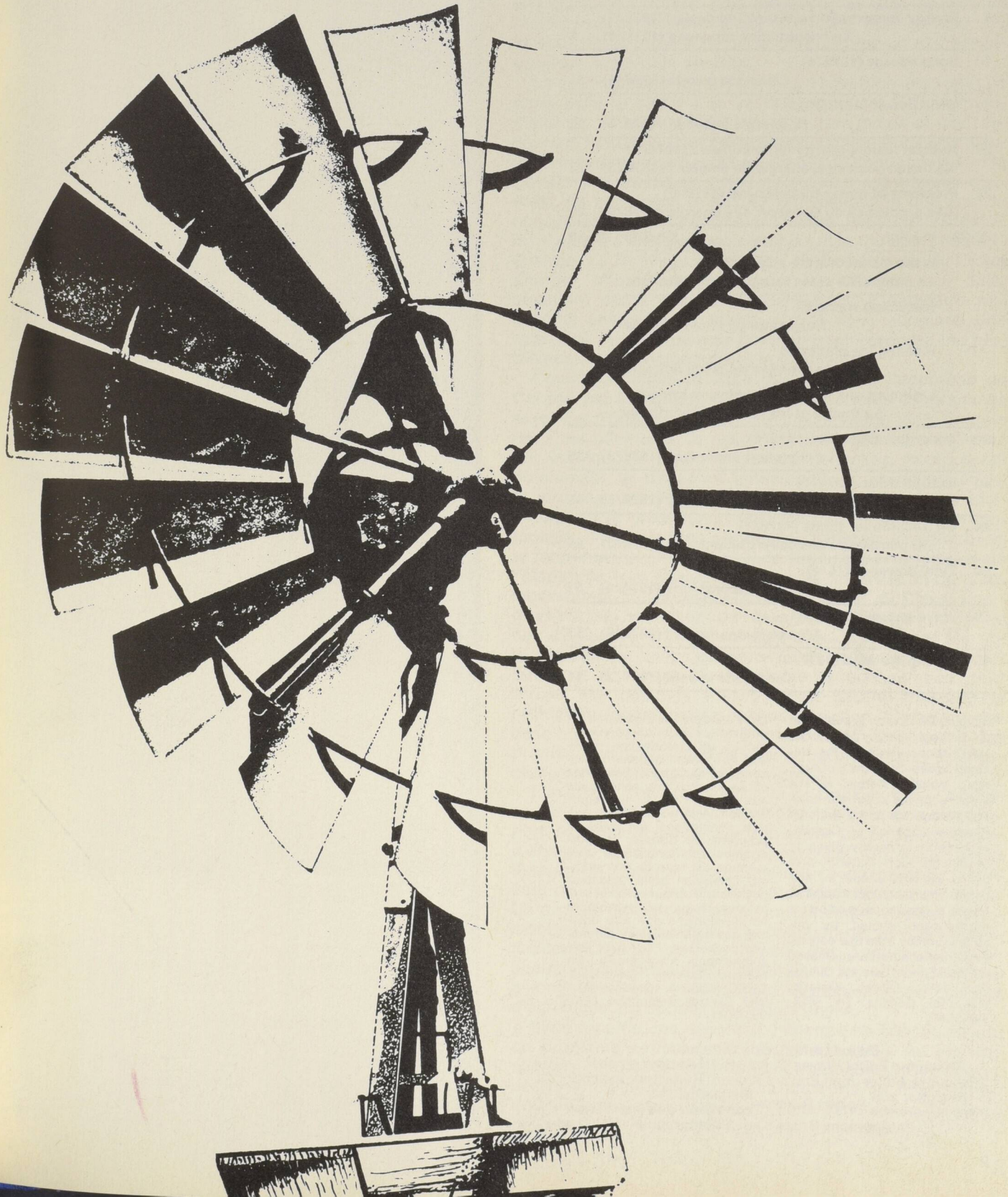


SCIENCE DIMENSION

SPECIAL ENERGY ISSUE | NUMÉRO SPÉCIAL SUR L'ÉNERGIE

[Aug. 1977]



SCIENCE DIMENSION



National Research
Council Canada

Conseil national
de recherches Canada

August 1977/Août 1977

Contents/Sommaire

4	Energy conservation and building design (1975/2) La construction repensée (1975/2)	5
10	Solar energy (1976/5) L'énergie solaire (1976/5)	11
14	Wind power (1976/5) L'énergie éolienne (1976/5)	15
22	Nuclear fusion, energy for tomorrow? (1976/5) La fusion nucléaire, énergie de demain? (1976/5)	23
28	Problems of power transmission (1976/6) Les problèmes du transport de l'énergie (1976/6)	29
32-33	In brief En bref	32-33
	Is the monococone the answer? Le monococone et les forages dans l'Arctique	
	Recycling waste oil Recyclage de l'huile usagée	
	Floating ice platforms Plates-formes de glace flottante	
	Lightning and power transmission systems La foudre et les réseaux électriques	
34	Anaerobic digestion (1976/1) La digestion anaérobie (1976/1)	35
40	Isotope shifts (1976/5) Les transitions isotopiques (1976/5)	41
44	Oil from the tar sands (1976/1) Du pétrole tiré des sables bitumineux (1976/1)	45
50	Tidal power (1974/4) L'énergie marémotrice (1974/4)	51
56	Wave energy (1976/5) L'énergie des vagues (1976/5)	57
60	Foiling the wind (1977/2) On déjoue le vent (1977/2)	61

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 au Directeur, Science Dimension, CNRC, Ottawa, Ontario, K1A 0R6, Canada. Téléphone: (613) 993-3041.

Editor Loris Racine **Directeur**
Managing Editor Wayne Campbell **Rédacteur en chef**
Executive Editor Joan Powers Rickerd **Rédacteur exécutif**
Designer and Robert Rickerd **Maquettiste et**
Print Supervisor **contrôleur de l'impression**
Photography Bruce Kane **Photographie**



Editorial

The energy activities of the National Research Council are presented in this special reprint of Science Dimension articles in response to a steady flow of requests for information on what has become the critical issue of our times. The contents result from a review of past Science Dimensions and a selection of topics that reflect the Council's involvement in energy research and development. The magazine itself, though large and well illustrated, has been relatively inexpensive to produce as the costs of writing, typesetting and illustrating have already been absorbed.

NRC's role in energy research forms part of a larger federal program centered at the Department of Energy, Mines and Resources and involving over a dozen other departments and agencies. The Council is perhaps unique among the participants in that its activities extend over all the major task areas — conservation, fossil fuels, nuclear energy, renewable resources, and transmission. According to Dr. Philip Cockshutt, head of NRC's Energy Project Office — the coordinator of energy research — success in meeting the challenge of future energy requirements will depend upon taking as broad an approach as possible to the problems of supply and utilization.

As the table of contents indicates, the Council's approach is eclectic, with major programs under way in solar energy, conservation of energy in buildings, fusion and wind energy. Supporting activities are proceeding both within the Council and at outside laboratories supported by NRC, and include automotive transportation, energy conversion and storage, tar sand extraction and coal beneficiation, isotope separation, wave and tidal energy, anaerobic fermentation, and cryogenic transmission. The aim of the Energy Project is not only to ensure a proper mix of the disciplines involved but to spread the time horizons, from high-impact, short-term programs like conservation to long-term basic-science programs such as fusion. The breadth of Canada's energy needs and the complexity of supply issues argue against a simple set of program priorities.

The danger of placing too much reliance on a single energy system, even on one of those considered ideal from the vantage point of the present, is underscored by Dr. Cockshutt's example of nineteenth century London where the primary mode of transportation was the horse. The environmental impact of so many horses was reflected in the impressive annual tonnage of manure. An Englishman of the time, had he encountered an automobile as he walked the ammonia-scented streets, would have looked upon it as the ideal solution to the city's environmental problem. After all, its only emission was a small wisp of smoke. Such a man, Dr. Cockshutt suggests, would find it difficult to appreciate the long-term deleterious effects of the seemingly innocuous exhaust fumes on London's air.

Just a short decade ago, energy supply was not considered a serious problem in Canada, a country with apparently inexhaustible natural resources. This sampling of some of the research programs carried out or supported by the National Research Council is testament to a change in Canadian attitude. □

Éditorial

En réponse à de multiples demandes de renseignements au sujet d'un des problèmes cruciaux de notre temps, nous avons décidé de consacrer un numéro hors série de Science Dimension à la réimpression d'articles traitant du rôle du CNRC dans la recherche et le développement énergétiques. Malgré son épaisseur et son abondante illustration, ce numéro a été produit à bon compte car le coût de la rédaction, de la composition et des photographies a déjà été absorbé.

La participation du CNRC à la recherche énergétique entre dans le cadre d'un vaste programme fédéral administré par le Ministère de l'énergie, des mines et des ressources et auquel sont associés plus d'une douzaine d'autres ministères et organismes. Ce qui distingue peut-être le Conseil des autres participants est que ses travaux couvrent les principaux domaines d'investigation que sont la conservation, les combustibles fossiles, l'énergie nucléaire, les sources d'énergie renouvelables et le transport de cette énergie. Le Dr Philip Cockshutt, chef du Bureau du Projet Énergie, chargé de coordonner la recherche sur cette question, pense que nous n'arriverons à satisfaire nos besoins énergétiques futurs que si nous adoptons une approche aussi large que possible pour résoudre les problèmes d'approvisionnement et d'utilisation.

Comme l'indique la table des matières, l'approche du Conseil est éclectique puisque d'importants programmes axés sur l'énergie solaire, la conservation de l'énergie dans les bâtiments, la fusion et, enfin, l'énergie éolienne ont été lancés. D'autres travaux connexes, comprenant notamment le transport automobile, la conservation et le stockage de l'énergie, l'exploitation des sables bitumineux et la valorisation du charbon, la séparation isotopique, l'énergie des vagues et l'énergie marémotrice, la fermentation anaérobie, et le transport cryogénique de l'électricité sont également en cours au CNRC et dans les laboratoires qu'il subventionne. L'objectif du Projet Énergie n'est pas seulement de réaliser un mélange homogène des disciplines impliquées mais aussi d'ordonner les objectifs dans le temps en partant des programmes à court terme et à impact élevé comme la conservation pour arriver aux objectifs à long terme faisant intervenir la recherche fondamentale comme la fusion. L'ampleur des besoins énergétiques du Canada et la complexité des problèmes d'approvisionnement ne se prêtent pas à l'énonciation d'une simple série de priorités.

L'exemple que nous fournit le Dr Cockshutt du Londres du 19^e siècle, où le cheval était le principal mode de transport, souligne le danger de trop miser sur un seul système d'énergie, même idéal en apparence. Un aussi grand nombre de chevaux produisaient un tonnage impressionnant de crottin dans les rues aux effluves ammoniacales. Un Anglais de l'époque aurait certainement vu dans l'automobile la solution idéale à la pollution de sa ville car elle n'émettait qu'un peu de fumée. Cet Anglais aurait eu beaucoup de difficulté à déterminer les effets délétères à long terme sur l'atmosphère londonienne de ces gaz d'échappement apparemment inoffensifs.

Il y a à peine une décennie, l'énergie ne constituait pas un problème sérieux pour le Canada, pays où les ressources naturelles semblaient inépuisables. Cet aperçu des programmes de recherche entrepris ou financés par le CNRC reflète la nouvelle politique canadienne face à ce problème. □

Two-day seminar/workshops — Energy conservation and building design

The rapid rise in the price of oil, gas and electricity in the last year has focussed attention on energy conservation.

During the last 10 years, and more particularly in the last three, the National Research Council of Canada's Division of Building Research and the federal Department of Public Works have worked in close association, the former on the development of techniques for use in analysis of energy utilization in buildings and the latter on the application of this information for design decisions in new buildings and in the operation of existing buildings.

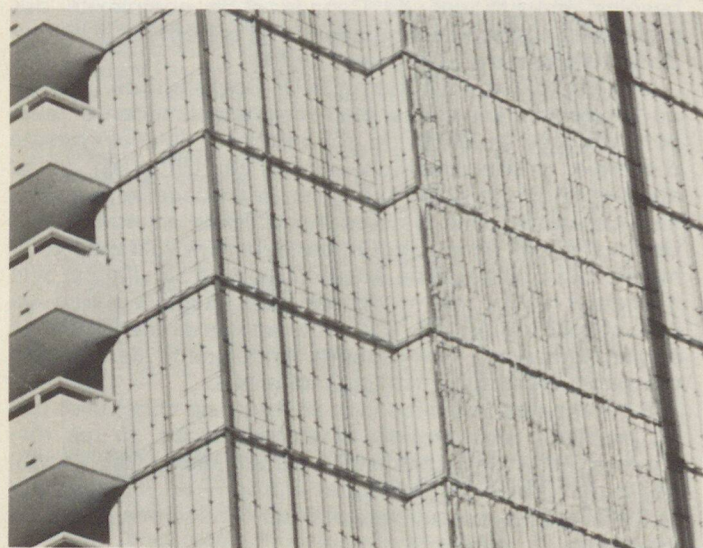
Today, about 20 per cent of all the energy used in Canada goes for heating more than six million residences and other domestic uses such as lighting, cooking, heating water and operating appliances. Another 14 per cent is used in commercial buildings. Total cost to the consumer for this energy in 1974 was some \$4 billion.

It is estimated that about one-third of the energy used in buildings could be saved by using more insulation and better windows, by using fewer lights and turning lights off when rooms are not in use, and by using more efficient heating and air conditioning systems. Much of the technology required to achieve these savings is already available and current research is providing refinements and evaluating new techniques. The principal need is to get the available technology into widespread use.

To this end, the Division, in conjunction with the Department of Public Works, presented two-day Seminar / Workshops last Fall on "Energy Conservation and Building Design" in six centres across Canada. Attendance totalled some 800 people directly involved in the design, construction and operations of buildings. Four speakers from the Division of Building Research and the Project Manager of the Energy Analysis Group, Department of Public Works, drew attention to the information and techniques that can help to curb the waste of energy in buildings in the hope that utilization of such measures will curb the rising consumption of energy need for commercial and domestic purposes.

Insulation, once used only in residences, is now commonly used in all buildings in Canada.

Les matériaux isolants, après n'avoir servi que dans les maisons d'habitation, sont maintenant utilisés dans toutes les constructions canadiennes.



La construction repensée Pour économiser l'énergie

Par suite de l'augmentation rapide du prix du pétrole, de l'essence et de l'électricité, l'année dernière, l'attention s'est focalisée sur la conservation de l'énergie.

Depuis la dernière décennie et plus particulièrement ces trois dernières années, la Division des recherches en bâtiment du Conseil national de recherches du Canada et le Ministère fédéral des travaux publics collaborent étroitement à la mise au point de techniques d'analyse de l'utilisation de l'énergie dans les bâtiments et à l'application des données obtenues à la construction des nouveaux édifices et aux bâtiments existants.

