's scheduling decisions are based upon the information available to him through visual observation and recorded data and upon his own experience — his intuitive "feel" for the situation — and are further modified by feedback resulting from the immediate results of his earlier decisions — decisions which are implemented by crane and process operators. The preponderance of the human element in this area of decision-making and its essentially subjective nature means that computer modelling of even a portion of the decision-making process is no simple matter. Add to this the completely random events which can modify a decision — such as equipment breakdowns — which must somehow be factored in.

Dr. Graefe and Mr. Nenonen adopted a hybrid (analogue-digital) computer approach to the simulation problem, employing the analogue portion of the system to solve the differential equations associated with the continuous operations, while the digital portion handles discrete events, as well as controlling the analogue portion. Sub-models representing the various components of the smelting system were developed, using known process chemistry combined

les opérations continues et la partie numérique tient compte des événements discrets et contrôle la partie analogique. Des sous-modèles représentant les différentes composantes de l'ensemble de la fonderie ont été mis au point en partant des processus chimiques connus combinés au comportement réel des processus. Dans le cas du modèle de convertisseur, par exemple, une partie analogique du modèle intègre les équations différentielles concernant le cuivre, les scories et autres impuretés; ces équations sont basées sur ce que l'on sait des processus chimiques ayant lieu dans le convertisseur et qui sont fonction des débits massiques de l'air et de l'efficacité du système d'oxydation. La logique de la partie numérique détecte le début et la fin des périodes de soufflage et, grâce à la structure des événements du modèle, demande un ordre du contrôleur ou émanant d'un algorithme représentant une décision automatique pour déterminer l'ordre "idéal" ou optimal. Les ordres résultants sont traduits en événements d'addition ou de soustraction de matériaux, reçoivent un nombre représentant une catégorie et on leur attribue des poids et des compositions concernant le fer, le cuivre et le soufre. Quinze étapes de fonctionnement du convertisseur sont définies et, s'il est nécessaire d'ajouter ou de soustraire des matériaux, en cours d'opération, il y a lieu de s'assurer que l'opération est possible à ce stade du processus. Si l'opération n'est pas possible, le contrôleur en est informé. Si elle est possible, le modèle est mis à jour et le travail continue. D'autres événements concernant le convertisseur tiennent compte des pannes et de l'entretien.

Le lien essentiel entre les modèles de toutes les composantes du travail de fonderie est naturellement le contrôleur dont les ordres régulent "l'écoulement" des matériaux. Comme on l'a déjà dit, le contremaître décide d'une manière difficile à simuler mathématiquement car on ne connaît pas encore les équations qui représenteraient l'interaction entre son expérience, ce qu'il observe et son intuition.

The display unit. Crane positions are reflected by the servo-operated models, and stages in the smelting process by color-coded lights.



the components of the smelter plant. As has been mentioned earlier, the method by which a converter foreman arrives at his decisions is not readily amenable to computer simulation — equations that adequately represent the interplay between experience, observation and intuition have yet to be written.

The two NRC researchers concluded that the most satisfactory answer to this problem was to use a "real" human operator — in fact a converter-foreman to operate the model, and from the man-computer interaction build up a repertoire of decision-making processes. To this end, in addition to the conventional teletype input/output unit, a special display unit based on the floor plan of the smelter plant (complete with servo-operated models of the overhead cranes) was added to this system. Not only did this on-line display unit provide valuable insight into crane scheduling and interference problems, but also, as Mr. Nenonen remarks, overcame "the communication barrier normally encountered between computer models and operating personnel." The display panel provides information on the status of all the components of the system via an array of color-coded indicator lamps, and a digital readout of the simulation time in hours and minutes. This display unit proved to be an invaluable tool in the development of the simulation model.

Only a brief orientation period was required before smelter operating personnel were able not only to run the "hypothetical" smelter as confidently as the real thing, but also to provide suggestions on model improvements based on the information they received from the display unit. This form of display unit removes the need for the operator to acquire any programming knowledge. He can, instead, concentrate his attention on the actual operation of the model.

With the development of the model to the stage of simulating actual production runs, possibilities for increased productivity through rescheduling began to emerge. One particular example was the established policy of material transfer between any two converters part-way through the conversion process. This procedure had been followed in order that one converter could, after only a short matte processing time, proceed to a copper blow, while the other converter reverted to the initial matte phase. In addition, it

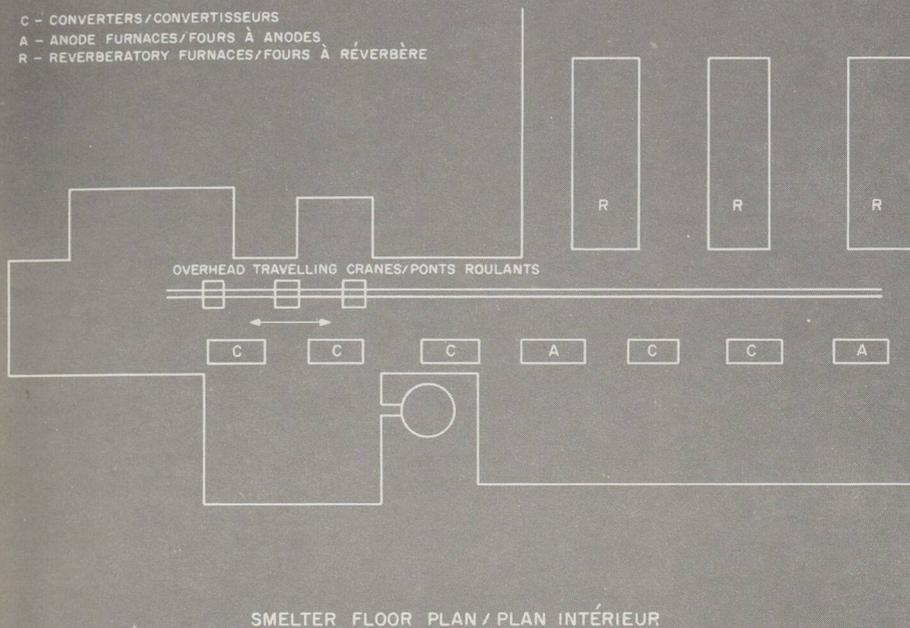
was thought that this would allow the end points of the batch converter processes to be evenly distributed. Results of many simulation runs, however, revealed that by opting for a "no transfer" policy, overall smelter production could be increased by up to seven per cent. Application of the "no transfer" policy also facilitated a more even distribution of the converters' end points.

Rescheduling crane maintenance periods, investigating the use of oxygen enriched air in the conversion process and studying the effects of the construction of a new continuous smelting unit on converter aisle operations are further valuable applications of the computer model. The potential and proven benefits from the application of such computer models can amount to millions of dollars per annum. Perhaps the greatest value of the model lies not simply in the potential direct economic gain, but in its use as a training aid. Apart from being able to provide a new foreman with experience in spacing different blowing stages on the converters, scheduling cranes and refining and casting operations, the model can be of great value to an experienced foreman who wishes to try out new policies without the risk of disrupting production.

NRC's success with this hybrid computer-based simulation has led to a cooperative program between the Steel Company of Canada and NRC's Division of Mechanical Engineering to develop a computer model of that company's oxygen furnace plant in Halifax. Also work is under way on the modelling of an electric furnace plant run by Quebec Iron and Titanium.

A key feature in the successful development of this type of computer model has been the involvement of plant operating personnel from the early stages of the program. In a very real sense, the copper smelter model was "designed around" the person of the converter foreman, supplementing rather than supplanting his role, the machine being made to adapt to the man. This points up an important fact which is too often forgotten when the role of the computer in human activities comes under consideration. These "big, fast, dumb adding machines" can do much more than relieve humankind of the drudgery of repetitive calculational tasks — properly used they offer great potential for extending and enhancing our own abilities. □ **David Mosey**

Le tableau synoptique: les évolutions des ponts roulants sont simulées par les maquettes asservies et les phases successives du traitement du minerai le sont par des lampes indicatrices de couleur codée.