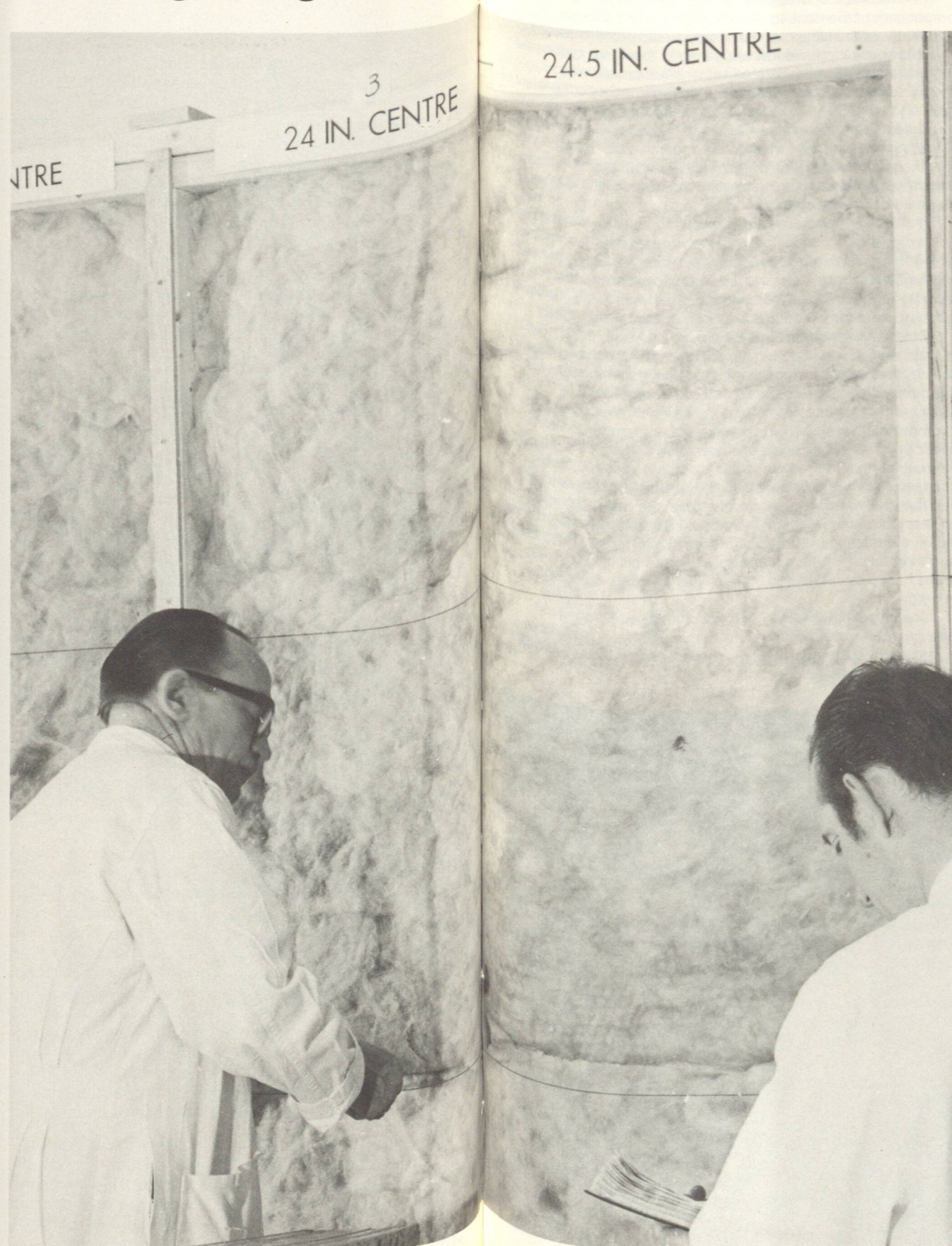
On estime que l'énergie nécessaire au chauffage, à l'éclairage et au fonctionnement des appareils ménagers de plus de six millions de foyers représente environ 20% du total de la consommation énergétique canadienne et que, si l'on y ajoute les 14% utilisés dans les édifices commerciaux, nous avons dépensé environ 4 milliards de dollars pour payer l'énergie dont nous avons eu besoin en 1974.

On a calculé qu'il est possible de réduire d'environ un tiers la consommation d'énergie des bâtiments en améliorant l'isolation, les fenêtres, les systèmes de climatisation et de chauffage, en réduisant l'éclairage électrique et en éteignant les lumières en sortant des pièces. La technologie indispensable pour réaliser ces économies existe déjà en grande partie et les recherches en cours visent à l'améliorer et à évaluer de nouvelles techniques. Ce qu'il faut avant tout, c'est généraliser l'application des moyens dont on dispose actuellement.

Dans ce but et en collaboration avec le Ministère des travaux publics, la Division des recherches en bâtiment a, au cours de l'automne dernier, présenté dans six villes canadiennes un séminaire de deux jours ayant pour thème "La conservation de l'énergie et la conception des bâtiments" et auquel environ 800 spécialistes de l'étude, de la construction et de la gestion des bâtiments ont participé. Quatre représentants de la Division des recherches en bâtiment et l'ingénieur en chef du Groupe d'analyse énergétique du Ministère des travaux publics ont attiré l'attention des participants sur les données et les techni-

Engineers measure air leakage characteristics through the basement, walls, windows and ceilings of a bungalow. The heat loss associated with air leakage represents between 20 to 40 per cent of the total heat loss from most buildings.

Des ingénieurs mesurent l'air qui parvient à pénétrer dans une maisonnette par les fenêtres, le sous-sol, les murs et le plafond. Cet air froid est la cause de 20 à 40% de la perte totale de chaleur de la plupart des bâtiments.



At the present time, oil and natural gas are the principal fuels used for space heating, but supplies are finite and some other source of energy will have to be developed eventually. It is predicted Canada will cease to be self-sufficient in oil production by 1982.

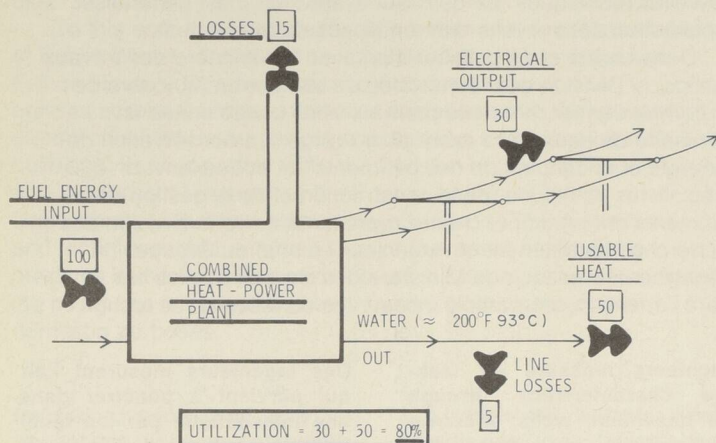
"I think," said Dr. D.G. Stephenson, Head of the Building Services Section of the Division, speaking in Montreal, 21-22 October, "that forecasts show why we should start to think about alternative sources of energy and at the same time take whatever steps we can to conserve our supplies of oil and natural gas."

What are the alternatives?

Electricity produced from coal and uranium is already replacing oil and gas for space heating in some parts of the country and eventually garbage and solar energy will be used as additional sources of energy for heating and cooling buildings. The changeover to these alternatives probably will be well under way by the year 2000.

"New buildings, therefore, should be designed so that they may be switched to new sources of energy during their lifetimes with a minimum of expense and interference," said Dr. Stephenson.

The first three alternate forms of energy involve using a centralized facility to convert fuel energy into heat and some system for distributing heat. Energy can be either in the form of electricity and be distributed by the power system or as heat in hot water or steam. (See diagram).



Solar energy, on the other hand, has to be collected and stored for use when the sun is not shining. However, the cost of collecting and storing "free" solar energy is currently considerably higher than the cost of heat from oil or gas, the major factor being the cost of the collector — from \$4 to \$8 per square foot. A typical house would need a collector area of about half the floor space in order to supply 50 per cent of the annual heating energy requirements.

"Solar energy," said Dr. Stephenson, "will probably come into use as the cost of energy from other sources rises rather than as a result of its own price coming down. It will find its best application in smaller cities and rural areas where it is not practical to use district heating and where the main supply of energy will be distributed in the form of electricity."

Heat loss from a normal detached house is made up of five nearly equal components — air leakage, and the conduction through the walls, windows, ceiling and basement.

"Thus," said Mr. G.O. Handegord, Head of the Information Service Group, "there is an opportunity for saving energy by reducing each of these components. In addition, insulation on the outside of a structure is preferable to having it on the inside since in most cases it allows the heat storage capacity of the structure to be used to best advantage."

Heat loss is also relevant to the durability and safety of buildings.

The infiltration of outside air is one of the most important components of the heating and cooling load of buildings, particularly tall buildings. All buildings should be constructed in such a way as to have low air leakage. This helps reduce the energy consumption associated with infiltration and also alleviates other problems such as smoke migration in the event of a fire, and condensation in the walls as the humid room air leaks out. Research on this problem is being carried out in the Division of Building Research in two phases: one involves measuring the air leakage characteristics of real buildings and the other the development of computer-oriented techniques for simulating air movement inside buildings.

Traditionally, windows have been used for natural ventilation and daylighting, but should also be considered as a means for gaining free solar energy, especially in winter. Double windows have twice the thermal resistance of single windows, but still only one-fifth the resistance of an insulated wall. Thus, windows lose more heat than an equal area of insulated wall or roof.

"The best orientation for windows," said Mr. J.R. Sasaki of the Building Services Section, "is facing south. That way they are easy to shade in summer and they admit solar heat in winter to compensate in part for their low thermal resistance."

Lighting constitutes a major component of the power used in commercial buildings. The practice has developed in North America of using high levels of illumination in a building rather than restricting it to areas where it is actually required by the occupants. In winter, when a building requires heat in order to keep the inside environment comfortable, the heat from lights can provide part of the necessary heat input and reduce the load on the heating system. But for much of the year, there is more than enough heat generated within the building and the excess has to be dissipated. This entails a further expenditure of energy.

"Use only as much light as is absolutely necessary and never provide excessive amounts; in this manner lighting does not cause any extra energy consumption," said Mr. G.P. Mitalas of the Building Services Section.



ques dont l'application pourrait contribuer à réduire le gaspillage d'énergie dans les bâtiments et ipso facto à ralentir l'évolution de la consommation énergétique commerciale et domestique.

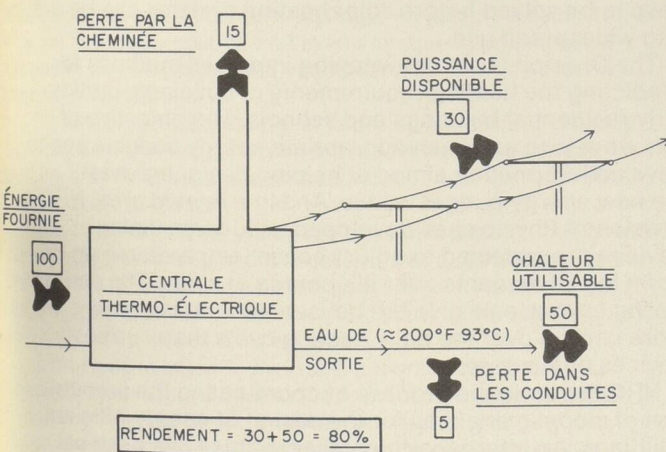
Le pétrole et le gaz naturel sont actuellement les principaux combustibles utilisés pour chauffer les immeubles et les habitations mais les gisements n'étant pas inépuisables il est nécessaire de trouver de nouvelles sources d'énergie. Selon les prévisions, la production pétrolière canadienne ne suffira plus à assurer les besoins du pays dès 1982.

S'adressant aux spécialistes assistant au séminaire de Montréal des 21 et 22 octobre 1974 le chef de la section des services du bâtiment de la DRB, le Dr D.G. Stephenson, a remarqué: "Je pense que les prévisions montrent pourquoi nous devrions commencer à chercher de nouvelles sources d'énergie et à prendre les mesures nécessaires pour conserver nos réserves de pétrole et de gaz naturel".

Quelles pourraient être ces nouvelles sources d'énergie?

Dans certaines parties du pays l'électricité produite à partir du charbon et de l'uranium remplace déjà le pétrole et le gaz pour le chauffage et la climatisation des bâtiments et l'on peut avancer que les ordures ménagères et l'énergie solaire seront éventuellement utilisées comme sources d'appoint. Il y a tout lieu de penser que la transition sera largement amorcée d'ici l'an 2 000 et "c'est la raison pour laquelle les nouveaux édifices doivent être conçus de telle sorte qu'ils puissent, le moment venu et avec un minimum de dépense et d'inconvénients, être alimentés à partir des nouvelles sources d'énergie", nous a dit le Dr Stephenson.

Les trois premières de ces nouvelles sources d'énergie nécessitent des centrales pour transformer le combustible en électricité qui est distribuée par le réseau ou en chaleur sous forme d'eau chaude ou de vapeur (voir le schéma).



D'autre part, l'énergie solaire doit être recueillie et emmagasinée pour être utilisée pendant la nuit et les journées non ensoleillées. Il faut noter qu'il est actuellement considérablement plus onéreux de recueillir et de stocker cette énergie solaire "gratuite" que de tirer de la chaleur du pétrole et du gaz en raison du coût élevé des collecteurs qui est de 4 à 8 dollars le pied carré. Une maison type nécessiterait un collecteur d'une surface

Left:
Lighting constitutes a major component of the power used in commercial buildings. If only as much as is necessary is used, important energy savings can be realized.

À gauche:
Dans les édifices commerciaux, l'éclairage absorbe une grande partie de l'énergie consommée. En réduisant l'éclairage au nécessaire, on peut faire de sérieuses économies d'énergie.

égale à la moitié de la surface totale des planchers pour produire 50% de l'énergie nécessaire au chauffage de la maison pendant une année.

"Ce sera probablement plus à cause de l'augmentation du prix des produits énergétiques traditionnels qu'à une réduction des prix de l'énergie solaire qu'on en viendra à utiliser cette dernière. C'est dans les petites agglomérations et les zones rurales qu'elle trouvera sa meilleure application, là où il n'est ni rentable ni possible de recourir au chauffage urbain et où la principale source d'énergie sera distribuée sous forme d'électricité", nous a dit le Dr Stephenson.

Les pertes de chaleur d'une maison individuelle de type courant sont dues, dans des proportions sensiblement égales, aux fuites d'air, à la conduction à travers les murs, aux fenêtres, au plafond et au sous-sol.

"Nous voyons donc que nous avons là le moyen d'économiser de l'énergie en réduisant l'incidence de chacun de ces éléments et qu'il serait d'autre part plus avantageux d'isoler l'extérieur d'une structure plutôt que l'intérieur puisque dans la plupart des cas cette technique permet une meilleure conservation de la chaleur", nous a dit M. G.O. Handegord, chef du Groupe des services d'information de la Division.

La durabilité et la sécurité des bâtiments sont également fonction de leur isolation thermique.

Il est souhaitable que tous les bâtiments soient bien étanches à l'air afin de diminuer les charges dues au chauffage ou à la climatisation, surtout dans les édifices de grande hauteur. En outre, une bonne étanchéité réduit les besoins énergétiques, les risques d'enfumage en cas d'incendie et la condensation dans les murs si l'air humide de l'intérieur réussit à s'échapper par des fissures ou par des trous. Les chercheurs de la Division des recherches en bâtiment ont entrepris de résoudre ce dernier problème en deux phases: la première consiste à mesurer les caractéristiques des fuites d'air dans des bâtiments réels et la seconde à mettre au point des techniques permettant de simuler, à l'aide d'ordinateurs, les mouvements de l'air à l'intérieur des bâtiments.

La fonction des fenêtres a toujours été d'assurer une aération et un éclairage naturels mais il serait maintenant possible de les utiliser pour exploiter l'énergie fournie gratuitement par le soleil, particulièrement en hiver. Les fenêtres doubles donnent une isolation thermique deux fois supérieure à celle des fenêtres simples mais cette isolation est toutefois cinq fois moindre que celle d'un mur bien isolé. Ainsi donc, les fenêtres font perdre plus de chaleur qu'une surface égale de mur ou de toit isolé.

"Le meilleur emplacement pour les fenêtres est face au sud car il est facile de les protéger du soleil en été et elles laissent pénétrer la chaleur solaire en hiver pour compenser partiellement leur faible résistance thermique", nous a dit M. J.R. Sasaki, de la section des services du bâtiment de la DRB.

Une importante partie de l'énergie électrique utilisée dans les édifices commerciaux sert à l'éclairage. En Amérique du Nord, on a pris l'habitude d'éclairer abondamment les bâtiments plutôt que de limiter l'éclairage aux zones où il est absolument indispensable à ses occupants. En hiver, lorsque le chauffage est nécessaire, l'éclairage électrique peut y contribuer et réduire ainsi la charge des appareils mais pendant la majeure partie de l'année il y a un excès de chaleur qu'il faut dissiper et qui entraîne une dépense supplémentaire d'énergie.

"Il faut n'utiliser que l'éclairage strictement nécessaire car c'est une erreur de croire que l'on peut réaliser une économie de chauffage avec un éclairage surabondant", nous a dit M. G.P. Mitalas, de la section des services du bâtiment.

La chaleur provenant de l'éclairage électrique peut être utilisée ou dissipée avec un minimum de dépense énergétique si les installations sont bien ventilées mais disons que l'éclairage naturel est toujours préférable à l'éclairage artificiel.

La température convenant à la plupart des personnes est de 70 à 80 degrés Fahrenheit (de 21 à 27°C) avec une humidité

The heat from lights can be utilized or readily disposed of with a minimum expenditure of energy if the air leaving the space passes through the light fixtures. However, daylight should be utilized whenever it is available.

Most people are comfortable in a temperature range between 21°C to 27°C and a relative humidity between 20 and 70 per cent.

"Energy savings," said Mr. Handegord, "can be achieved by utilizing this whole range of conditions as opposed to always maintaining conditions at or near the centre of this comfort zone."

However, the comfort zone is different for different situations, for example, the temperature range is lower for people who are sleeping.

"This means," pointed out Mr. Handegord, "that night setback of thermostats is acceptable and can result in worthwhile savings."

A tight tolerance on humidity in a space forces the air conditioning system designer to use an all-air type of system which has a high energy consumption and takes a great deal of valuable space for the large air ducts.

"The question of whether to use an air or water system to transport heat also depends in part on whether it is more economical to use 'free cooling' or heat recovery with a heat pump. Both can reduce the building energy consumption, but they are not mutually compatible: free cooling precludes the use of a heat pump to transfer heat from one zone to another," said Dr. Stephenson.

However, it is possible to get some heat recovery with all-air systems by using heat exchangers between the intake and exhaust air streams. Benefits can be obtained by using heat storage tanks in conjunction with heat pumps.

A heat pump and a solar heat collector can be used advantageously together.

"But," said Mr. Sasaki, "the high capital investment involved in this arrangement makes it impractical at the present prices for heat. However, this may be the way of the future when the price of oil, gas and electricity will be much higher than they are today."

"The interest of Public Works in the efficient use of energy for its buildings," said Mr. S. Mikhail, "has been dictated by past and by projected energy bills rather than by the recent energy crisis."

The annual cost of energy used to heat and cool federal government buildings has increased steadily over the years with current costs running around \$34 million. Present indications are that this figure will reach some \$250 million in 10 years' time.

One study carried out by the Department has indicated that the cost of energy during the projected life-cycle of a building is about five times the capital cost of its mechanical systems and is the largest single factor in the total annual owning and operating cost. The Department is currently carrying out analysis of existing and new buildings and their systems using thermodynamic modelling and computer techniques in order to obtain a better evaluation of the energy consumption and life-cycle cost / analysis.

"Energy used in buildings can be reduced by good design and by good operating techniques," said Mr. Mikhail, "and in many cases at no additional capital costs." □ **Joan Powers Rickerd**

Update: 1977

The Division of Building Research has been assigned the responsibility for managing the federal research and development program on solar heating for buildings. In keeping with the "make or buy" policy, most of the R & D work is being done by outside contractors. Fourteen contracts already have been awarded for the design and installation of solar heating systems in houses in various parts of Canada. These are to be instrumented and monitored for at least one complete heating season to determine how much heat is collected by the solar panels and how much of this is ultimately used to heat the houses and domestic water. The demonstration projects are expected to bring to light problems related to the durability of materials and components which will have to be solved before solar heating systems can be put into widespread use.

The Division is also developing improved methods for predicting the heating requirements of buildings, particularly residential buildings and schools. The objective of this work is to establish appropriate energy budgets and to develop information aimed at helping designers meet the new energy budget values. And in a related area, NRC's Division of Physics has developed solid-state timing devices programmed to adjust house temperatures up or down by set amounts over the course of a day. The energy-saving instruments give the householder considerably more control over the daily heating cycle than current devices of this type.

NRC is now in the process of coordinating the preparation of model guidelines for the design of energy-efficient buildings. An interdepartmental committee has been set up to draft a building performance standard for use by all departments and agencies of the government of Canada. As this will require considerable time, a component performance standard has been prepared for use on an interim basis. In addition, the Associate Committee on the National Building Code has established a new Standing Committee to review these draft standards and to process them into model standards that can be used by other jurisdictions as well as the federal government.

Finally, the purpose of the first Canadian Building Congress on Energy and Buildings held in Toronto last fall was to identify the options that exist for conserving energy in buildings and to evaluate their ramifications. Thirty papers were presented and discussed under five themes: present and future sources of energy for buildings; energy conservation through improved building design and operation; utilization of by-product heat; criteria and standards for energy conservation; and design of communities. □

relative de 20 à 70%.

"On peut économiser de l'énergie en observant les règles qui précèdent au lieu d'essayer de se maintenir toujours aussi près que possible de ces valeurs moyennes", nous a dit M. Handegord.

Naturellement, ces valeurs moyennes varient en fonction de l'activité et l'on sait par exemple qu'il vaut mieux réduire la température dans les chambres à coucher et M. Handegord d'ajouter: "Cela signifie que l'on peut régler les thermostats pour la nuit et réaliser ainsi une économie substantielle d'énergie".

Des tolérances hygrométriques rigoureuses pour un espace donné conduisent à utiliser un système de climatisation n'utilisant que l'air, consommant énormément d'énergie et nécessitant beaucoup d'espace pour le montage de conduites d'air de large section.

Écoutons le Dr Stephenson: "Le choix entre l'air ou l'eau comme véhicule de la chaleur sera également dicté par un souci d'économie. On choisira donc entre le "refroidissement libre" et la récupération de la chaleur au moyen d'une pompe thermique. Les deux méthodes permettent de réduire la consommation énergétique mais elles ne sont pas nécessairement compatibles car le refroidissement libre interdit l'utilisation d'une pompe thermique pour transférer la chaleur d'une zone dans l'autre".

Il est cependant possible de récupérer une partie de la chaleur à l'aide du système de chauffage avec des échangeurs de chaleur entre l'entrée et la sortie des circuits d'air et il peut être intéressant d'associer des réservoirs de chaleur à des pompes thermiques.

L'association d'un collecteur de chaleur solaire et d'une pompe thermique peut également être avantageuse mais "il faut souligner que cette installation exige des investissements élevés qui, au prix actuel du chauffage, en exclut l'emploi. Toutefois, on l'adoptera peut-être à l'avenir lorsque le prix du pétrole, du gaz et de l'électricité sera beaucoup plus élevé qu'il ne l'est", nous a dit M. Sasaki.

"C'est l'expérience passée et la projection des coûts plutôt que la récente crise qui ont conduit le Ministère des travaux publics à s'intéresser à une utilisation rationnelle de l'énergie", nous a dit M. S. Mikhail.

Les frais annuels de chauffage et de climatisation des locaux du gouvernement fédéral ont régulièrement augmenté au cours des années et atteignent actuellement environ 34 millions de dollars. Il y a tout lieu de penser que cette somme s'élèvera à 250 millions de dollars dans dix ans.

Une étude faite par le ministère a montré que le coût de l'énergie dépensée est égal à cinq fois celui des équipements installés et que, de ce fait, il représente la plus grande partie du prix de revient annuel d'un bâtiment. Le ministère étudie actuellement les vieux bâtiments et les nouveaux ainsi que leurs systèmes de chauffage et de climatisation en se servant de modèles thermodynamiques et d'ordinateurs pour obtenir une meilleure évaluation de la consommation énergétique et une analyse des coûts en fonction de l'endurance des équipements.

M. Mikhail a conclu en disant qu'il est possible de réduire la consommation énergétique des bâtiments grâce à une conception et une exploitation rationnelles et, dans de nombreux cas, sans augmenter les investissements. □

Texte français: Claude Devismes

Quoi de neuf en 1977?

La Division des recherches en bâtiment s'est vu confier la gestion du programme fédéral de R & D sur le chauffage solaire des édifices. Conformément à la politique fédérale d'impartition, la plus grande partie des travaux est confiée par contrat à des organismes externes et on a accordé 14 contrats pour la conception et l'installation de systèmes de chauffage solaire dans des maisons situées un peu partout au Canada. Il faudra surveiller et vérifier ces systèmes pendant au moins une année afin de déterminer la quantité de chaleur recueillie par les panneaux solaires et la proportion qui sert à réchauffer les maisons et à produire de l'eau chaude. Ces projets pilotes mettront en évidence les problèmes reliés à la durabilité des matériaux et des pièces d'équipement qu'il faudra résoudre avant que les systèmes de chauffage solaire ne deviennent d'usage courant.

La division met également au point de nouvelles méthodes pour évaluer les besoins de chauffage des édifices résidentiels et des écoles. L'objectif de ce travail est de bien prévoir les dépenses en énergie et de préparer des documents d'information afin d'aider les constructeurs à satisfaire aux nouvelles normes de consommation énergétique réduite.

Dans un domaine connexe, des chercheurs de la Division de physique du CNRC ont mis au point des minuteriers transistorisés permettant de varier la température d'une maison suivant les besoins durant la journée. Ces dispositifs visant à économiser l'énergie commandent le cycle quotidien de chauffage de façon beaucoup plus commode que les dispositifs actuels.

Le CNRC a maintenant entrepris de coordonner la préparation de normes types pour la conception d'édifices faisant un bon usage de l'énergie. Un comité interministériel travaille à l'ébauche de normes de rendement pour les édifices, à l'usage des ministères et agences du gouvernement canadien. Comme ce travail sera long, on a préparé des normes provisoires. De plus, le Comité associé du Code national du bâtiment a créé un nouveau comité permanent pour reviser ces ébauches et les transformer en normes modèles à l'usage d'autres organismes et du gouvernement fédéral.

Enfin, l'objectif principal du premier Congrès canadien de la construction sur l'énergie et les bâtiments, tenu à Toronto l'automne dernier, fut d'identifier les solutions possibles pour la conservation de l'énergie dans les édifices et d'en évaluer la complexité. Les trente communications présentées couvraient cinq thèmes: les sources actuelles et futures d'énergie pour les édifices; la conservation de l'énergie grâce à une conception et un fonctionnement améliorés des édifices; l'utilisation de la chaleur résiduelle; les critères et les normes de conservation de l'énergie; l'urbanisme. □

How can we best use solar energy?

The unregulated sun

Use of solar energy for heating homes is feasible. NRC investigations at the Division of Building Research aim to find out to what extent we can rely on the sun for our heating requirements and to determine the most suitable systems for collection and storage of this "free" energy.

Solar energy is a resource receiving increasing attention in many countries as supplies of conventional non-renewable energy dwindle. Energy from sunlight offers the prospect of supplementing conventional sources for heating homes and offices. The size of this supplement will depend upon a number of variables — the cost and availability of conventional energy sources, the availability of standardized collector units which can be incorporated into a building without the necessity for specialized techniques, and the cost of long-term heat storage systems.

To study these variables, the National Research Council's Division of Building Research has initiated a research program that forms part of NRC's involvement in the inter-departmental program on energy research and development. The objectives are not only to establish when and where solar heating will be economically viable in Canada, but also to prepare for the eventual introduction of solar heating by demonstrating it in appropriate regions of Canada and by assisting industry in the development of solar heating hardware.

Extraction of low grade heat from the sun's rays does not depend upon sophisticated equipment. In essence, a solar collector panel consists of a darkened absorber (backed with insulating material to minimize heat loss) through which is circulated a heat transport fluid (generally air or water); a covering of glass or transparent plastic transmits the visible light energy from the sun, but does not transmit the infrared, or heat energy re-radiated from the absorber. The circulating fluid transfers heat to a storage unit (water in the case of a water circulating system, or rock in the case of an air system) from which heat is extracted when needed.

The drawback lies in the size of the collecting equipment — and hence its capital cost. Sunlight, like wind, is a dilute energy source and very large collector areas are required. For example, in a well-insulated, detached house, solar collectors of a total surface area of about 540 square feet (50 m²) would be required to supply about half the home's heat load and would cost about \$5000 at present-day prices. Assuming that the solar input was replacing electric heating, a maximum cost saving of about \$240 would result (again at present-day prices), which represents an annual return of four per cent of invested capital. (This cost calculation, of course, excludes installation and storage system costs.)