Les deux chercheurs du CNRC ont donc tiré la conclusion que la meilleure manière de trouver la réponse à ce problème était d'utiliser un contremaître humain "réel" c'est-à-dire, en fait, d'utiliser un répertoire des processus de décisions prises par un contremaître réel chargé du convertisseur. A cette fin, en plus du télétpe d'entrées et de sorties, un tableau synoptique donnant à tout instant la position sur le plancher de l'usine des matériels mobiles asservis, comme les ponts roulants, a été ajouté au système. Non seulement ce tableau permet de suivre le travail de ces matériels et d'apprécier l'ampleur des problèmes d'interférence mais aussi, comme M. Nenonen l'a fait remarquer, il a permis de résoudre "la barrière de communication normalement rencontrée entre des modèles mathématiques et le personnel". Les renseignements fournis par le tableau sont très accessibles grâce à des lampes indicatrices de couleur codée et à l'affichage numérique du temps de simulation exprimé en heures et en minutes. Ce tableau s'est révélé être très précieux pour la mise au point du modèle mathématique.

Il a suffi d'une courte période d'adaptation pour que le personnel chargé du fonctionnement de la fonderie puisse, non seulement faire marcher cette "fonderie simulée" avec autant de confiance que s'il s'était agi de la fonderie réelle, mais aussi proposer des améliorations du modèle en se basant sur les indications du tableau. Il est important de remarquer que cette forme de tableau dispense d'enseigner la programmation au contremaître qui peut alors concentrer toute son attention sur le fonctionnement réel du modèle.

Ce modèle ayant été développé jusqu'au point de simuler la production à son régime réel, il est apparu qu'on pouvait augmenter la productivité en modifiant les séquences. On peut citer, comme exemple, le cas du transfert de matériaux tel qu'il avait été conçu entre deux convertisseurs. Ces transferts avaient été en effet définis pour que l'on puisse souffler le cuivre d'un convertisseur après une courte durée de traitement de la matte alors que l'autre convertisseur pourrait reprendre le travail au début du processus. De plus, on avait pensé qu'il serait alors possible de répartir uniformément les commencements et les fins du processus ayant lieu dans le convertisseur n'opérant pas en continu. Les résultats des nombreux essais de simulation ont toutefois

montré que si l'on choisissait "zéro transfert", la production globale de la fonderie pourrait être augmentée de 7%. De ne pas avoir de transfert a permis d'avoir plus facilement une répartition plus égale des points extrêmes des convertisseurs.

D'autres applications intéressantes de la simulation mathématique sont: une modification des séquences d'entretien des ponts roulants, l'étude de l'utilisation de l'air enrichi d'oxygène dans le processus de conversion et l'étude de l'influence de la construction d'une nouvelle unité continue de fonderie sur le fonctionnement des convertisseurs. Les bénéfices éventuels et les bénéfices démontrés de l'application de ces modèles mathématiques peuvent s'élever à des millions de dollars chaque année. Il est possible que la plus grande valeur du modèle se trouve, non seulement dans le gain économique direct éventuel, mais aussi dans son utilisation pour former le personnel. En dehors du fait qu'il est possible d'amener un contremaître à acquérir de l'expérience dans l'espace des différentes étapes de soufflage, les opérations d'utilisation des ponts roulants, du raffinage et du coulage, le modèle peut être de grande valeur pour un contremaître expérimenté qui souhaite essayer de nouvelles méthodes sans risquer de perturber la production.

Le CNRC ayant réussi à se servir d'un ordinateur hybride, on a commencé à mettre au point, à la Division de génie mécanique et en coopération avec la "Steel Company of Canada", un modèle mathématique pour simuler l'usine de cette compagnie à Halifax où l'on utilise des fours à oxygène. On étudie également le modèle d'une usine à fours électriques pour le compte de la compagnie Fer et titane du Québec.

Il est à remarquer que le personnel des usines a été intéressé à la simulation dès le début du programme et l'on peut même dire que le modèle de la fonderie de cuivre a été tout d'abord conçu en partant du contremaître contrôlant le convertisseur, les machines simulées ne remplaçant pas l'homme mais le complétant. C'est là un point important, trop souvent oublié, quant au rôle de l'ordinateur dans les activités humaines. Donc, ces "grosses machines à faire des additions très rapidement mais aussi très bêtes" peuvent, non seulement épargner des tâches fastidieuses, mais nous permettre de développer et de renforcer nos propres capacités. □

Earthquakes, traffic vibrations, skiers — What triggers an avalanche?



"We hear two loud cracks beneath our feet, as if the crevasse has shifted. There is dead silence. It is 1.26 p.m.

"And then it thunders down over us — ton upon ton of snow. Some team members jump or are blown into the crevasse, which is filling with snow. I am knocked to my hands and knees. Everything goes dark as the snow pours over the serac overhead. It rises and hardens around me. I try to flail away for breathing space while coughing the powder from my mouth. I cannot see and can barely breathe.

"It lasts a full minute. Then it is ended, the biggest avalanche I have ever seen.

"The avalanche has ripped up a slope of 1,000 feet (300 m) wide and at least 4,000 feet (1200 m) long. Below us, snow debris is piled 30 feet (9 m) deep. Only later do we learn that an earthquake triggered the slide.

"I try to push myself free of the wet snow and look about. Everyone is there. It seems incredible that no one was swept away.

"We help dig each other out . . . The ice serac deflected the full fury of the avalanche over our heads, at the least several hundred thousand tons of snow, we calculate later."

Christopher S. Wren, a correspondent in The New York Times Moscow Bureau, was a member of the American team of mountain climbers that scaled the 7138 m (23,405-foot) Lenin Peak in the Pamirs last year — a climb beset by earthquakes, blizzards, avalanches, and death.

➤ Avalanches have taken thousands of lives the world over: in the Dolomite Valley of Northern Italy on 13 December, 1916, an estimated 10,000 Austrian and Italian troops were buried in more than 100 avalanches. Bodies were still being found 36 years later; in Huaras, Peru, 13 December, 1941, some 5,000 people perished; at Mount Huscaran, Peru, 20 January, 1962, 3,000 people. Two avalanches in France in

This series of photographs show the progress of an avalanche released by artillery.

Photographies mettant en évidence la progression d'une avalanche déclenchée par des artilleurs.

1970, one at Val d'Isère on 10 February, and the other at Saint Gervais, on 16 April, took a total of 114 lives.

The greatest avalanches, though rarely observed, occur in the Himalayas. It has been estimated that 3,500,000 cubic meters (120,000,000 cubic feet) of snow fell in one avalanche alone in the Italian Alps in 1885.

In Canada, the worst avalanche occurred in 1910 in Rogers Pass, British Columbia, when 58 people lost their lives. The heaviest death toll in recent years was in 1965 at the Granduc Mine in northern British Columbia, where 26 people were lost. A heavy avalanche year in 1971-72 claimed 17 lives, and last winter 10 people, including three skiers, were killed in avalanches.

The National Research Council of Canada's Division of Building Research has been investigating the characteristics of avalanches and avalanche defence methods since 1958. During the last 10 years, the need for information concerning avalanches and avalanche defence in the mountains of Western Canada, where the greatest number of avalanches in this country occur, has greatly increased because of the development of new mines, an increase in road and rail traffic, and an expansion of ski areas.

"Our work," says Mr. Peter A. Schaerer of the Division's Geotechnical Section, "is concerned with learning the characteristics of avalanches in order to obtain the information which is required by anyone with an avalanche control problem, for example, those who must locate highways or buildings where avalanches occur, those who build structures strong enough

Séismes, vibrations, skieurs

Le déclenchement des avalanches



"Nous entendons deux grands craquements sous nos pieds comme si la crevasse s'était décalée. Silence de mort! Il est 13 h 26".

"C'est alors que des tonnes et des tonnes de neige descendent vers nous dans un bruit de tonnerre. Certains membres de l'équipe sautent ou sont littéralement soufflés dans la crevasse qui se remplit de neige. Je suis projeté à quatre pattes! Tout devient sombre lorsque la masse de neige passe par-dessus le sérac plus haut que nous. La neige s'épaissit et devient dure tout autour de moi. J'essaie de me redresser pour respirer tout en toussant et en crachant cette poudre qui me rentre dans la bouche. Je ne vois rien et je peux à peine respirer".