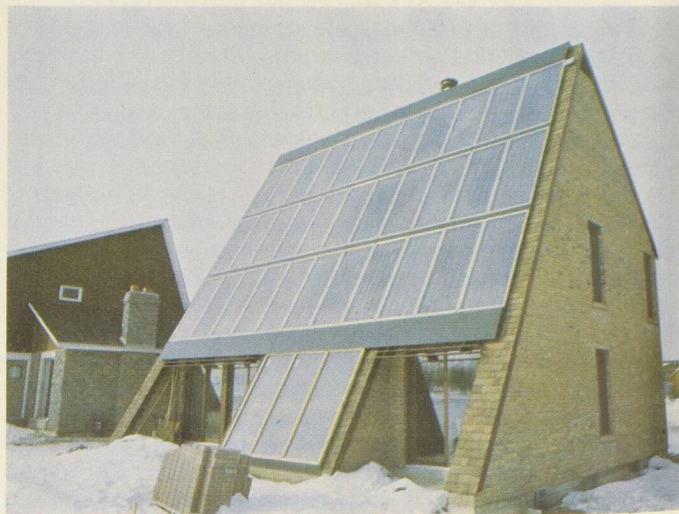
Does this mean then that solar heating is just not economically competitive? Certainly, using current cost figures there appears to be little immediate economic inducement to install solar heating systems, but it must be remembered that, first, conventional energy costs are increasing and can be expected to continue increasing over the lifetime of a house, and second, that as the manufacture of solar heating components develops, capital costs should fall due to economies of volume production.

The development of systems which will be practical and economic for large-scale application is, according to Mr. J.R. Sasaki of the Division of Building Research's solar energy group, a long-term objective of the research program. "Looking ahead," he says, "we want to see a situation where solar collector units can be incorporated

into house construction in the same way as other standardized items such as doors and windows. Ideally, solar heating systems should be installed without requiring specialized skills and should operate without requiring frequent specialized maintenance." Mr. Sasaki points out that in the long term the introduction of solar heating systems should become a significant construction-related industry if the construction industry itself can profitably integrate solar heating systems into its products. "This consideration has had a strong influence on our approach," he adds.

One part of the Division's program has been to sponsor the design, purchase and installation of solar heating systems in a small number of specially selected solar demonstration houses located across the country. "There are two features of this part of the program that should be emphasized," says Mr. Sasaki. "We are looking specifically

Doug Lorriman, Mississauga



Completed early this year, this 1,350-square-foot home in Toronto's Mississauga suburb obtains 60 per cent of its heating from direct solar energy. The home uses 690 square feet of solar collector area, with water as the heat transport and storage medium. Supplementary heating is obtained from a heat pump which "upgrades" heat from one of the two water storage tanks. In summer, the heat pump can be reversed to provide air conditioning.

Achevée au début de l'année, cette maison de 1 350 pieds carrés, à Mississauga dans la banlieue de Toronto, est chauffée à 60% par l'énergie solaire. Elle utilise une surface de captage solaire de 690 pieds carrés, l'eau étant l'agent de transport et de stockage de la chaleur. Le chauffage supplémentaire est obtenu à l'aide d'une pompe à chaleur qui "enrichit" la chaleur provenant de l'un des deux réservoirs d'eau. En été, la pompe à chaleur peut être inversée pour la climatisation.

Comment tirer le meilleur parti de l'énergie solaire?

Le soleil gaspillé

L'emploi de l'énergie solaire pour le chauffage des maisons est possible. Les recherches entreprises par la Division des recherches en bâtiment du CNRC visent à déterminer dans quelle mesure le soleil peut assurer nos besoins en chauffage et quels sont les systèmes les mieux appropriés pour capter et stocker cette énergie «gratuite».

L'énergie solaire suscite un intérêt croissant dans de nombreux pays en raison du tarissement des sources habituelles et non renouvelables d'énergie. Avec l'énergie solaire nous entrevoyons la possibilité de fournir un appoint aux systèmes de chauffage classiques des maisons et des bureaux. L'importance de cet appoint sera fonction d'un certain nombre de variables qui sont: le coût et la disponibilité des sources traditionnelles d'énergie, la disponibilité de dispositifs de captage normalisés pouvant être incorporés à un édifice sans nécessiter des techniques spécialisées et, enfin, le coût des systèmes de stockage de la chaleur pendant de longues durées. Pour étudier ces variables, la Division des recherches en bâtiment du Conseil national de recherches a lancé un programme de recherche représentant une partie de la contribution du CNRC au programme interministériel sur la recherche et le développement énergétiques. Les objectifs sont non seulement de déterminer où et quand le chauffage solaire sera économiquement réalisable au Canada mais aussi de se préparer à son utilisation éventuelle en en faisant la démonstration dans des régions appropriées du Canada et en aidant l'industrie à construire les équipements nécessaires.

Il n'est pas indispensable de disposer d'équipements élaborés pour tirer une chaleur de faible intensité du rayonnement solaire. Un panneau capteur solaire est constitué essentiellement d'un matériau absorbant de couleur sombre (associé à un isolant pour minimiser les pertes de chaleur) dans lequel circule un fluide caloporteur (généralement de l'air ou de l'eau); un revêtement de verre ou de plastique transparent transmet l'énergie lumineuse provenant du soleil mais ne transmet pas les infrarouges, c'est-à-dire l'énergie thermique réémise par le matériau absorbant. Le fluide en circulation transfère la chaleur aux éléments d'accumulation thermique (de l'eau dans le cas d'un système à circulation d'eau ou des roches dans le cas d'un système à circulation d'air) d'où l'on extrait la chaleur en fonction des besoins.

Ce sont les dimensions des équipements de captage et, partant, les investissements qu'ils impliquent qui constituent un problème. La lumière solaire, comme le vent, est une source d'énergie dispersée et il est nécessaire de disposer de très grandes surfaces de captage. Disons, par exemple, que pour couvrir approximativement la moitié des besoins en chauffage d'une maison individuelle bien isolée il faudrait une surface de captage d'environ 540 pieds carrés (50 m²) qui coûterait environ 5 000 dollars aux prix actuels. En supposant que l'énergie solaire remplace le chauffage électrique, on réaliserait une économie maximale d'environ 240 dollars (là encore aux prix actuels), ce qui représente un rendement annuel de 4% du capital investi. Bien entendu, ce calcul ne tient pas compte des frais d'installation et du coût des systèmes d'accumulation thermique.

Cela signifie-t-il que le chauffage solaire n'est pas économiquement rentable? En se basant sur les chiffres actuels, il semble en effet qu'il y ait peu d'avantage dans l'immédiat à installer des dispositifs de chauffage solaire mais il ne faut pas oublier que, d'une part, le coût de

l'énergie traditionnelle augmente et continuera d'augmenter tant que durera la maison et que, d'autre part, avec le développement de la fabrication des éléments de chauffage solaire, les frais d'investissement en équipements diminueront par suite des économies réalisées par la production en série.

La mise au point de systèmes qui soient à la fois pratiques et économiques pour les applications à grande échelle est, selon M. J.R. Sasaki, du groupe de l'énergie solaire de la Division des recherches en bâtiment, un objectif à long terme du programme de recherche. Écoutons-le: "L'objectif visé est de réaliser des éléments de captage pouvant être incorporés au moment de la construction de la maison comme cela se fait pour les autres pièces normalisées comme les portes et les fenêtres. L'idéal serait que les systèmes de chauffage puissent être installés par une main d'oeuvre non spécialisée et utilisés sans exiger un entretien spécialisé, fréquent." M. Sasaki souligne que l'introduction de systèmes de chauffage solaire devrait éventuellement donner naissance à une importante industrie liée à celle du bâtiment s'il s'avère avantageux pour cette dernière d'intégrer des systèmes de chauffage solaire dans la gamme de ses produits. "Cet aspect a fortement influencé notre approche," a ajouté M. Sasaki.

Un des objectifs du programme de la division est de contribuer à la conception et à l'achat de systèmes de chauffage solaire et à leur installation dans un petit nombre de maisons solaires de démonstration spécialement sélectionnées et disséminées à travers le pays. Écoutons encore M. Sasaki: "Cette partie du programme comporte deux caractéristiques qu'il nous faut souligner. Nous étudions spécifiquement les habitations unifamiliales et les systèmes de chauffage solaire utilisant des équipements achetés et installés par le constructeur et dont on a pu juger du rendement. Les habitations unifamiliales ne sont pas nécessairement aussi bien adaptées au chauffage solaire (sur le plan de la rentabilité) que certains autres types de bâtiments."

Des études de faisabilité américaines montrent que le premier type de bâtiment où le chauffage solaire deviendra économiquement attrayant est celui où la demande en eau chaude sera relativement élevée comme, par exemple, un hôpital. Cette demande, qui n'est pas soumise à des variations saisonnières, implique une plus grande utilisation du système, facteur important lorsque ce système exige d'importants investissements. "Ce qui est intéressant c'est qu'en travaillant sur plusieurs projets d'habitations unifamiliales à travers le pays, nous attirons mieux l'attention du public et de l'industrie du bâtiment sur nos travaux," de souligner M. Sasaki, "et, bien entendu, nous avons besoin de données d'exploitation émanant de différents points géographiques. En ce qui concerne les systèmes installés, on utilisera des composantes existantes qui ne sont peut-être ni les plus perfectionnées ni les plus efficaces mais qui sont disponibles et peuvent être installées en utilisant les procédés de construction courants. L'important est que nous puissions démontrer que des systèmes de chauffage solaire sont utilisables dans un type d'habitation pré-

at single-family dwellings, and at solar heating systems that use builder-installed, purchased hardware — equipment with which some experience has been gained.” Single-family dwellings are not necessarily as suited to solar heating (from a cost-efficiency viewpoint) as some other types of buildings. Feasibility studies completed in the United States suggest that the first kind of building where solar heating will become economically attractive is one with a comparatively heavy demand for hot water — such as a hospital. This demand, which is not subject to seasonal variation, means greater utilization of the system, an important factor with a capital intensive system. “The point is that by carrying out several projects on single-family dwellings across the country, we gain greater coverage as far as the public and the building industry goes,” points out Mr. Sasaki, “and of course, we need operating data from different geographical locations. As far as the installed systems go, they will use off-the-shelf components which may not be the most sophisticated or the most efficient, but are *available*, and can be installed using conventional building construction procedures. The important point is that we demonstrate practical solar heating systems in a form of housing that is a relatively low risk investment for the home building industry.”

In fact, high density housing would have greater potential

for solar energy utilization. Fundamentally, row housing or low-rise apartments are more economical in energy use than single detached dwellings, and from the point of view of solar energy, the heavier demand for hot water would mean greater utilization of the system (as in the example of the hospital) and the cost of the heat storage system could be shared.

The case of high-rise apartments or office buildings is different. “These tend to come near the bottom of the list,” explains Mr. Sasaki, “since there are other ways in which energy economies can be achieved more cheaply, for example, by the use of heat recovery systems including those using heat pumps.” Also, Mr. Sasaki points out that since the roof area of high-rise structures is comparatively small, dispersed wall-collectors would have to be employed as an integral part of the building structure, an unattractive prospect for the immediate future.

An area of special interest in the solar heating program is that of heat storage. Mr. Sasaki explains that if heat collected during the summer months could be stored inexpensively for use during the winter season, solar heating costs could fall dramatically. “An unfortunate fact with solar heating systems,” he says, “is that they tend to run into the law of diminishing returns when you try to use them to satisfy most of a home’s heating demands. At some point, the cost for the extra collection starts to rise steeply. The picture is different, though, if you look at a system using seasonal storage. Seasonal heat storage does pose problems, mainly cost, but it does permit maximum use of the available solar energy.”

The Division’s work in this area will provide more information on which to base design of heat storage systems and includes a computer simulation study of solar heating systems being carried out on a contract basis by the Waterloo Research Institute at Waterloo University. Existing and proposed heat storage systems most commonly use water or rock as storage media. Although water is most appropriate for systems using a liquid heat transport fluid, it is limited to the temperature range between the freezing and boiling points. As well, there are problems with leakage and corrosion. Rock, most appropriate to air systems, is not restricted in temperature range but its heat capacity per unit volume is only a third that of water so a much larger storage unit is required. Certain materials, such as salt hydrates and paraffin waxes are potentially good storage media because they undergo phase changes (e.g. from solid to liquid) in the temperature range associated with home heating. When these materials change phase, they absorb or release a considerable amount of latent heat thus offering the prospect of storage units equally suitable for liquid or air systems, with one-tenth the size of a water storage unit of equivalent capacity.

Looking to the future, Mr. Sasaki feels that a major challenge in the exploitation of solar heating will be the development of cost effective and durable hardware. This means that not only will a collector panel have to function efficiently at reasonable cost, it will also have to demonstrate the same durability and resistance to weather as the rest of the building.

Of all the alternative energy resources, none has generated more public interest than solar energy and none has evoked such a level of enthusiasm among its proponents. However, enthusiasm and interest do not necessarily make a viable energy system. Like all the energy options, it must be subjected to an objective quantitative evaluation before significant resources can be committed to its development and deployment. Such an engineering evaluation is now being made by NRC’s Division of Building Research. □

David Mosey

J.A. Collins, NRC Energy Project/Projet énergie, CNRC



A two-storey demonstration home in Colorado Springs, Colorado. With an 810-square-foot array of collectors (liquid heat transport and storage) at least 80 per cent of this home’s heating demand can be met through solar energy. Supplementary heating and summer cooling is provided by a heat pump.

Une maison expérimentale à deux étages, à Colorado Springs, au Colorado. Grâce à 810 pieds carrés de collecteurs (transport et stockage de la chaleur par agent liquide) au moins 80% des besoins en chauffage de cette maison peuvent être couverts par l’énergie solaire. Le chauffage supplémentaire et la climatisation pendant l’été sont assurés par une pompe à chaleur.

sentant un risque d'investissement relativement faible pour l'industrie du bâtiment."

En réalité, le logement à haute densité offre un plus grand potentiel pour l'utilisation de l'énergie solaire. Les maisons en rangée ou les édifices à appartements de faible hauteur sont fondamentalement plus économiques sur le plan énergétique que les maisons unifamiliales et, en ce qui concerne l'énergie solaire, une plus grande consommation d'eau chaude impliquerait une plus importante utilisation du système (comme dans l'exemple de l'hôpital) avec la possibilité de répartir le coût du dispositif de stockage de la chaleur.

Le cas des appartements dans les édifices de grande hauteur ou dans les édifices à usage de bureaux est différent. "Ceux-ci viendraient au bas de la liste puisqu'il existe d'autres moyens de réaliser des économies d'énergie à moindre coût comme, par exemple, en utilisant un système de récupération thermique y compris ceux faisant appel aux pompes à chaleur," de préciser M. Sasaki. M. Sasaki souligne également que puisque la surface de la toiture des édifices de grande hauteur est comparative-ment petite, des collecteurs muraux dispersés devraient être intégrés à la structure du bâtiment, ce qui constitue une perspective peu satisfaisante pour l'avenir immédiat.

Dans le programme de chauffage solaire, l'accumulation thermique est un domaine qui présente un intérêt tout spécial. M. Sasaki nous explique que s'il était possible d'emmagasiner à peu de frais la chaleur récupérée durant les mois d'été pour l'utiliser pendant l'hiver, le coût du chauffage solaire diminuerait considérablement. "L'ennuyeux avec les systèmes de chauffage solaire est qu'ils ont tendance à tomber dans le cadre de la loi du rendement non proportionnel lorsque l'on essaye de les utiliser pour couvrir la majeure partie des besoins en chauffage d'une maison. Il arrive un point où le coût du captage supplémentaire commence à s'élever fortement. Le tableau est par contre différent si vous envisagez un système utilisant l'accumulation saisonnière. L'accumulation saisonnière de la chaleur pose des problèmes, surtout de prix, mais elle permet l'utilisation maximale de l'énergie solaire disponible," nous a dit M. Sasaki.

Les travaux de la Division dans ce domaine fournissent des données sur lesquelles on pourra s'appuyer pour réaliser des systèmes d'accumulation thermique; ils comprennent une étude de simulation à l'aide de l'ordinateur de différents systèmes de chauffage solaire. Cette étude faite sous contrat par le "Waterloo Research Institute", de l'Université de Waterloo est actuellement en cours. Les systèmes d'accumulation thermique existants et à l'étude utilisent généralement l'eau ou des roches comme agent d'accumulation. Bien que l'eau soit plus appropriée pour les systèmes utilisant un liquide caloporteur, elle est limitée aux températures comprises entre les points de congélation et d'ébullition. Il y a également des problèmes de fuites et de corrosion. La roche, qui convient le mieux pour les systèmes à circulation d'air, n'est pas limitée du point de vue des températures de fonctionnement mais son pouvoir calorifique par unité de volume n'est que le tiers de celui de l'eau et il faut donc disposer d'un dispositif d'accumulation beaucoup plus grand. Certains matériaux, comme les hydrates de sodium et la paraffine, sont potentiellement de bons agents d'accumulation parce qu'ils subissent des changements de phase (de l'état solide à l'état liquide, par exemple) dans la gamme de températures utilisée pour chauffer les maisons. Lorsque ces matériaux changent de phase, ils absorbent ou libèrent une quantité considérable de chaleur latente laissant ainsi entrevoir la perspective d'éléments d'accumulation convenant aussi bien aux

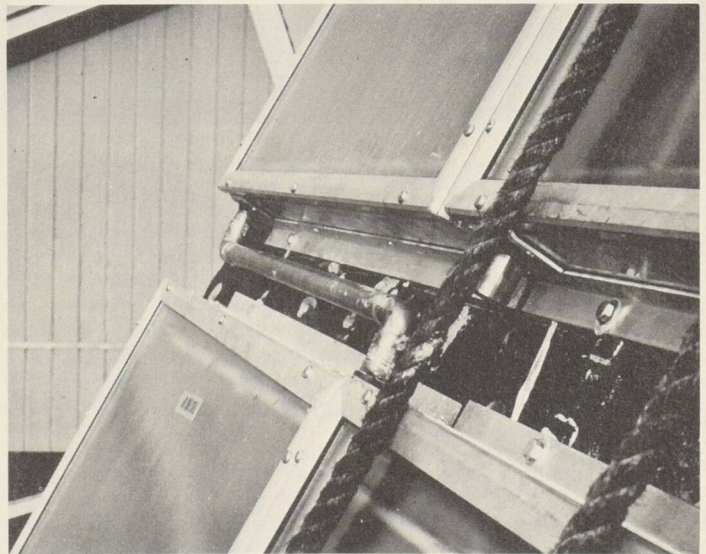
systèmes à liquide qu'à air, tout en n'ayant que le dixième de la dimension d'une unité d'accumulation d'eau de puissance équivalente.

Envisageant l'avenir, M. Sasaki pense que le grand problème de l'exploitation du chauffage solaire est la mise au point d'équipements rentables et durables. Cela signifie qu'il faudra non seulement qu'un panneau capteur fonctionne efficacement à un coût raisonnable mais aussi qu'il soit aussi robuste et qu'il résiste aussi bien à l'action des agents atmosphériques que le reste du bâtiment.

Parmi toutes les nouvelles sources d'énergie envisagées, aucune n'a autant suscité d'intérêt de la part du public que l'énergie solaire et aucune n'a provoqué autant d'enthousiasme parmi ses défenseurs. L'enthousiasme et l'intérêt ne suffisent cependant pas pour faire un système énergétique viable. Comme pour toutes les options énergétiques, elle doit être soumise à une évaluation quantitative objective avant que l'on puisse consacrer d'importantes ressources à son développement et à son application généralisée. C'est ce à quoi s'emploie actuellement la Division des recherches en bâtiment du CNRC. □

Texte français: **Claude Devismes**

Doug Lorrinan, Mississauga



Close-up of solar collection panels during installation. The pipe carries the heat transfer fluid (in this example, water) from panel to panel.

Gros plan de capteurs solaires en cours d'installation. Le fluide caloporteur (ici, de l'eau) est véhiculé d'un panneau à l'autre par ce tuyau.

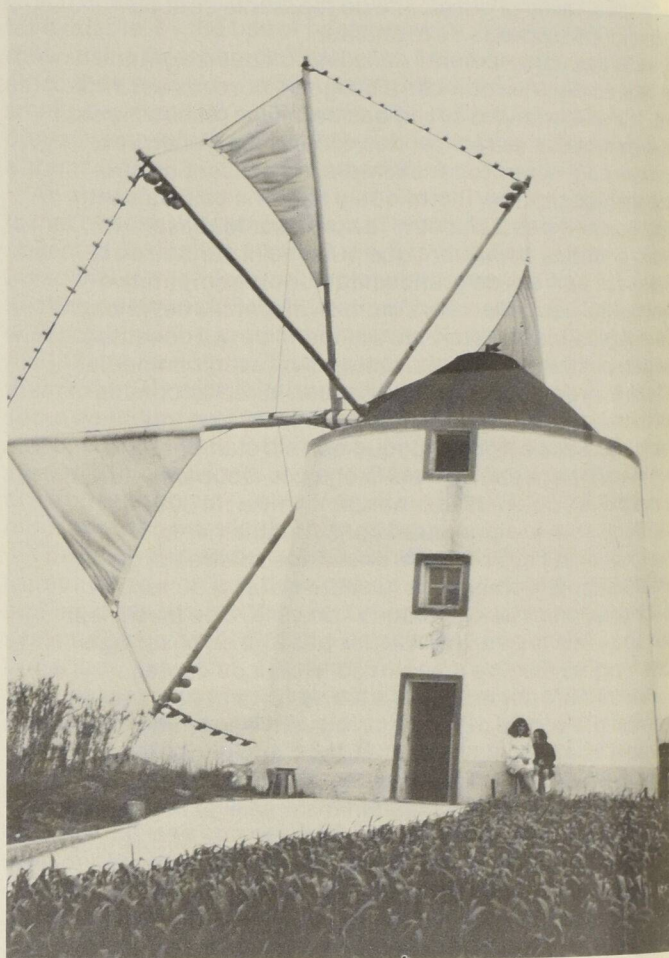
Power from Hyperion's grandchildren

According to legend, the four winds were the grandchildren of Hyperion, a key deity in the religion of ancient Greece. For centuries, they served as a source of mechanical power until their displacement by the steam engine and the internal combustion engine. Now, with the depletion of fossil-fuel reserves, we may be putting them back to work.

Some years ago, the folk-singing group Peter, Paul and Mary made famous a song whose refrain was "The answer is blowing in the wind." With the onset of the energy crisis, these words seem to assume a new significance. Could the answer to our future energy shortages lie in wind power? One of the unfortunate features of the continuing energy debate has been the tendency for many debaters to take up extreme positions. On the one hand, it is argued that wind power is intermittent, too expensive and hence totally impractical as a viable energy source. On the other, we are told that there is enough wind energy available in Canada to meet all Canadian needs. As with most extreme statements, both of these have large elements of truth. The wind does not blow constantly, so reliance on the wind as an exclusive power source is predicated upon the development of some economical storage system. Certainly there is enough wind energy to satisfy all our electrical energy requirements until 2000 A.D., but then, there is enough water in Lake Michigan to drown every inhabitant of North America.

The facts about wind power must lie somewhere between these two extremes and it is to ascertain just where that Mr. Jack Templin, Head of the Low Speed Aerodynamics Laboratory, regards as the primary objective of the National Research Council's wind energy investigations. Exploitation of renewable energy resources is one of NRC's major areas of responsibility in its work as a participating agency in the Interdepartmental Task Force on Energy Research and Development. It is not surprising then that Jack Templin's laboratory should be conducting a wide ranging investigation of the economic and engineering aspects of wind energy when one remembers that it was two engineers from the same laboratory, Mr. Raj Rangi and Mr. Peter South, who developed the radical windmill with no arms — the vertical axis wind turbine.

One of the advantages of energy from any kind of windmill is that it is very "high grade", that is, it is energy in the form of shaft power that can be readily and efficiently converted into other forms of energy, ideally electrical. This is in contrast to an energy source which just provides heat (such as solar collector panels) and where, if electrical energy is required, the heat must be converted into mechanical energy and then to electrical energy. "That process, of course, is limited by the thermal laws of efficiency," points out Mr. Templin, "so you always lose a fair proportion of the initial energy input." Weighed against this, there is the fact that wind itself is a "dilute" energy source. "If you want to collect say, 10 horsepower of wind energy, you need a very much larger piece of apparatus than a 10-horsepower petrol engine," says Mr. Templin. The required size of any kind of wind generator means that capital costs will tend to be high, and this points up a principal concern in the technological development of wind generators — that of minimizing capital costs. In this the vertical axis turbine shows to advantage. While at this very early stage of development, cost calculations can only be very approximate, the estimated production cost (for a comparatively short production run) of the 200



Jack Templin, NRC/CNRC

On the Greek Island of Mykenos a sail windmill — a form of wind power collector whose design has remained unchanged for many centuries.

Moulin à vent de l'île de Mykenos en Grèce. Cette forme d'éolienne n'a pas changé pendant bien des siècles.

kW-sized turbine (production models of the prototype Magdalen Islands' machine) is of the order of \$100,000, that is \$500/installed kilowatt. That is a promising looking figure but, as Mr. Templin points out, it can be misleading.

"We have to modify the figure because the wind is not constant, and the wind when it is blowing, is not necessarily blowing at the speed which would allow the turbine to give its maximum rated output. In the case of the Magdalen Islands' installation, where we are looking at average wind speeds of close to 32 km/h, the year-round average power we can expect from the turbine will be probably about 70 kW, bringing the capital cost per kilowatt to around \$1400." This is a figure that should be contrasted with about \$600/kW required for a CANDU power station — a power generating system that is still regarded as being capital intensive.

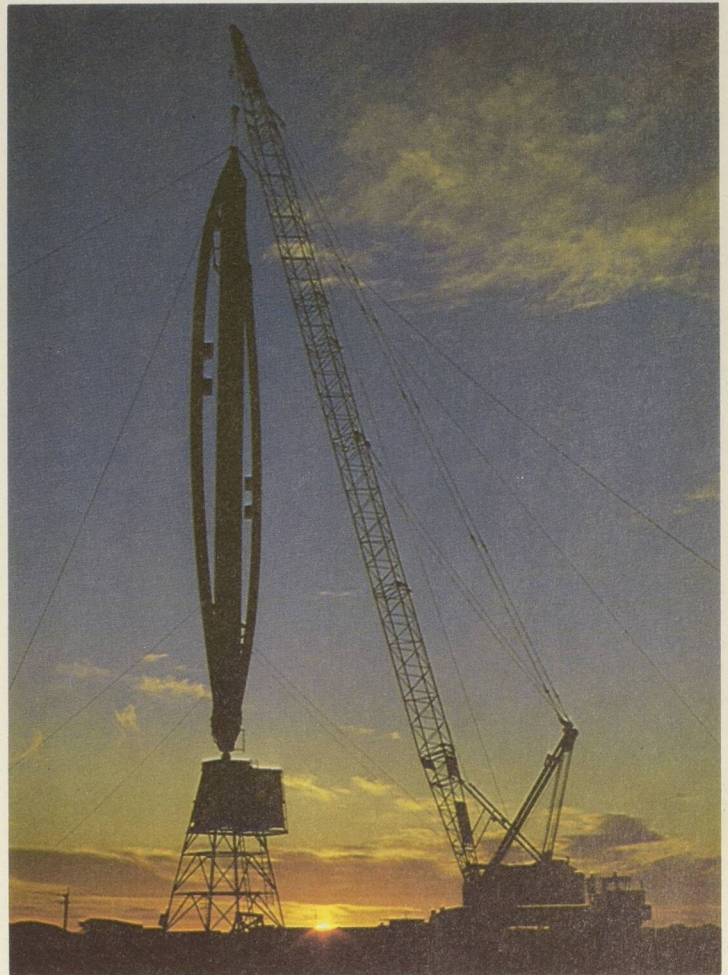
La puissance des petits-enfants d'Hypérion

Selon la légende, les quatre vents étaient les petits-enfants d'Hypérion, dieu important de la religion des anciens Grecs. Pendant des siècles, on a capté leur énergie puis ils ont été supplantés par la machine à vapeur et le moteur à combustion interne. Aujourd'hui, il se peut qu'on les utilise de nouveau en raison de la diminution des réserves de combustibles fossiles.

Il y a quelques années, le groupe de chanteurs folkloriques "Peter, Paul and Mary" a rendu célèbre une chanson dont le refrain était "The answer is blowing in the wind" (La réponse est dans le vent). Avec la crise de l'énergie, ces mots prennent apparemment un nouveau sens. Est-ce que la réponse pour nos besoins futurs en énergie ne se trouverait pas dans l'énergie éolienne? L'un des points malheureux des discussions en cours à propos de l'énergie est l'extrémisme de beaucoup de participants. D'un côté on soutient que le vent est intermittent et que l'énergie éolienne est trop coûteuse et, de ce fait, sans intérêt pratique comme source viable d'énergie. D'un autre côté, on nous dit qu'il y a assez d'énergie dans le vent pour satisfaire à tous les besoins du Canada. Comme c'est presque toujours le cas, il y a dans ces deux positions extrêmes des éléments de vérité. Le vent ne souffle pas constamment de sorte que son emploi comme source exclusive d'énergie est conditionné par la nécessité de mettre au point des systèmes de stockage économiques. Il est certain qu'il y a assez d'énergie dans le vent pour satisfaire à tous les besoins en électricité jusqu'à l'an 2000 mais, à ce compte-là, il y a assez d'eau dans le lac Michigan pour noyer tous les habitants de l'Amérique du Nord.