"Après une minute, tout est fini. C'est bien la plus grande avalanche que je n'aie jamais vue".

"L'avalanche a balayé une pente de 4 000 pieds (1200 m) de long sur 1 000 pieds (300 m) de large. En dessous de nous, des débris s'empilent sur 30 pieds (9 m) de profondeur. Plus tard, nous avons appris que c'est un tremblement de terre qui a déclenché l'avalanche".

"J'essaie de me libérer de toute cette neige mouillée et je regarde autour de moi. Tout le monde est là. Il semble incroyable que personne n'ait été emporté".

"Nous nous entraînons pour sortir de cet enneigement... Les séracs ont rejeté par-dessus nos têtes la plus grande partie des quelques centaines de milliers de tonnes de neige qui ont glissé sur la pente, de sorte que nous n'avons pas été touchés".

C'est ainsi que Christopher S. Wren, correspondant du New York Times à Moscou, a décrit une avalanche dans laquelle il s'est trouvé pris alors qu'il était membre de l'équipe américaine d'alpinistes qui ont fait, l'année dernière, l'escalade du pic Lénine atteignant 7 138 mètres (23,405

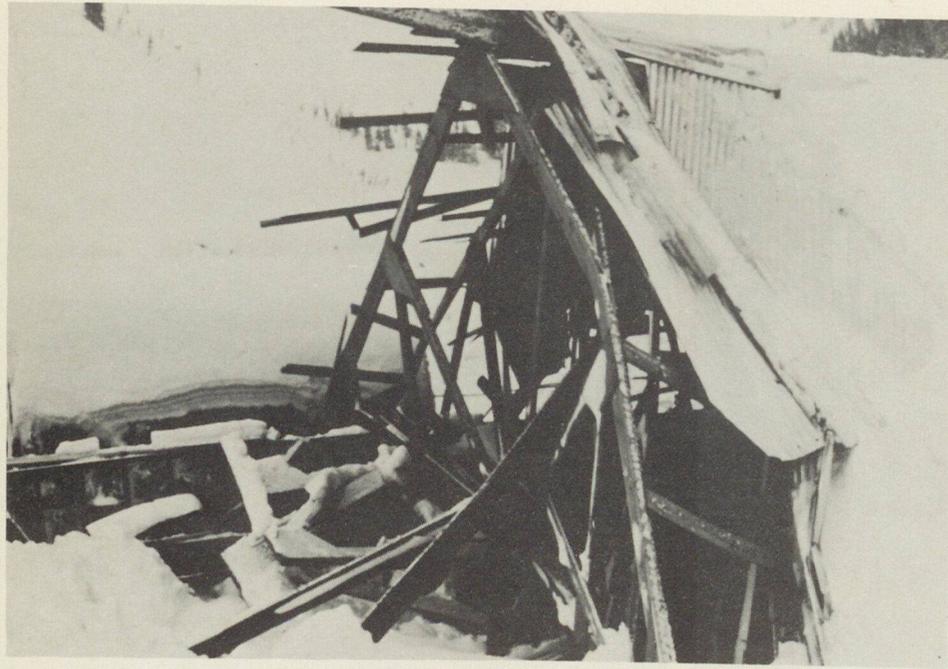
pieds) d'altitude dans le massif du Pamir. C'est une région où les tremblements de terre, les blizzards et les avalanches sont fréquents.

Des milliers de personnes, dans le monde entier, sont mortes dans des avalanches. Ainsi, dans les Dolomites de l'Italie du nord, le 13 décembre 1916, plus de 100 avalanches ont enseveli 10 000 soldats autrichiens et italiens. On trouvait encore des corps 36 ans plus tard. Au Pérou, à Huaras, 5 000 personnes ont péri le 13 décembre 1941 et, au Mont Huscaran, 3 000 autres sont mortes le 20 janvier 1962. En France, en 1970, deux avalanches, l'une à Val d'Isère le 10 février et l'autre à Saint-Gervais le 16 avril, ont tué 114 personnes.

Les plus grandes avalanches se produisent dans l'Himalaya, mais il est rare que l'on puisse les observer. Les masses peuvent être énormes et l'on a estimé que 3 500 000 m³ (120 millions de pieds cubes) de neige se sont mis à glisser tout d'un coup dans les Alpes italiennes en 1885.

Au Canada, la plus grande avalanche connue a tué 58 personnes; elle s'est produite en 1910 dans la Rogers Pass, en Colombie britannique. Ces dernières années, l'avalanche la plus meurtrière a tué 26 personnes; elle a eu lieu en 1965 à la Mine Granduc, dans le nord de la Colombie britannique. Une forte avalanche, en 1971-72, a tué 17 personnes et, l'hiver dernier, 10 autres personnes dont 3 skieurs, ont perdu la vie.

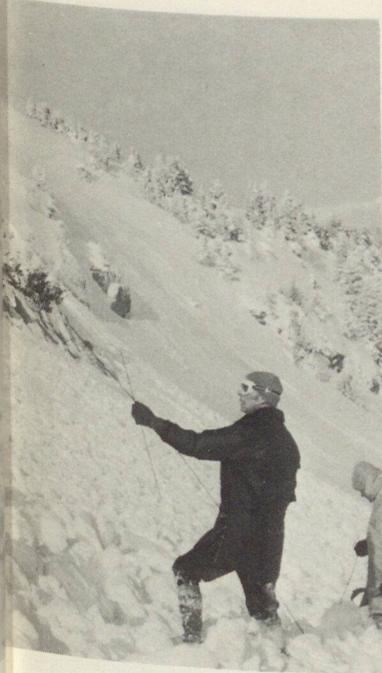
Depuis 1958, la Division des recherches en bâtiment du Conseil national de recherches du Canada étudie les caractéristiques des avalanches et des méthodes de protection. Au cours des 10 dernières années, on s'est rendu compte qu'il est nécessaire de disposer de renseignements sur les avalanches et sur les moyens de s'en protéger, surtout dans



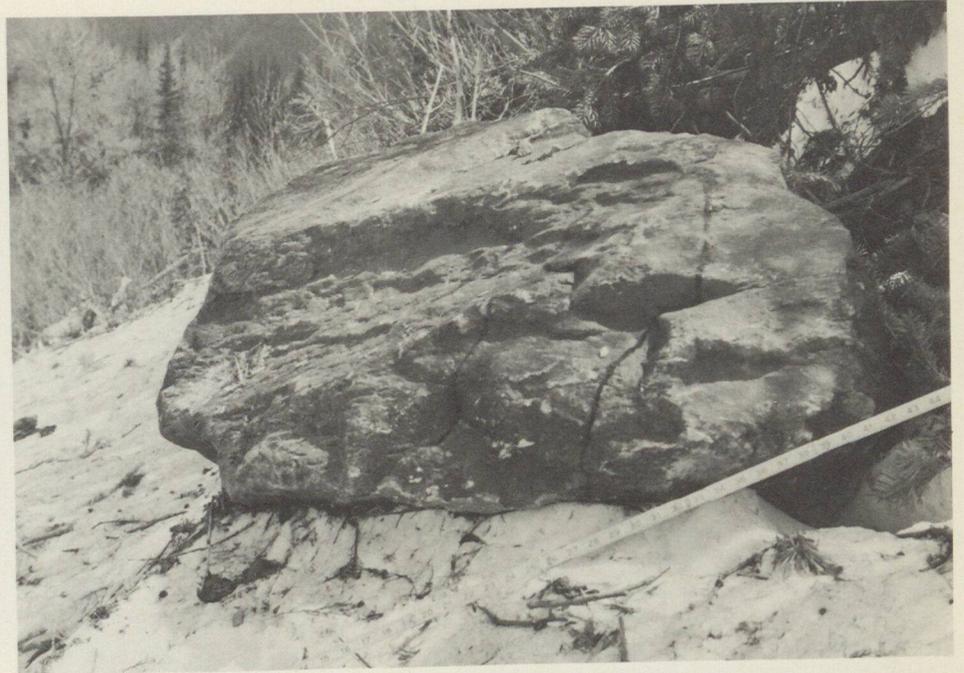
One avalanche last winter caused damage of over half a million dollars to mine buildings. Plus de 500 000 dollars de dégâts ont été causés par des avalanches aux installations minières l'hiver dernier.



Search for avalanche victims near a ski resort.



On recherche les victimes d'une avalanche près d'une station de ski.



An avalanche at Rogers Pass in February 1970 moved this boulder to the opposite side of the valley. A Rogers Pass, en février 1970, une avalanche a transporté ce rocher de l'autre côté de la vallée.

to resist them, or those who design avalanche defence structures.

"One of our projects is aimed at developing methods for predicting the maximum size of avalanches that can be expected during a 10-year and a 30-year period as well as the maximum amount of avalanche snow that can be deposited at a given site."

In 1956, Rogers Pass was chosen as the shortest and most economical crossing place for the Trans-Canada Highway. The average annual precipitation at Rogers Pass, at an elevation of 1320 m (4,320 feet) in the centre of the Selkirk Mountains, is 1330 mm (52.4 inches), 70 per cent of which falls as snow. Eighty-six avalanche sites are crossed by the highway over a distance of 50 km (30 miles). The hazard varies from site to site: at some, many dangerous avalanches can reach the highway in an average winter; at others, the avalanches usually produce harmless snow dust and only once in 30 years will deep snow be deposited on the highway.

"The most common avalanches," says Mr. Schaerer, "are caused by the weight of new snow sliding on top of old. But the snow has to be ready, in other words, it has to be in an unstable state, and then it simply breaks loose."

An explosive charge, earthquakes, vibrations from traffic, heavy machinery or the additional weight of a skier can trigger an avalanche.

Initially, the snow slab that breaks away slides as a rigid body, but after a short time, disintegrates into small fragments. During the first stage, the movement may be considered to be one of laminar motion, similar to that of a fluid. The speed increases rapidly on steep terrain and the motion becomes turbulent. Mechanical properties of the snow, as well as the roughness of the sliding surface and the steepness of the slope, have an influence on the speed.

The smallest particles of the disintegrated snow mix with the air at the surface and at the front of the avalanche. A typical mature avalanche consists of a core of dense snow flowing along the ground, accompanied by a cloud of snow

dust. The dust cloud is well developed in avalanches of dry snow with little cohesion; it is less pronounced in moist snow and absent in wet snow avalanches.

"Although the snow dust is the spectacular part of the avalanche," says Mr. Schaerer, "the flowing part contains most of the mass. It has a density twenty to fifty times that of the snow dust and can be much more destructive."

On steep terrain the snow dust usually moves at a speed equal to or slower than the flowing dense snow. On slopes with little incline, such as the outrun zone, the snow dust often overtakes the flowing part and travels a greater distance.

"For our research purposes, we chose 39 sites which had a total of 600 avalanches per year, roughly 15 per site," says Mr. Schaerer, who operates out of the Division's Regional Station in Vancouver. "Visual observations were made of the speed of released avalanches by timing the advance of their front over a known distance with a stopwatch. The sections of track under observation had lengths between 100 m (328 feet) and 400 m (1200 feet), uniform inclines and uniform cross sections. Features of terrain that could easily be identified on airphotos and maps, for example, junction of gullies, major rock outcrops and clumps of trees, were chosen as upper and lower boundaries. The distance and difference of elevation over which the avalanches had moved were measured on aerial photographs and contour maps. The angle of slope of the track under observation ranged between 27 and 44 degrees.

"We have observed avalanches of speeds from 10 metres (32 feet) a second to 62 metres (203 feet) a second, 36 to 220 km (22 to 136 miles) per hour. However, observations in Switzerland reported in the literature have measured some up to 300 km (186 miles) per hour. We probably have had some as fast in Canada, but nobody was there to clock them.

"The largest amount of snow we measured at these sites," says Mr. Schaerer, "was some 40,000 tons (36 000 t). Avalanches of less than 10 tons (9 t) we usually don't count."

les montagnes de l'ouest du Canada où elles sont les plus nombreuses et où le nombre de mines nouvelles et la circulation sur les routes et les voies ferrées augmentent; en outre, de nombreuses régions y sont aménagées pour le ski.

M. Peter A. Schaerer, de la section de géotechnique de la Division, nous a dit: "Notre travail se rapporte aux caractéristiques des avalanches afin d'obtenir les renseignements qui sont nécessaires à ceux qui luttent pour s'en protéger car les ingénieurs qui doivent déterminer l'emplacement d'autoroutes ou de bâtiments doivent être bien documentés s'ils veulent déterminer efficacement les emplacements et aussi construire les structures capables d'assurer une bonne protection".

"L'une de nos études vise à mettre au point des méthodes de prévision des plus grandes avalanches sur des périodes de 10 ans et de 30 ans et aussi des quantités maximales de neige qu'une avalanche peut accumuler en un lieu donné".

En 1956, on a choisi la Rogers Pass pour l'autoroute transcanadienne car c'est le col le moins long et c'est là que les travaux devaient être les moins coûteux. Les précipitations annuelles moyennes à une altitude de 1 320 mètres (4,320 pieds), au centre des monts Selkirk, sont de 1 330 mm (52,4 pouces), dont 70% de neige. Sur 50 km (30 miles), cette autoroute traverse 86 sites d'avalanches. Les risques varient de site en site et, en certains endroits, des avalanches dangereuses peuvent atteindre l'autoroute; en d'autres lieux les avalanches ne donnent habituellement que de la neige poudreuse sans grand danger, les accumulations épaisses ne se produisant guère qu'une fois tous les 30 ans.

M. Schaerer a ajouté: "Les avalanches les plus communes sont causées par la neige fraîche qui, en raison de son poids, se met à glisser sur la vieille. Autrement dit, la neige doit être "mûre" pour la glissade; elle doit être instable pour pouvoir perdre son équilibre".

Une explosion, un tremblement de terre, des vibrations provenant des véhicules lourds passant sur les routes, ou même le poids de skieurs peuvent déclencher une avalanche.

La nappe de neige qui commence à glisser se comporte tout d'abord comme un corps rigide puis, très vite, elle se brise en petits morceaux. Le mouvement d'ensemble peut alors être considéré comme étant celui d'un fluide en régime laminaire. A mesure que la vitesse augmente en raison de la pente, cet écoulement devient turbulent. Les propriétés mécaniques de la neige, la rugosité de la surface de glissement et la pente ont une influence sur la vitesse de l'avalanche.

Les plus petites particules de neige se mélangent à l'air à la surface sur le front de l'avalanche. Une avalanche vraiment développée peut être visualisée comme étant faite d'un nuage de neige poudreuse accompagnant une masse de neige dense coulant sur une pente. Le nuage est très développé dans les avalanches de neige poudreuse sans grande cohésion mais il est moins important si la neige est humide et il n'existe même pas lorsque la neige est mouillée.

M. Schaerer nous a aussi dit: "Quoique la neige poudreuse donnant le nuage constitue la partie spectaculaire de l'avalanche, c'est la neige qui coule sur la pente qui constitue la plus grande partie de la masse en mouvement. Sa densité est de 20 à 50 fois celle de la neige poudreuse et elle est beaucoup plus destructive".

Sur un terrain à forte pente, la neige poudreuse se déplace habituellement à une vitesse égale ou inférieure à celle de la masse de neige en mouvement. Sur des pentes faibles et sur les bords, la neige poudreuse dépasse souvent la masse principale en mouvement et parcourt de plus grandes distances.