Les faits au sujet de la puissance éolienne doivent se trouver quelque part entre ces deux extrêmes et selon M. Jack Templin, chef du Laboratoire de l'aérodynamique des faibles vitesses, l'objectif primordial des études sur l'énergie éolienne faites au Conseil national de recherches est de les situer avec certitude. L'exploitation des ressources énergétiques renouvelables est l'un des domaines majeurs de responsabilité du CNRC dans le cadre de sa participation au Groupe de travail interministériel sur la recherche et le développement énergétiques. Il n'est donc pas surprenant que le laboratoire de M. Templin se livre à des études à grande échelle sur les aspects techniques et économiques de l'énergie éolienne lorsque que l'on se souvient que ce sont deux ingénieurs du même laboratoire, M. Raj Rangi et M. Peter South, qui ont mis au point l'éolienne à axe vertical, un moulin à vent révolutionnaire, sans bras.

L'un des avantages de l'énergie éolienne est sa très grande qualité: c'est là de l'énergie mécanique facile à convertir efficacement en d'autres formes d'énergie, et avant tout en électricité. Elle fait contraste avec les autres sources qui donnent de la chaleur telles que les panneaux solaires par exemple, dont la chaleur doit d'abord être convertie en énergie mécanique avant d'être transformée en énergie électrique. M. Templin nous a dit: "Ce processus est naturellement limité par les lois thermodynamiques du rendement, c'est-à-dire que l'on perd toujours une proportion assez importante de l'énergie qui entre dans le système." Le vent lui-même est une source d'énergie "diluée". Il a ajouté: "Si vous voulez générer dix chevaux-vapeur de puissance éolienne, par exemple, vous devez disposer d'une installation beaucoup plus grande qu'un moteur à essence de dix chevaux." Ces dimensions font que le générateur d'énergie éolienne im-



John McAulay

On May 18, 1977, a large and unusual windmill was erected on the Magdalen Islands in the Gulf of St Lawrence. With a rotor spinning around a vertical tower — an arrangement invented in the 1930's, forgotten, and then reinvented at NRC — it represents a radical departure from traditional windmill design. The machine is of industrial size, its blades outlining a loop 37 m (120 feet) high and 24 m (80 feet) wide. Once eased into operation it can deliver up to 200 kW of electric power into the local grid, energy which otherwise could be obtained only by burning imported fuel in the Island's power plant.

Le 18 mai 1977, un grand moulin à vent d'un type très particulier a été érigé aux Îles de la Madeleine dans le golfe du Saint-Laurent. Muni d'un rotor qui tourne autour d'un axe vertical (un système inventé dans les années trente, oublié, puis redécouvert au CNRC), il représente une innovation radicale par rapport aux moulins à vent traditionnels. La nouvelle éolienne est de taille commerciale et ses pales décrivent une boucle haute de 37 m (120 pieds) et large de 24 m (80 pieds). À son entrée en service, elle fournira jusqu'à 200 kW d'énergie électrique au réseau local, une énergie qui devrait autrement être tirée de génératrices alimentées par du carburant importé.

No one, however, would suggest that a nuclear power station is the right answer for the Madalen Islands — the demand is insufficient, and, as Mr. Templin emphasizes, "it must be remembered that what is regarded as an acceptable capital cost will vary with operating costs of alternative generating equipment. If the alternative system is diesel-electric (a low capital cost system) as it is in the Magdalen Islands, but fuel costs are very high, then it makes great economic sense to use as much wind energy as possible for although there is a comparatively high initial capital investment required, this will be more than offset over the life of the system by the fuel savings that can be made."

Use of wind to generate electricity is, of course, not new. The first wind generator was built in Denmark in 1890, and the small farmyard windmills were a familiar sight in many areas. Relatively large wind generators have been constructed in many countries but their development remained largely unpursued because of the (until recently) abundant supply of cheap fossil fuel providing low capital cost electrical generating capacity. Perhaps the largest wind machine was the Smith-Putnam windmill, constructed in Vermont in the 1940's. It was a conventional two-bladed machine whose 175 ft (53 m) diameter blades produced its maximum output of 1.25 MW in a 56 km/h wind. The machine was run intermittently for a little over three years until one of the eight ton blades broke loose and was hurled 750 ft (230 m) through the air. The machine was not rebuilt. Nevertheless, the information gained from operating this machine has proved of considerable value in examining wind power systems.

Mr. Templin explains that one of the advantages of the propellor-type windmill is that of using a propellor whose blades are continuously adjustable in pitch (the pitch angle is the angle between the surface of the blade and the incident airstream) and the machine can operate at high efficiency over a wider range of windspeeds. "Its performance comes very close to theoretical maximum for the ideal wind machine," says Mr. Templin, "but its maximum power output will be a design consideration — limited by the maximum rating of the electrical generator. If the windmill-generator system is sized to produce say 100 kW maximum, and it achieves this output at a wind velocity of 32 km/h, then for windspeeds in excess of this figure you have to design in some protective arrangement to prevent overloading the generator."

The case of the vertical axis machine is rather different, the Magdalen Islands' model being designed to operate at a constant speed. Since the efficiency of the machine is related to the ratio between the windspeed and the blade speed, there will be only one windspeed at which the turbine will be delivering its maximum energy — after that point has been passed the energy delivered will fall off. "If you plotted the power output of the turbine against the windspeed," says Mr. Templin, "you would get a line which rises to a peak, then drops off gradually."

This feature is at once disadvantageous and advantageous. There is the disadvantage that all the possible power will not be extracted from the wind, but there is the advantage that the turbine has inherent "overload protection", quite a significant advantage when one remembers the fate of the Smith-Putnam machine. While all the possible power might not be extracted from the wind, it must be remembered that the Magdalen Islands' machine has been designed to achieve its maximum power output at windspeeds about the annual average — the efficiency "peak" of the machine will coincide with the most probable windspeeds to be expected and Mr. Templin points out that windspeeds of much higher than the annual



Ian Hornby, Ottawa

A NASA-developed horizontal-axis windmill. Installed near Sandusky, Ohio, the prototype machine has 125 ft (37.5 m) diameter blades, is rated at a maximum output of 100 kW and should have an average annual output of 30-35 kW.

Éolienne à axe horizontal, développée par la NASA, et installée près de Sandusky, dans l'Ohio; elle a 125 pieds (37,5 m) de diamètre; sa puissance nominale ne doit pas dépasser 100 kW et la moyenne annuelle doit être de 30 à 35 kW.

average are very rare.

"Our turbine falls short by about 20 per cent of the power an *ideal* wind machine would produce," he says, "and compared to a realistic propellor-type wind generator, there is not so much difference. We think this is a very satisfactory bargain given the simplicity of our machine compared to the more complex horizontal propellor types."

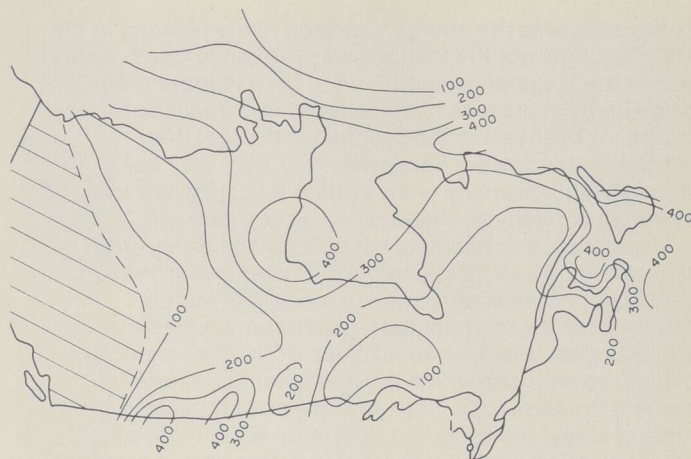
plique un investissement élevé. C'est pourquoi le développement technique des éoliennes doit s'accompagner d'un souci constant d'en minimiser le coût. À ce point de vue, l'éolienne à axe vertical a des avantages. Son coût exact est difficile à établir, à ce stade peu avancé de la mise au point, mais on estime que le coût de production d'un petit nombre d'exemplaires de l'éolienne de 200 kW, dont le prototype est installé aux Îles de la Madeleine, serait de l'ordre de 100 000 dollars, soit 500 dollars par kilowatt disponible. Ces chiffres semblent intéressants mais comme M. Templin l'a fait remarquer, ils peuvent induire en erreur.

Il s'explique: "Nous devons modifier ces chiffres parce que le vent n'est pas constant et, quand il souffle, ne souffle pas nécessairement à la vitesse qui assure à l'éolienne sa puissance normale maximum. Dans le cas de l'installation des Îles de la Madeleine, où on observe des vents de près de 32 km/h, en moyenne, la moyenne annuelle de puissance que peut fournir l'éolienne sera probablement d'environ 70 kW, à coût d'investissement voisin de \$1 400 par kilowatt." Par ailleurs il en coûterait environ 600 dollars par kilowatt généré au moyen d'une centrale CANDU, un type de centrale coûteux en frais d'investissement du point de vue actuel.

Tout cela n'est pas pour dire qu'il est préférable de construire une centrale nucléaire aux Îles de la Madeleine car les besoins en énergie ne le justifient pas. Comme le souligne M. Templin, "ces facteurs augmentent de façon appréciable le coût du kilowatt éolien mais il ne faut pas perdre de vue que la définition d'un coût d'investissement acceptable variera avec le coût de fonctionnement des autres types d'équipements de production énergétique qui sont disponibles. Si l'alternative est une génératrice diesel, de faible coût d'investissement mais qui consomme du combustible très coûteux, comme aux Îles de la Madeleine, alors il est payant de se servir de l'énergie éolienne autant que possible en dépit de l'investissement initial plus élevé. Durant la vie du système, les économies de combustible réalisées compenseront largement le capital investi."

L'utilisation du vent pour produire de l'électricité n'est pas nouvelle. La première éolienne a été construite au Danemark en 1890 et les petites éoliennes attachées à des fermes étaient communes dans bien des régions. Des éoliennes relativement grandes ont été construites dans beaucoup de pays mais leur développement n'a pas été poussé la plupart du temps parce que l'on disposait jusqu'à une date récente de combustibles fossiles à bon marché utilisables dans des générateurs exigeant peu d'investissements. La plus grande éolienne connue a peut-être été construite à Smith-Putnam, dans le Vermont, dans les années 1940. Il s'agissait d'une machine traditionnelle à deux pales de 175 pieds (53 m) de diamètre, donnant un maximum de 1,25 MW dans un vent de 56 km/h. Cette machine a été utilisée de temps en temps pendant un peu plus de trois ans jusqu'à ce que l'une des pales de huit tonnes se brise et soit projetée par le vent à 750 pieds (230 m) de là. Cette machine n'a pas été réparée. Néanmoins, l'expérience acquise avec cette éolienne a été d'un précieux secours pour l'évaluation de nouveaux types d'éoliennes.

M. Templin nous a expliqué que l'un des avantages de l'éolienne à hélices est qu'elle utilise des pales de pas réglable en continu (le pas est l'angle d'incidence de l'air sur la pale). Elles fonctionnent avec un rendement élevé pour une large gamme de vitesses de vent. Il nous a dit: "Son rendement s'approche de très près du rendement théorique maximum de l'éolienne idéale. La puissance maximum obtenue est limitée à dessein par la puissance



The estimated average wind power available in Canada in kilowatts per square mile.

Carte des puissances éoliennes moyennes estimées au Canada. La puissance est donnée en kilowatts par mille carré.

maximum de l'alternateur. Si le système éolien générateur est conçu pour produire, disons 100 kW au maximum, et que l'on obtienne cette puissance dans un vent de 32 km/h il devient nécessaire dans le cas de vents plus forts, de concevoir un montage de protection pour empêcher la surcharge du générateur."

L'éolienne à axe vertical est plutôt différente, celle qu'on a construite aux Îles de la Madeleine étant conçue pour fonctionner à vitesse constante. Puisque le rendement de la machine est lié au rapport de la vitesse du vent à la vitesse de la pale, il n'y aura qu'une vitesse de vent pour laquelle l'éolienne donnera l'énergie maximum et, passé ce point, l'énergie captée diminuera. M. Templin a ajouté: "Si vous tracez la courbe de la puissance à la sortie par rapport à la vitesse du vent vous obtenez une ligne qui atteint un maximum puis retombe graduellement."

Cet aspect est à la fois un avantage et un inconvénient. On ne peut extraire toute l'énergie du vent mais par contre le générateur d'électricité a une protection contre la surcharge, ce qui est intéressant si l'on se souvient du destin malheureux de l'éolienne de Smith-Putnam. Même si elle ne peut capter toute l'énergie éolienne possible, la machine des Îles de la Madeleine a été conçue, rappelons-le, pour donner son maximum à des vents d'une vitesse voisine de la valeur annuelle moyenne et, de ce fait, le meilleur rendement de la machine coïncidera avec les vitesses de vent les plus probables; M. Templin fait remarquer que les vitesses de vent très supérieures à la moyenne annuelle sont très rares.

Il nous a dit: "Notre éolienne travaille à environ 80% de la puissance d'une éolienne idéale et elle a une efficacité voisine de celle d'une éolienne à hélices. Nous pensons que par sa simplicité, cette éolienne est un compromis intéressant en comparaison des éoliennes horizontales à hélices, qui sont plus complexes."

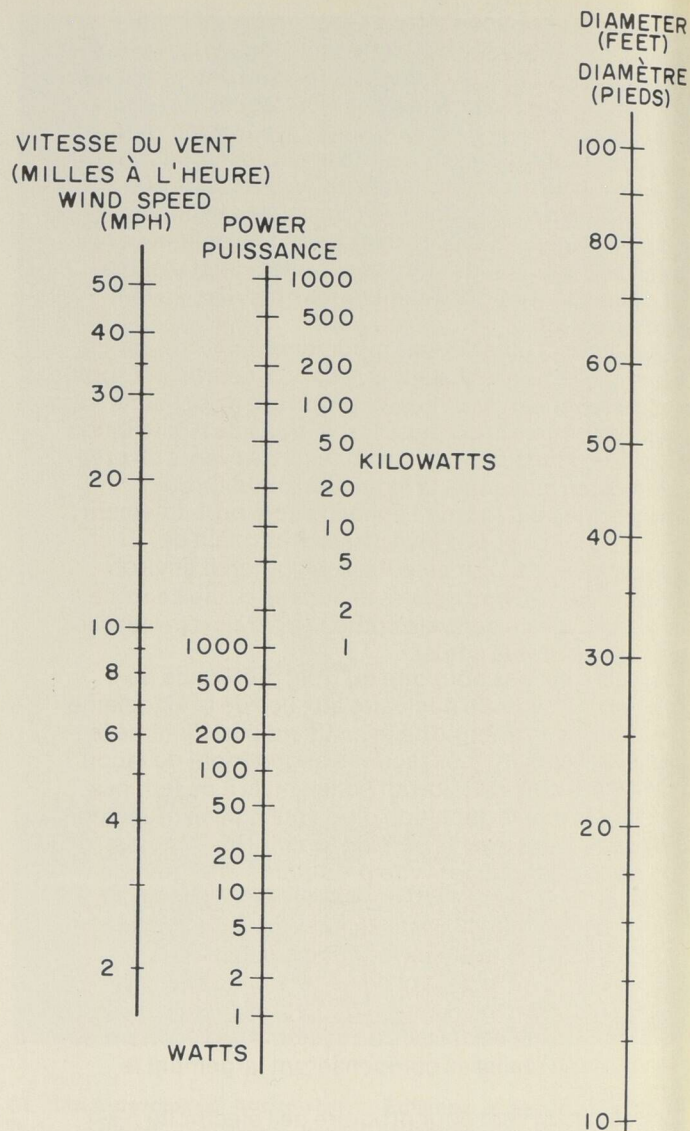
La réponse à la pénurie d'énergie se trouve-t-elle réellement dans le vent? Certainement pas toute la réponse, même à un endroit aussi venteux que les Îles de la Madeleine, car il est impossible de trouver un système unique qui satisfasse à tous les besoins d'une localité.