M. Schaerer nous a encore dit: "Pour faire nos recherches nous avons choisi 39 sites où il se produit un total de 600 avalanches par an, soit environ 15 par site. On a observé visuellement et chronométré des avalanches sur des distances et des pentes connues de 100 à 400 mètres (328 à 1200 pieds) en terrain uniforme. On a choisi comme limites supérieures et inférieures les points saillants facilement identifiés sur des photographies ou sur des cartes, comme la



Avalanche impact pressures are also measured. Several pressure sensors, mounted in the track of an avalanche produce signals that are recorded and timed on an oscillograph as the avalanche front passes. The pressure sensors, located at various levels above ground, also permit conclusions to be drawn concerning the depth of moving snow.

For the Western mountainous region of Canada, the peak of the avalanche period is in January, the heaviest snowfalls occurring in that month. Snowfall usually decreases in February. It takes until the middle of December for the ground and all ground irregularities — trees, shrubs, rocks — to be completely covered with snow. Once the ground is smooth, avalanches can travel much farther, and dry snow avalanches are the most dangerous since they can move at a higher speed. Wet avalanches occur in late March or during the first week in April, when the snow is melting.

"The conditions associated with avalanches are usually recognizable," explains Mr. Schaerer. "Heavy snowfall — at least 30 cm (12 inches) — with winds of 50 km (30 miles) an hour or more, followed by warm weather."

When such conditions occur, highways crossing avalanche terrain are usually closed and no traffic is allowed through. On the Pacific Coast the rule is: as soon as the snowfall stops, so stops the avalanche. For this region, the snow usually becomes solid and stable rapidly because of the generally warm conditions. In the eastern part of the Rockies, an avalanche hazard may remain for several days and sometimes weeks because of the colder weather that is experienced there.

There are several effective methods of avalanche defence. When it is recognized that conditions are right and that an avalanche is ready to slide, it can be brought down by the use of artillery or a dynamite explosion. When the snow cover is stabilized in this way, there will be no further avalanches in the same area until there is another snowfall.

Pressure sensors mounted in the track of an avalanche produce signals that are recorded and timed on an oscillograph as the avalanche front passes.

Des capteurs de pression permettent de mesurer les forces d'impact d'une avalanche et d'obtenir leur évolution dans le temps.

Structures represent another means of protection — snowsheds, over which an avalanche can slide, and dams which deflect the flow of the avalanche away from the object to be protected. (The Canadian National and Canadian Pacific Railways included snowsheds in their original construction).

"However, snowsheds are expensive — one linear metre of a highway snowshed costs about \$6,000. These sheds are usually 80 to 300 m (262 to 984 feet) long so cost can run between half a million and two million dollars," says Mr. Schaerer.

Recently an avalanche task force established by the British Columbia Minister of Highways carried out a study of the avalanche hazard for highways in that province. Mr. Schaerer provided much of the technical information for that study. In addition, NRC's Division of Building Research has organized courses of instruction on avalanches and avalanche hazard evaluation. Six courses will be held this year — two at Whistler Mountain, three in Rogers Pass, and one in Jasper. The courses now have been held for three winters, and last winter about 136 people attended.

Avalanches are a very real danger in mountainous areas, particularly for skiers and climbers. The best protection is to be able to recognize avalanche slopes and to avoid them if possible. Individuals that do traverse avalanche country should become familiar with the conditions that cause avalanches, with the dependence of the avalanche hazard on terrain and weather, with safety precautions that should always be followed, and with the action to be taken in the event of an accident. □ **Joan Powers Rickerd**



When it is recognized that an avalanche is threatening, it can be brought down by the use of artillery or a dynamite explosion. **On peut déclencher, ou "avancer", une avalanche à volonté à l'aide d'explosifs (coups de canon ou charges de dynamite), explosion.**

jonction de ravins, les rochers importants et les bouquets d'arbres. Les distances couvertes par les avalanches et les différences d'altitude ont été mesurées à l'aide de photographies aériennes ou de cartes comportant les courbes de niveaux. Les pentes étudiées étaient de 27° à 44°.

Écoutons M. Schaerer: "Les avalanches que nous avons observées avaient des vitesses allant de 10 à 62 mètres (32 à 203 pieds) par seconde, c'est-à-dire de 36 à 220 km (22 à 136 miles) à l'heure. Il est à noter toutefois que l'on a observé en Suisse des avalanches atteignant 300 km (186 miles) à l'heure. Il est probable que nous avons eu des avalanches atteignant cette vitesse au Canada mais personne ne s'est trouvé à les chronométrer".

"La plus grande quantité de neige que nous avons mesurée en ces lieux a atteint 40 000 tonnes (36,000 t). Nous ne comptons habituellement pas les avalanches où la quantité de neige déplacée est inférieure à 10 tonnes (9 t)".

Les pressions d'impact des avalanches sont également mesurées grâce à des capteurs de pression à extensomètres placés sur la trajectoire probable. Ces capteurs donnent des signaux qui sont enregistrés en fonction du temps et, comme ils se trouvent à différentes hauteurs au-dessus du sol, ils permettent également de tirer des conclusions sur l'épaisseur

de la masse de neige en mouvement.

C'est en janvier que l'on observe le plus d'avalanches dans les montagnes de l'ouest du Canada car c'est à cette époque que se produisent les plus grandes chutes de neige. Il faut attendre le milieu de décembre pour que le sol et toutes les irrégularités comme les arbustes, les buissons, les rochers soient complètement couverts de neige. Une fois que la surface du sol est lisse, les avalanches peuvent se déplacer sur de beaucoup plus grandes distances. Habituellement, il neige moins en février. Fin mars et durant la première semaine d'avril, lorsque les neiges commencent à fondre, on observe des avalanches de neige mouillée et lourde. Les avalanches de neige poudreuse sont les plus dangereuses en ces régions car ce sont celles qui atteignent les plus grandes vitesses.

M. Schaerer nous a expliqué: "Les conditions qui conduisent au déclenchement des avalanches sont habituellement reconnaissables. Une couche de neige fraîche et épaisse d'environ 30 cm (12 pouces) et des vents de 50 km (30 miles) à l'heure au moins suivis d'un temps chaud conduisent à une avalanche".

Dans ces conditions, on ferme à la circulation les tronçons d'autoroutes qui pourraient être recouverts par les avalanches. Dans la région du Pacifique, on considère que le risque d'avalanche disparaît dès la fin de la chute de neige car la neige y devient en général compacte et stable très rapidement en raison de la douceur relative du climat. Par contre, dans l'est des Montagnes rocheuses, il peut se faire qu'il y ait risque d'avalanche encore pendant plusieurs jours et même pendant plusieurs semaines car il y fait plus froid.

Il existe plusieurs méthodes efficaces de se protéger contre les avalanches. Lorsque l'on s'aperçoit qu'une avalanche peut se produire en un lieu donné, il est possible de la déclencher à volonté en tirant au canon ou en faisant exploser des charges de dynamite. Ainsi on obtient des neiges stabilisées probablement jusqu'à la prochaine chute de neige.

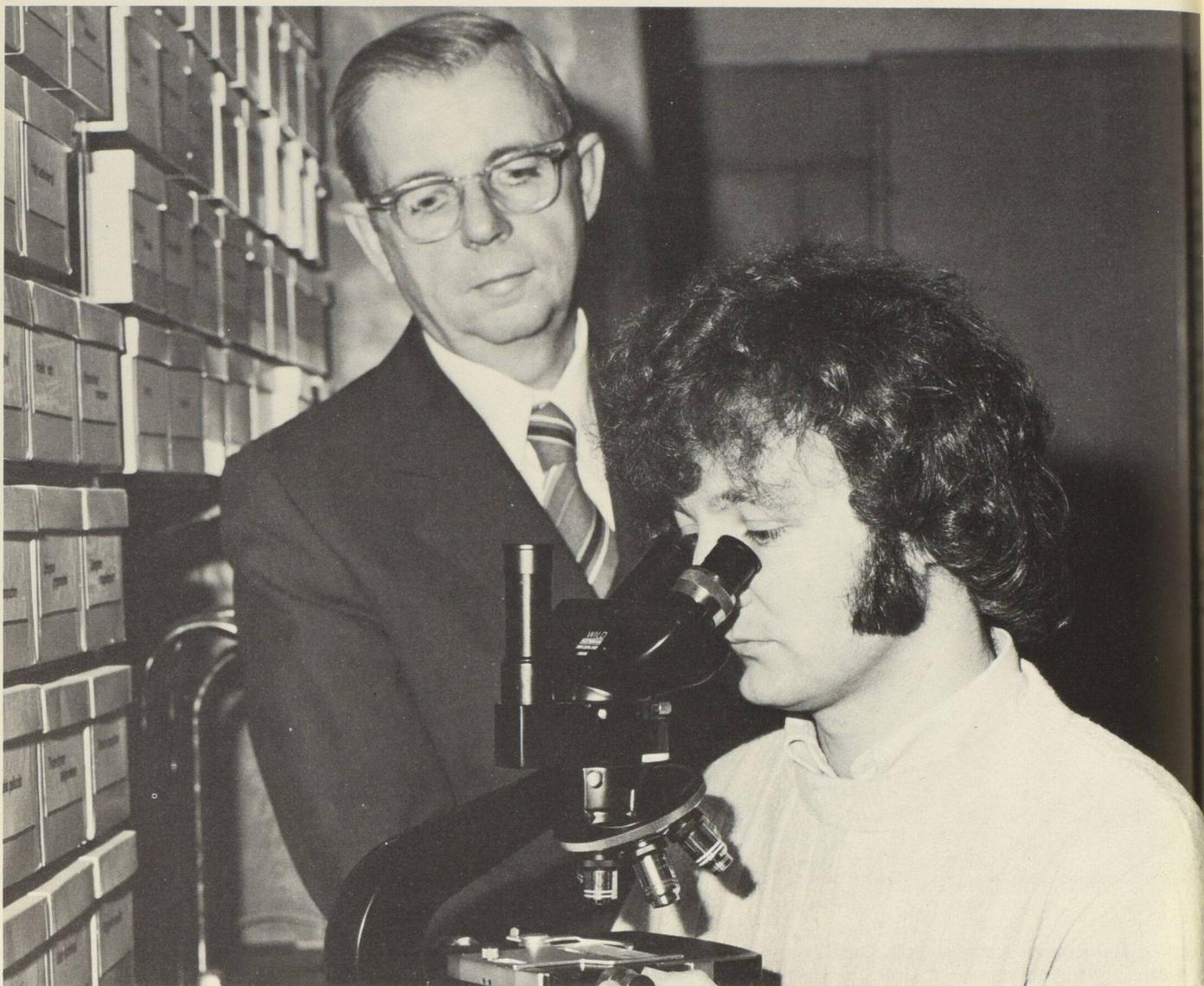
On peut également construire des structures de protection comme des sauts-de-mouton, grâce auxquels une avalanche peut passer par-dessus une route ou une voie ferrée, et des barrages qui rejettent la masse de neige en mouvement à une certaine distance de ce qu'il faut protéger. A noter que le Canadien National et le Canadien Pacifique ont construit des sauts-de-mouton même sur leurs premières voies ferrées.

M. Schaerer nous a dit: "Toutefois, les sauts-de-mouton sont onéreux puisqu'ils coûtent environ 6 000 dollars par mètre de route protégée. Habituellement, comme ces sauts-de-mouton ont de 80 à 300 mètres de long, ils coûtent de 500 000 à 2 000 000 de dollars".

Récemment un groupe d'études des avalanches, constitué par des représentants du Ministère des routes de la Colombie britannique, a étudié les risques causés par les avalanches sur les routes de cette province. M. Schaerer a fourni une grande partie des renseignements techniques nécessaires à l'étude. En outre, la Division des recherches en bâtiment du CNRC a organisé des cours sur les avalanches et sur l'évaluation des risques. Six cours seront donnés cette année, soit deux à Whistler Mountain, trois à Rogers Pass et un à Jasper. On a donné ces cours depuis trois ans durant l'hiver et environ 136 personnes les ont suivis l'hiver dernier.

Les avalanches constituent un danger vraiment réel dans les zones montagneuses particulièrement pour les skieurs et les alpinistes. La meilleure manière de s'en protéger est de pouvoir reconnaître les pentes susceptibles de donner des avalanches et de les éviter. Toute personne exposée aux avalanches doit connaître quelles sont les conditions qui peuvent les déclencher; il faut qu'elles sachent que le risque dépend du terrain et du temps et aussi quelles sont les précautions à prendre en cas d'accident. □

Epiphytes in our cities — Indicators of urban pollution



Obligate epiphytes are small plants which colonize tree trunks; more sensitive than vascular plants to the various pollutants in our metropolitan and industrial centres, they are excellent indicators of atmospheric pollution.

The word "epiphyte" is derived from the Greek "epi" and "phuton" meaning "on" and "plant" respectively; we are then referring to a plant which grows attached to another plant without deriving its sustenance from it, as would parasitic flora. Epiphytes suffer cankers, etiolation and other reactions when exposed to the damaging influence of toxic substances, especially sulphur dioxide and sulphur trioxide, fluorine and certain heavy metals.

Of no major economic importance, in spite of their great variety, these obligate epiphytes are easy to study in the field; also, their hardy nature facilitates transportation to and cultivation in laboratories, thus permitting year-round study. The results obtained have the further benefit of being transferable or extrapolable, up to a certain point, to cultivated plants of economic importance whose growth can also be influenced by air pollution.

Dr. Fabius LeBlanc, s.c., Professor of Biology at the University of Ottawa, is an expert in the study of mosses and lichens. During the course of his research, funded by the National Research Council of Canada, he has sustained a vital interest in these colonies of epiphytes which permit him

Dr. Fabius LeBlanc and Gilles Robitaille, a graduate student working out of Murdochville, Quebec, examine the effects of sulphur dioxide on chlorophyll. Laboratory experiments have shown that mosses and lichens steadily lose their chlorophyll when exposed to large doses of SO₂ and that the speed of disintegration is proportional to the amount of humidity in the air.

Le Dr Fabius LeBlanc et Gilles Robitaille, un étudiant gradué qui travaille présentement à Murdochville, Québec examinent les effets de l'anhydride sulfureux sur la chlorophylle. En effet, des essais en laboratoire ont démontré que les mousses et lichens perdent graduellement leur chlorophylle lorsqu'ils sont exposés à de fortes doses de SO₂ et que la vitesse de désagrégation est d'autant plus rapide quand le degré d'humidité dans l'air est plus élevé.

to make biological tests of atmospheric pollution. For more than 10 years now, he has studied the ecology and phytosociology of mosses and lichens in Quebec and Ontario. In his doctorate thesis, published in 1963, he had put forth the concept of the Epiphytic Quotient, and demonstrated how this quotient varies with different vegetative associations in forests. More recently, his studies have concentrated on the long-range effects of atmospheric pollution in our cities.

Bryologists and lichenologists can identify hundreds of species of mosses and lichens in our regions. Professor

Les épiphytes de nos grandes villes

Images de la pollution urbaine

Les épiphytes corticoles, de petites plantes qui colonisent les troncs d'arbres, peuvent servir d'excellent indice de pollution atmosphérique puisqu'ils réagissent d'une façon plus sensible que les plantes vasculaires aux polluants des agglomérations urbaines et des centres industriels.

Le mot épiphyte est tiré du grec "epi" et "phuton" signifiant respectivement "sur" et "plante"; il s'agit donc d'un végétal qui croît sur une autre plante sans toutefois en tirer sa nourriture telle une plante parasite. Les épiphytes subissent des nécroses, chloroses et autres réactions lorsqu'ils ressentent l'influence dommageable des produits toxiques, surtout des anhydrides sulfureux et sulfuriques, du fluor et de certains métaux lourds.

Sans grande importance sur le plan économique, malgré leur grande variété, ces épiphytes corticoles se prêtent toutefois facilement toute l'année durant au transport et à l'étude sur le terrain et en laboratoire puisqu'ils se conservent bien. En outre, les résultats obtenus ont l'avantage d'être transposables ou extrapolables, jusqu'à un certain point, aux plantes cultivées qui ont une importance capitale sur le plan économique et dont la croissance peut également être influencée par la pollution de l'air.