Is the answer to the energy shortage really blowing in the wind? Certainly not the total answer — even for such windy areas as the Magdalen Islands — but then, adopting any single energy system as a total answer is unrealistic for any location. At the heart of the problem is the fact that electricity demands are not constant — they vary both seasonally and diurnally — so a utility must provide enough generating capacity to meet the maximum demand, but this is generating capacity of which a significant portion will be standing idle for much of the time. For this reason, the most economical approach to electricity supply (assuming for the moment that no economical energy storage system is available) is to use a mix of generating facilities, using those which are cheapest to operate for providing the base load, then as demands increase in the course of a day, bringing into operation equipment of higher operating cost to meet the peak demand. It is in fact cheaper (in any terms) to use several different sources than a single one.

“Typically, a utility runs its high capital cost (but low operating cost) generating units, such as nuclear power plants, as much as possible to meet the base load demands,” says Mr. Templin, “then uses its low capital cost, but high fuelling cost equipment (such as diesel-electric units) for meeting the demand peaks.” With this in mind, the wind energy researchers have devised a computer model that mixes power from wind generators with diesel units. “Essentially the model shows us what happens as we add progressively more wind generating capacity to a diesel-electric supplied system. The model includes a hypothetical storage system whose capacity and cost can be specified,” says Mr. Templin. “What we are really trying to do is to find out the cheapest combination of the two power sources.”

The model has provided some surprises. “We have discovered that storage is a much less significant problem than we thought,” says Mr. Templin. “For the eastern Canada coast area, the seasonal wind variations correspond with the seasonal variations in demand — there is more wind in the winter — so the thorny problem of long-term storage can be sidestepped.” Daily, or short-term storage would be useful, in that it would help to smooth out the two big demand peaks in any day (morning and evening). Even outside the context of wind energy, an economical storage system would be of great advantage, allowing smaller generating plants to be built. At the moment, however, such storage systems as are technologically available are not economic, though they could become so. Without short-term storage then, in the mixed wind-diesel generating system there are going to be times when one is forced to waste wind power. “But what is very interesting”, says Mr. Templin, “is that according to our model, this situation is unlikely to arise until wind energy input totals more than half of the total system capacity. Until that point is reached it is really surprising how little wind energy is lost.” To put the point another way, in an eastern Canada coastal situation, windpower could be used to supply 50 per cent of the local electrical energy requirements without having to invest any money or time in evolving a storage system.

This gives ground for some optimism (albeit guarded). Any significant savings of hydrocarbon fuels is an important step in winning the energy battle and a possible 50 per cent saving for some areas of the country is very significant indeed. However, Mr. Templin points out that we do need a lot more information on wind conditions throughout the country before we can get too optimistic. “One problem in Canada,” he says, “is that there is not that much information for many sites and we do need



Miss/Mlle C.W. Clyde, NRC/CNRC

This chart can be used to determine the diameter of a vertical-axis windmill required to provide a specified power at a particular windspeed. To find out how large a windmill you would require, draw a straight line from the point on the “power” column corresponding to your power requirement to the point of the “wind speed” column that represents the average wind speed in your location. Project this line to the “rotor diameter” column and read off the required diameter. The results can be surprising.

Grâce à ces droites graduées placées face à face il est possible de trouver quel doit être le diamètre d'une éolienne à axe vertical en fonction de la puissance désirée et de la vitesse du vent. Pour trouver ce diamètre, tracez une ligne joignant le point de la droite du milieu, correspondant à la puissance désirée en kilowatts, au point de la droite de gauche correspondant à la vitesse moyenne du vent du lieu où vous voulez construire l'éolienne; prolongez cette droite obtenue vers la droite jusqu'au moment où elle coupe la ligne donnant le diamètre en pieds de l'éolienne dont vous avez besoin. Les résultats peuvent être étonnants.

Le noeud du problème, c'est que la demande en électricité n'est pas constante. Elle varie avec la saison et l'heure de sorte qu'une installation doit fournir assez d'électricité pour satisfaire à la demande maximum, ce qui signifie une sous-utilisation de l'installation pendant une grande partie du temps. C'est pourquoi l'approche la plus économique, si l'on ne dispose pas d'un stockage énergétique bon marché, est d'utiliser les installations les moins coûteuses pour les besoins constants et de mettre en marche les installations plus coûteuses au moment où la demande monte en flèche. Il est en fait meilleur marché dans tous les cas de se servir de plusieurs sources que d'une seule.

M. Templin nous a dit: "En général, une compagnie d'électricité s'efforce, pour couvrir les besoins constants, d'utiliser au maximum celles de ses installations qui coûtent cher en dépenses d'investissement mais dont le coût d'exploitation est modique, telles que les centrales nucléaires. Les génératrices dont le coût d'installation est modique mais qui coûtent cher en carburant, telles que les génératrices diesels, ne servent qu'à couvrir les besoins de crête."

Compte tenu de ces facteurs, les spécialistes de l'énergie éolienne ont conçu un modèle sur ordinateur qui combine la puissance éolienne et celle des diesels. Et M. Tremplin d'expliquer: "Essentiellement le modèle montre ce qui se produit lorsque l'on ajoute progressivement la production électrique de l'éolienne à l'électricité produite par une génératrice diesel. Le modèle comprend un système de stockage supposé dont la capacité et le coût peuvent être spécifiés. Nous travaillons avec ce modèle mathématique pour trouver la combinaison des deux méthodes qui donne de l'énergie au meilleur prix."

Le modèle a réservé quelques surprises et M. Templin d'ajouter: "Nous avons découvert que le stockage constitue un problème beaucoup moins important que nous ne l'aurions pensé. Sur la côte Est du Canada, les variations saisonnières du vent correspondent aux variations saisonnières de la demande. Ainsi, comme il y a beaucoup plus de vent en hiver, le problème difficile du stockage à long terme peut être contourné. Le stockage journalier ou à court terme aurait l'avantage d'étaler les deux grandes pointes de la demande, c'est-à-dire le matin et le soir. Même sans parler de l'énergie éolienne, un système de stockage économique présenterait de grands avantages car il permettrait de construire des usines électriques plus petites. Toutefois, dans l'état actuel de la technique, les systèmes de stockage disponibles ne sont pas économiques mais ils pourraient le devenir. Sans stockage à court terme, dans les systèmes hybrides qui combinent l'énergie éolienne avec l'énergie tirée d'un diesel, il y a des moments où l'on est forcé de gaspiller l'énergie éolienne. Et M. Templin d'ajouter: "Mais ce qui est très intéressant c'est que selon notre modèle mathématique cette situation est peu probable jusqu'à ce que l'énergie éolienne dépasse plus de la moitié de la capacité totale du système. Jusqu'à ce qu'on parvienne à ce point il est vraiment surprenant de voir comme on perd peu d'énergie éolienne." Autrement dit, dans le cas d'une situation semblable à celle de la côte Est du Canada, l'énergie éolienne pourrait fournir 50% de l'énergie électrique locale sans qu'on ait à investir de l'argent ou du temps dans la mise au point d'un système de stockage.

Il y a donc matière à un optimisme prudent. Toute économie importante de combustible à base d'hydrocarbures constitue un pas important dans la lutte pour conserver l'énergie et une économie de 50% dans certaines régions du pays est certainement très importante. Toutefois, selon M. Templin, on a besoin de beaucoup plus de ren-

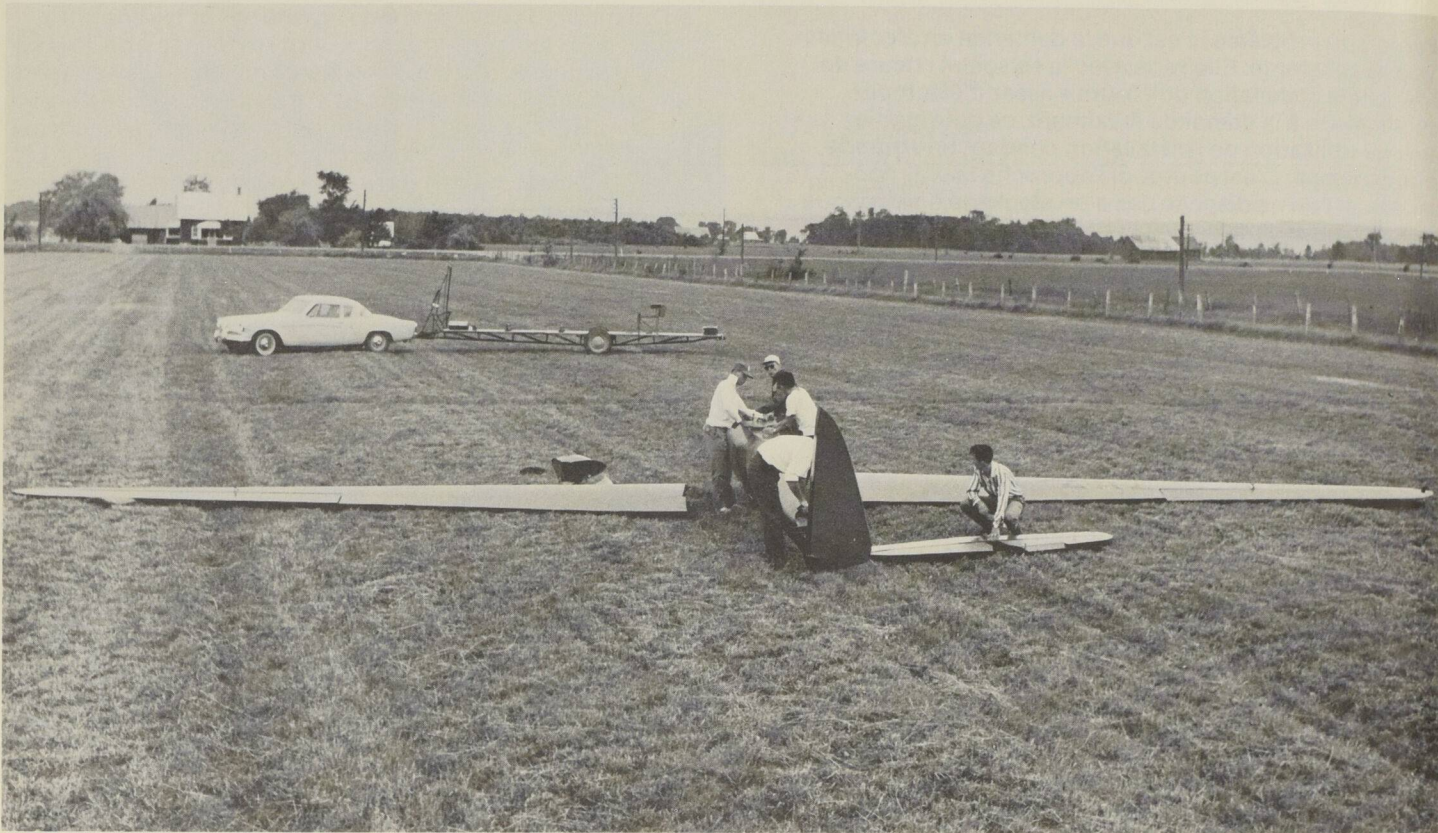


Nova Scotia Communications and Information Centre

The most aesthetically satisfying system for exploiting wind power must surely be the sailing ship. The balletic grace of the nineteenth century tea clippers tends to make us forget that these beautiful ships were superbly efficient users of wind energy. Such legendary clippers as the *Cutty Sark*, *Ariel* and *Taeping* are all recorded as having logged speeds in excess of 20 knots — a level of performance that the builders of modern sailing craft have yet to achieve. Here, the unique blend of the shipwright's craft and the seaman's art is maintained in the twentieth century in the form of the schooner *Bluenose*.

Le système le plus satisfaisant sur le plan de l'esthétique pour exploiter l'énergie éolienne doit sûrement être le bateau à voiles. La grâce de ballerine des fins voiliers de la course du thé du 19ème siècle tend à nous faire oublier que ces bateaux magnifiques étaient vraiment bien équipés pour tirer le maximum de l'énergie éolienne. Parmi ces fins voiliers, comme le *Cutty Sark*, l'*Ariel* et le *Taeping*, certains ont atteint des vitesses dépassant 20 noeuds ce qui constitue une performance que les constructeurs de bateaux à voiles de nos jours n'ont pas encore pu atteindre. Ici, l'art de l'ingénieur du génie maritime et l'adresse du marin se reconnaissent dans le *Bluenose*, bateau du 20ème siècle.

seignements sur les conditions du vent d'un bout à l'autre du pays avant d'être trop optimiste. Il nous a dit: "L'un des problèmes au Canada est que les données sont rares pour de nombreux sites et que l'on a besoin de renseignements très détaillés avant de pouvoir faire une évaluation convenable du potentiel éolien d'un site. Ainsi, par exemple, les renseignements que nous avons obtenus de l'Hydro-Québec sur les vents aux Îles de la Madeleine formaient une pile de documents d'environ un quart de pouce d'épaisseur! On y donnait la répartition statistique des différentes vitesses de vent pour chaque mois pendant trois ans. C'est le type de données dont nous avons besoin."



Canadian Government Photo Centre/Centre de photographie du gouvernement canadien

quite detailed information before we can make any sensible assessment of the potential of wind power in any location. For example, the information we received from Hydro-Quebec about the Magdalen Islands' wind conditions filled a wad of documents over a quarter of an inch thick! The probability distributions of different wind speeds are given for every month of three years — that is the kind of detail we need."