Le Dr Fabius LeBlanc, s.c., professeur titulaire de biologie à l'université d'Ottawa, est un expert dans l'étude des mousses et lichens. Dans ses travaux de recherches, subventionnés par le Conseil national de recherches du Canada,

il s'intéresse à ces colonies d'épiphytes qui lui permettent de faire des tests biologiques de la pollution atmosphérique. Depuis plus de dix ans déjà, il étudie l'écologie et la phytosociologie des mousses et des lichens du Québec et de l'Ontario. Déjà dans sa thèse de doctorat, publiée en 1963, il avait inventé le concept de "Quotient d'épiphytisme" et montré comment celui-ci varie avec les différents milieux que l'on trouve dans nos forêts. Plus récemment, ses études se sont concentrées sur les effets à long terme des polluants atmosphériques de nos grands centres urbains ou industriels.

Les bryologues et lichénologues peuvent identifier des centaines d'espèces de mousses et de lichens dans nos régions. Le Professeur LeBlanc a lui-même trouvé plus de 250 espèces de muscinées poussant sur le sol, les pierres ou les écorces sur une superficie de 11 km² (4 miles carrés) seulement, au Mont Saint-Hilaire, à 29 km (18 miles) au nord-est de Montréal, et il est convaincu qu'il doit y avoir autant d'espèces de lichens dans ce territoire restreint. Pourquoi donc existe-t-il une telle différence entre la quantité et la qualité de la végétation épiphytique des arbres de nos forêts, souvent hôtes de nombreuses espèces, lorsque comparées à celles que l'on observe dans les grandes villes et autour de nos complexes industriels où cette végétation est souvent absente ou n'est représentée que par de rares espèces plus ou moins rachitiques?

Accompagné d'une équipe de jeunes chercheurs, le



urban pollution

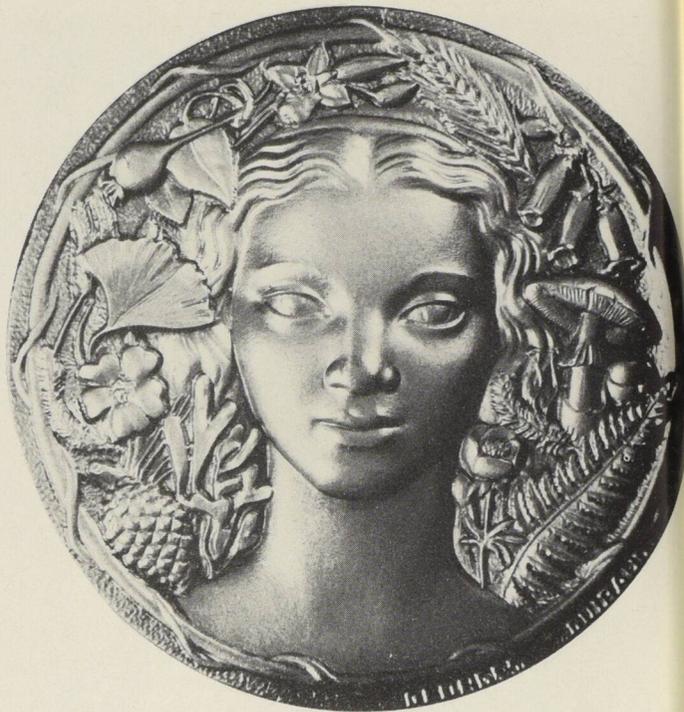
LeBlanc has identified more than 250 species of mosses growing on the ground, rocks and tree trunks in an area of only 11 km² (4 square miles) at Mont Saint-Hilaire, 29 km (18 miles) north-east of Montreal, and he estimates there must be as many species of lichens in that limited area. Why then does there exist such a vast difference in the quality and quantity of epiphytic vegetation in our forests, where the trees are often host to dozens of lichenous species, and the vegetation which one observes in large cities and around industrial complexes, where these plants are rare and sickly, when they can be found at all?

Accompanied by a group of young researchers, Professor LeBlanc first explored the surroundings of the industrial complexes at Wawa and Sudbury in Ontario, where sulphur dioxide (SO₂) has greatly damaged the vegetation in general and mosses and lichens in particular. He then pursued his investigations around Arvida and Murdochville in Quebec to discover the impact which fluorine and heavy metals have had on the vegetative ecology in these regions. However, it is in Montreal that Professor LeBlanc demonstrated conclusively the major influence of air pollution on epiphytic vegetation. During three summers, his group carried out a detailed study of the ecology and phytosociology of epiphytes in 350 stations around Montreal in order to map the long-term effects of atmospheric pollution on the basis of lichen sensitivity.

His mapping method is based on the reaction or response of these obligate epiphytes to atmospheric pollutants. This long-term reaction is manifested by the disappearance of all or certain species in very polluted areas and by the abundance and great vitality of other species in areas with relatively little or no pollution. A simple mathematical formula takes into account relevant parameters, including the number of species, their covering on individual trees, their frequency, vitality, ease of reproduction and specific resistance to pollutants. It is possible, with the formula, to establish an Index of Atmospheric Pollution or I.A.P. for a given point; this index is actually a very accurate figure. As a result of this work a series of maps were published illustrating the distribution of several types of epiphytes around Montreal. The synthesis map, in six colors, gives an overall view of the long-range influence of air pollution in Montreal. By covering this map with an overlay especially printed to locate the industries and urbanized areas, the correlation between industrialization and the quality of vegetation becomes clear.

Following a series of conferences which Professor LeBlanc gave at Harvard University in 1968, he was invited to cooperate with Professor H.T. Fisher, Associate Director of the Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis, of the Graduate School of Design of that university, in feeding all the information available as a result of the Montreal studies into a computer capable of producing rapidly and economically maps just as precise as those already drawn. This work was funded by the National Air Pollution Control Administration of the U.S. Department of Health, Education and Welfare. Dr. Jean-Maurice Granger, of the Institut d'Urbanisme, Université de Montréal, also cooperated in this project with the preparation of a paper on the subject: "Computer Mapping as an Aid in Air-Pollution Studies". This method of mapping, SYMAP, has enabled Professor LeBlanc to simplify his original methodology to arrive at a comparable result at nominal cost.

Has the epiphytic vegetation around Montreal always been so poor and in such bad health? Professor LeBlanc is not of that opinion. Fifty years ago, Father Hypolyte Dupret, sulpician, Professor of Philosophy at the Grand Séminaire de Montréal, collected dozens of species of epiphytic mosses on the maple and oak trees of Mount Royal in the very centre of Montreal, where these plants were then widespread and in good health. The notes and precise descriptions preserved



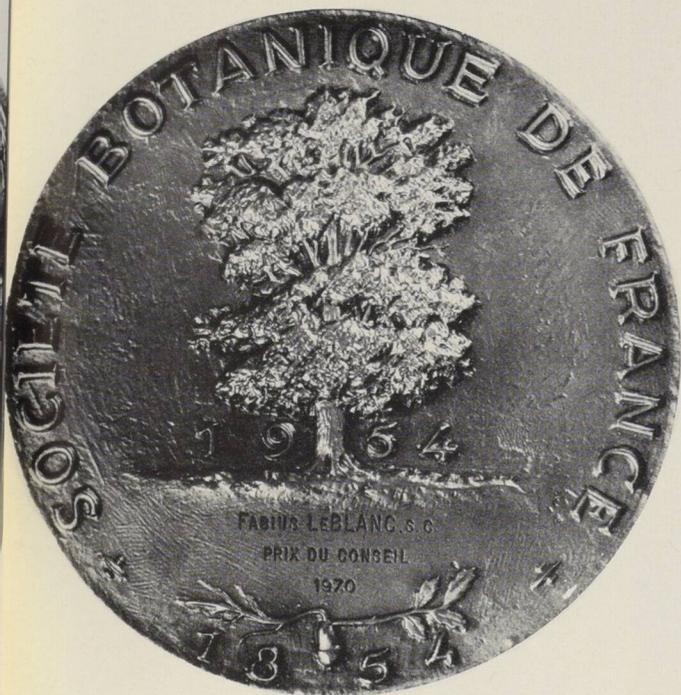
at the Botanical Institute of the Université de Montréal made it possible for Professor LeBlanc to locate the areas herborized by Father Dupret. Unfortunately, the many species of epiphytic mosses observed a half century ago have now completely disappeared from Mount Royal and the centre of Montreal has become an "epiphytic desert". The present generations of students must travel a great distance away from the centre of the city in order to study these plants.

Thanks to an ingenious method devised by Dr. E. Brodo of the National Museum, Ottawa, Professor LeBlanc has been able to transplant pieces of bark on which grew lichens and mosses from non-polluted areas onto trees in the polluted areas surrounding Wawa and Sudbury in Ontario and Arvida and Murdochville in Quebec.

The plants transplanted near the factories only lived a few months, whereas those transplanted at a further distance continued to grow normally. Moreover, results showed that these plants can accumulate in their tissues large quantities of sulphur, fluorine and several heavy metals. At 35 km (22 miles) south-east of Murdochville, for example, one finds 250 parts per million (ppm) of lead in a moss called *Hylocomium splendens*, while near the factories, 8 km (5 miles) from the city, there were 17,000 ppm.

In laboratory experiments, the University of Ottawa researchers have demonstrated that mosses and lichens exposed to large doses of SO₂ steadily lose their chlorophyll and that this change occurs more rapidly as the degree of humidity rises. Since the speed of disintegration is proportional to the amount of humidity in the air, it is important that industries better control their emissions during humid weather.

The work of Professor LeBlanc, while it has practical applications is also important from the point of view of fundamental research. In 1964, he was awarded second prize for scientific writing (Prix David) by the Department of Cultural Affairs of the Province of Quebec. In 1970, Professor LeBlanc received the medal of the Société botanique de France for the whole of his work on the ecology and phytosociology of obligate epiphytes, and for his more recent research on the influence of air pollution on epiphytic vegetation. □ **Diane Bisson**



Professeur LeBlanc a d'abord exploré les environs des complexes industriels de Wawa et de Sudbury, en Ontario, où l'anhydride sulfureux (SO_2) a causé de graves dommages à la végétation en général, et à la végétation bryologique et ichénologique en particulier. Il a ensuite poursuivi ses investigations aux environs d'Arvida et de Murdochville, au Québec, afin de se documenter sur l'impact du fluor et des métaux lourds sur l'écologie végétale de ces régions. Cependant, c'est à Montréal que le Professeur LeBlanc a démontré concrètement l'influence majeure de la pollution de l'air sur la végétation épiphytique. En effet, durant trois étés, son équipe a étudié en profondeur l'écologie et la phytosociologie des épiphytes de plus de 350 stations autour de la ville de Montréal afin de cartographier l'influence à long terme des pollutions atmosphériques sur ces plantes.

Sa méthode de cartographie est basée sur la réaction ou la réponse qu'offrent ces épiphytes corticoles aux polluants atmosphériques. Cette réaction se manifeste, à long terme, par la disparition de toutes ou de certaines espèces dans les endroits très pollués et par l'abondance et la grande vitalité d'autres espèces dans les endroits peu ou pas du tout pollués. Une formule mathématique simple, tenant compte de plusieurs paramètres dont le nombre d'espèces, leur couverture, leur fréquence, leur vitalité, leur facilité de reproduction et leur résistance spécifique aux polluants, permet de trouver pour un point donné un Indice de pureté atmosphérique (I.P.A.) qui se traduit par un chiffre précis.

Le résultat de ce travail a été la publication d'une série de cartes illustrant la distribution de plusieurs espèces d'épiphytes aux environs de Montréal. La carte synthèse, publiée en six couleurs, donne une vue d'ensemble de l'influence à long terme de la pollution de l'air dans la région de Montréal. En recouvrant cette carte d'un calque spécialement imprimé pour illustrer la localisation des industries et des terrains urbanisés, on peut constater qu'il y a une relation directe entre l'industrialisation et la qualité de la végétation.

À la suite d'une série de conférences que le Professeur LeBlanc donnait à l'Université Harvard en 1968, il a été invité à collaborer avec le Professeur H.T. Fisher, Directeur associé du "Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis", de la "Graduate School of Design" de cette université, à la

transportation de toute la documentation accumulée pour Montréal dans des ordinateurs pouvant produire rapidement et à peu de frais des cartes toutes aussi précises que celles déjà préparées. Ce projet était commandité par l'Administration du Contrôle de la Pollution de l'Air du Secrétariat américain de la Santé, de l'Éducation et du Bien-être. Le Dr Jean-Maurie Granger, de l'Institut d'Urbanisme de l'Université de Montréal, a également participé à ce projet en préparant une étude sur le sujet: "Computer Mapping as an Aid in Air-Pollution Studies". Cette méthode de cartographie, SYMAP, a permis au Professeur LeBlanc de simplifier sa méthodologie originelle et d'en arriver quand même à un travail aussi précis tout en étant beaucoup moins dispendieux.

Est-ce que la végétation épiphytique de la région métropolitaine de Montréal a toujours été aussi pauvre et en si mauvaise santé? Le Professeur LeBlanc n'est pas de cet avis. En effet, il y a 50 ans, le Père Hypolyte Dupret, sulpicien, professeur de philosophie au Grand séminaire de Montréal, récoltait des dizaines d'espèces de mousses épiphytiques sur les érables et les chênes du Mont Royal, en plein centre de Montréal, où ces plantes étaient alors très répandues et en bonne santé. Grâce aux notes et descriptions précises conservées à l'Institut botanique de l'Université de Montréal, le Professeur LeBlanc a pu relocaliser facilement les endroits où Dupret avait herborisé. Malheureusement, les nombreuses espèces de mousses épiphytiques observées il y a un demi-siècle sont maintenant complètement disparues du Mont Royal et le centre de Montréal est devenu un "désert épiphytique". Les générations d'étudiants actuels doivent se déplacer assez loin du centre de Montréal pour retrouver ces plantes.

Grâce à une méthode ingénieuse développée par le Dr E. Brodo, du Musée national d'Ottawa, le Professeur LeBlanc a pu transplanter sur des arbres des régions polluées environnant Wawa et Sudbury, en Ontario, ainsi qu'Arvida et Murdochville, au Québec, des morceaux d'écorces, en provenance d'endroits libres de pollution, recouverts de plantes épiphytiques. Les épiphytes transplantés près des usines n'ont survécu que quelques mois alors que d'autres, implantés dans des endroits plus éloignés, ont continué de croître normalement. De plus, les résultats de ces expériences ont montré que ces lichens et mousses pouvaient accumuler dans leurs tissus de grandes quantités de soufre, de fluor et de nombreux métaux lourds. À 35 km (22 miles) au sud-est de Murdochville, par exemple, on trouve 250 parties par million (ppm) de plomb dans une mousse *Hylocomium splendens*, alors que près de l'usine, à 8 km (5½ miles) de la ville, il y en a 17,000.

Des expériences en laboratoire ont montré aux chercheurs de l'université d'Ottawa que des mousses et lichens exposés à des doses plus ou moins grandes de SO_2 perdent peu à peu leur chlorophylle et ce changement se fait d'autant plus rapidement que le degré d'humidité atmosphérique est plus élevé. Puisque la vitesse de désagrégation est proportionnelle à la quantité d'humidité dans l'atmosphère, il devient d'autant plus important que les industries contrôlent mieux leurs émissions nocives par temps humide.

Les travaux du Professeur LeBlanc, même s'ils ont un certain aspect pratique sont surtout importants du point de vue de la recherche fondamentale. En 1970, le Professeur LeBlanc s'est vu décerner le Prix de la Société botanique de France pour l'ensemble de ses travaux sur l'écologie et la phytosociologie des épiphytes corticoles et pour ses études plus récentes de l'influence de la pollution de l'air sur la végétation épiphytique. Il avait déjà reçu en 1964 le deuxième prix au concours scientifiques et littéraires de la Province de Québec (Prix David). □ Diane Bisson