As a general rule of thumb, any area whose average annual windspeeds are not significantly above 16 km/h would not be a good prospect for exploiting wind energy, although Mr. Templin warns that this conclusion could well be modified under special circumstances. "It is important to remember that you can never consider single-system energy costs in isolation — if there is a low wind-speed area, wind power could still be viable if all the alternatives were more costly. For example, in very isolated areas where fuel must be flown in, the costs are very high indeed so wind power could well effect some economies."

Mr. Templin warns too that in the investigation of wind energy one must not lose sight of the environmental aspects. "Certainly wind generators do not pollute in the sense of giving off noxious compounds, but they are large — very obtrusive. A lot of people are not particularly fond of electrical transmission towers. With the wind turbine, we have something of the same order of size, and what is more, it is spinning around. There is also the noise to be considered — the little machines we have built so far make what I would regard as quite an acceptably quiet swishing sound — and while we have no reason to believe that this will not be the case for the big ones, it is a point we should keep in mind." There are two other areas that require more serious consideration — land use (wind machines take up a considerable amount of space, and they must be placed a certain minimum distance apart to avoid interfering with each other's airflow) and safety. "One question we would like to answer," says Mr. Templin, "is what happens if a

Humankind's nearest approach to the true freedom of the skies has been through the exploitation of wind energy. Riding the winds, a sailplane provides a sense of identity with the air and the avian community that no powered craft can duplicate.

C'est en exploitant l'énergie éolienne que l'homme est arrivé à se sentir vraiment libre dans le ciel. Le vol à voile permet grâce aux planeurs de se sentir en harmonie totale avec le monde de l'air et celui des oiseaux, impossible à reproduire par aucune machine à moteur.

bird flies into one of the rotors. We are in touch with NASA in the United States where they are gathering information on this subject with reference to an experimental wind generator on Lake Erie. Quite apart from the fact that we do not want to find ourselves killing a lot of birds, there is the question of whether a large bird striking a rotor could cause it to fail, although in the case of the Magdalen Islands' machine, the blade speed is low, about 180 km/h, so we are not much worried about the structural problem."

Some of the answers about wind energy are becoming apparent — certainly it is not just a matter of sticking a windmill up on a roof and watching the kilowatts come rolling in — nor is it hopelessly impractical, requiring the development of storage systems. At the moment, it seems as though prudent exploitation of wind energy will usefully augment the energy supplies of selected areas and that it could provide a contribution to our future energy demands. □

David Mosey



Canadian Government Photo Centre/Centre de photographie du gouvernement canadien

En règle générale, toute région dont la moyenne annuelle de la vitesse des vents ne dépasse pas de beaucoup 16 km/h n'est pas un bon site pour exploiter l'énergie éolienne, quoique M. Templin nous explique que cette conclusion pourrait être modifiée dans certaines circonstances spéciales: "Il est important de se souvenir que vous ne pouvez jamais considérer isolément le coût d'un système unique: il se pourrait que l'énergie éolienne soit viable dans une certaine région si les autres moyens de se procurer de l'énergie coûtaient encore plus cher. Ainsi, par exemple, dans des régions très isolées où il faut amener le combustible par avion, les coûts sont très élevés de sorte que l'énergie éolienne pourrait quand même permettre de faire des économies."

M. Templin nous avertit également qu'il est important lorsque l'on travaille sur l'énergie éolienne de ne pas perdre l'environnement de vue: "Il est certain que les éoliennes ne contribuent pas à la pollution sous la forme de composés toxiques mais elles sont très importunes par leurs grandes dimensions. Beaucoup de gens n'aiment pas tellement les pylônes des lignes électriques. Avec les éoliennes, nous avons une construction du même ordre de grandeur et, qui plus est, en rotation. Il faut également tenir compte du bruit: les petites machines que nous avons construites jusqu'à maintenant ne font guère, selon moi, qu'un bruissement acceptable. Nous n'avons aucune raison de penser qu'il en sera différemment avec les grandes mais il est important de ne pas perdre de vue cette question du bruit. Il existe deux autres questions qui méritent une étude plus attentive: il s'agit de l'utilisation des terres, les éoliennes prenant beaucoup de place, et de la nécessité d'espacer suffisamment les éoliennes les unes par rapport aux autres pour éviter qu'elles ne se nuisent au point de vue de l'écoulement de l'air et de la sécurité. M. Tremplin a ajouté: "Nous nous demandons ce qui arriverait si un oiseau s'écrasait sur l'un des rotors. Nous sommes en relations avec la NASA aux États-Unis, qui

Part-parachute, part-kite, part-sailplane, the hang-glider requires that its pilot re-learn the skills developed by such aviation pioneers as Otto Lillienthal and Percy Pilcher.

L'aile-parachute du type Rogallo exige que son pilote réapprenne les techniques de pilotage développées par les pionniers de l'aéronautique comme Otto Lillienthal et Percy Pilcher.

amasse des données à ce sujet grâce à une éolienne expérimentale au bord du lac Érié. Nous ne voulons pas massacrer beaucoup d'oiseaux, et de plus, la question se pose de savoir si l'impact d'un grand oiseau sur une pale pourrait provoquer sa rupture. Dans le cas de l'éolienne des Îles de la Madeleine, la vitesse de la pale n'est que d'environ 180 km/h, ce qui fait que nous ne nous inquiétons pas trop du problème structural."

Certaines des réponses au sujet de l'énergie éolienne commencent à devenir claires; il ne suffit pas de tout simplement placer une éolienne sur un toit pour capter des kilowatts. D'autre part, l'utilisation de l'énergie éolienne est loin d'être impossible et n'est pas conditionnée par la mise au point de systèmes de stockage. Il semble actuellement qu'une exploitation prudente de l'énergie éolienne sera un apport utile aux approvisionnements en énergie dans certaines régions sélectionnées et qu'elle contribuera à satisfaire à nos besoins énergétiques futurs. □

Texte français: **Louis-Georges Desternes**

Research related to nuclear fusion — Energy for tomorrow?

Scientists from INRS-Énergie, a division of the Université du Québec, are tackling two technological problems in preparation for the development of viable controlled nuclear fusion systems. These are the detailed experimental analysis of the delivery of laser energy to the target and the study of materials which could be used in future nuclear fusion reactors.

The high standard of living that Canadians enjoy is vitally dependent upon plentiful and reliable energy supplies. In the past, much of this energy has been provided by non-renewable resources such as coal, natural gas and petroleum. These resources are rapidly becoming more and more expensive, however, as new supplies have to be obtained from remote areas of the Arctic or from sources which present difficult technological problems such as Alberta's tar sands. With this in view, Canadian energy planners are aiming to satisfy long-term needs through the exploration of renewable energy resources and the development of methods for tapping non-renewable energy sources which are, for practical purposes, unlimited. In this respect, one of the most exciting long-term prospects lies in controlled nuclear fusion. The fusion of a nucleus of deuterium — a hydrogen isotope present in ordinary water — with a nucleus of tritium — an artificial isotope of hydrogen — involves the direct conversion of matter into energy as expressed by Einstein's well-known formula $E=MC^2$. Such nuclear fusion reactions power the Sun and the stars.

One of the methods being considered at present for achieving controlled nuclear fusion involves blasting a small pellet containing deuterium and tritium with a powerful burst of laser light from several directions to produce a spherically symmetrical implosion with a super compression to ten thousand times solid density. This

would bring the deuterium to the extreme temperatures and densities required for a fusion reaction in a billionth of a second (10^{-9} s). This brief duration is to prevent too much of the mixture from blowing apart before a useful amount of deuterium-tritium is consumed in the fusion reaction.

Scientists from INRS-Énergie, a division of the Université du Québec with laboratories in Varennes near Montréal, are tackling two technological problems in preparation for the development of viable controlled nuclear fusion systems. These are the detailed experimental analysis of the delivery of laser energy to the target and the study of materials which could be used for building future nuclear fusion reactors.

A group of scientists at INRS-Énergie, comprising Professors T.W. Johnston, B. Grek, H. Pépin, F. Rheault and K. Parbhakar, is studying the interaction between a powerful laser beam and a solid target. A very hot plasma of ionized particles is formed and the laser beam penetrates it until the plasma density is such that it will transmit the incoming light no further. This so-called critical density is a function of the wavelength of the laser light. The team from INRS-Énergie is using a sophisticated method for studying the zone where the laser beam energy is coupled to the plasma. It consists in scattering short wavelength laser light from a separate laser that illuminates the interaction region. Such a diagnosis of the coupling zone

This solar flare, observed by Skylab astronauts, is a spectacular manifestation of the powerful nuclear fusion reactions that take place inside the Sun, making all life on Earth possible.



Cette protubérance solaire, photographiée par les astronautes de Skylab, est le témoin spectaculaire des intenses réactions de fusion nucléaire qui ont lieu à l'intérieur du Soleil, rendant possible toute vie sur Terre.

NASA

Contribution aux recherches en fusion nucléaire L'énergie de demain?

Des chercheurs de l'INRS-Énergie, une constituante de l'Université du Québec, se sont attaqués à la solution de deux problèmes technologiques d'importance pour la mise au point des systèmes de fusion thermonucléaire contrôlée, soit l'étude des conditions de transfert de l'énergie d'un laser à une cible et l'étude des propriétés des parois des futurs réacteurs à fusion nucléaire.



Vue d'ensemble du puissant laser au CO₂ du laboratoire. On peut voir au premier plan deux étages d'amplification du laser.

An overview of the laboratory's powerful CO₂ laser. Two stages in the laser amplification chain can be seen in the foreground.

Paul Pelletier, INRS-Énergie

Le Canada jouit d'un niveau de vie élevé qui dépend de façon cruciale de la disponibilité de sources d'énergie abondantes et fiables. Cette énergie lui a été fournie en bonne part dans le passé par ses ressources en énergie non renouvelables telles que le pétrole, le gaz naturel et le charbon. Toutefois ces ressources s'épuisent rapidement ou deviennent d'un prix très élevé car il faut de plus en plus les tirer de régions difficiles d'accès, comme l'Arctique, ou de sources qui présentent de grandes difficultés technologiques comme les sables bitumineux de l'Alberta. Dans cette perspective, il faut chercher à pourvoir aux besoins en énergie du Canada au moyen de ses ressources renouvelables ou de celles de ses ressources non renouvelables qui sont susceptibles de durer plusieurs siècles.

L'une des possibilités les plus intéressantes dans ce domaine est la fusion thermonucléaire contrôlée. La fusion d'un noyau de deutérium, isotope de l'hydrogène qu'on peut extraire de l'eau du robinet, avec un autre isotope de l'hydrogène, le tritium, s'accompagne de la conversion de masse en énergie suivant la célèbre formule d'Einstein $E=MC^2$. Le soleil et les étoiles tirent leur énergie d'une gamme de réactions de fusion nucléaire.

L'une des méthodes à l'étude pour la réalisation de cette fusion consiste à foudroyer une goutte de deutérium-tritium par une impulsion laser si puissante qu'elle produit une "implosion" symétrique et une surcompression de la goutte dont la densité s'accroît aussitôt d'un facteur dix mille. On porte ainsi le deutérium aux températures et aux densités nécessaires à la fusion en un temps si court (un milliardième de seconde (10^{-9} s)) qu'il n'a pas le temps de se disperser avant que la réaction de fusion nucléaire ne prenne place à un taux convenable.

Des chercheurs de l'INRS-Énergie, une constituante de l'Université du Québec dont les laboratoires sont situés à

Varenes, près de Montréal, se sont attaqués à la solution de deux problèmes technologiques d'importance pour la mise au point des systèmes de fusion thermonucléaire contrôlée, soit l'étude des conditions de transfert de l'énergie du laser à la cible et l'étude des propriétés des parois des futurs réacteurs à fusion nucléaire.

Une équipe de l'INRS-Énergie, constituée des professeurs T.W. Johnston, B. Grek, H. Pépin, F. Rheault et K. Parbhakar, étudie l'interaction entre la radiation d'un puissant laser CO₂ et une cible solide. On crée ainsi un plasma, c'est-à-dire un gaz très chaud de particules ionisées. La radiation laser pénètre ce plasma jusqu'à une profondeur où la densité du plasma est suffisamment élevée pour ne plus permettre la transmission complète de la lumière; cette densité est dite densité critique et dépend de la longueur d'onde de la lumière. C'est dans cette zone de couplage que se fait le transfert d'énergie du faisceau laser au plasma.

L'équipe de l'INRS-Énergie utilise une méthode plutôt raffinée pour étudier la zone de couplage de l'énergie laser au plasma. Il s'agit de faire diffuser la lumière de courte longueur d'onde d'un autre laser qui illumine la zone d'interaction. Ce type de diagnostic de la zone de couplage exige un laser sonde avec une longueur d'onde dix fois plus courte que celle du laser qui crée le plasma. Si l'on emploie un laser de chauffage au néodyme, de longueur d'onde de 1,06 micron, qui est utilisé dans beaucoup de laboratoires de recherche en fusion, il faut un laser sonde de longueur d'onde d'environ 0,1 micron. Il est très difficile de générer une telle radiation laser, qui se situe dans l'ultra-violet, et les fenêtres optiques sont opaques aux radiations de si courtes longueurs d'onde, ce qui rend leur emploi impossible. Les chercheurs de Varenes contournent la difficulté en utilisant un laser de chauffage à CO₂ à pression atmosphérique de longueur d'onde de 10,6 microns et un laser sonde au rubis de longueur d'onde

requires a probe laser with a wavelength ten times shorter than that of the laser forming the plasma. Using a neodymium-glass laser with 1.06 micron wavelength, one needs a probe laser with a wavelength of 0.1 micron; not only are such lasers unavailable, but they are also impractical since all windows and optical components are opaque to this short ultraviolet wavelength. The Varennes scientists bypassed the problem by generating plasmas using a TEA (transverse excitation atmospheric pressure) CO₂ laser with a 10.6 micron wavelength and probing the plasma with a ruby laser at a wavelength of 0.7 micron.

The CO₂ laser and the ruby laser are both mode-locked and synchronized. They thus emit a series of powerful and very short light pulses at relatively long intervals. The CO₂ laser has a one nanosecond (10⁻⁹s) pulsewidth; the ruby laser pulsewidth is about 10 picoseconds (10⁻¹¹s). The ruby laser pulses, which are 100 times shorter than the CO₂ laser pulses, can be triggered at will to explore phenomena occurring at any point during the CO₂ laser pulse. This method will allow the group to do a scaled-up study of the complex factors involved in the coupling of a laser beam and a plasma. It remains to be established whether the information obtained by probing a plasma heated by a 10.6 micron laser with a 0.7 micron wavelength laser can be extrapolated to predict the properties of plasmas heated by lasers having the wavelength range which is contemplated in practical systems (0.3 to 0.5 micron, in or near the range of visible light). Is there a scaling law between the two situations? The same considerations commonly occur in other areas of science; for instance, in aeronautics, measurements on small scale models must be interpreted through a comparison law to give useful information on the properties of full-size aircraft. Despite this reservation, a substantial amount of

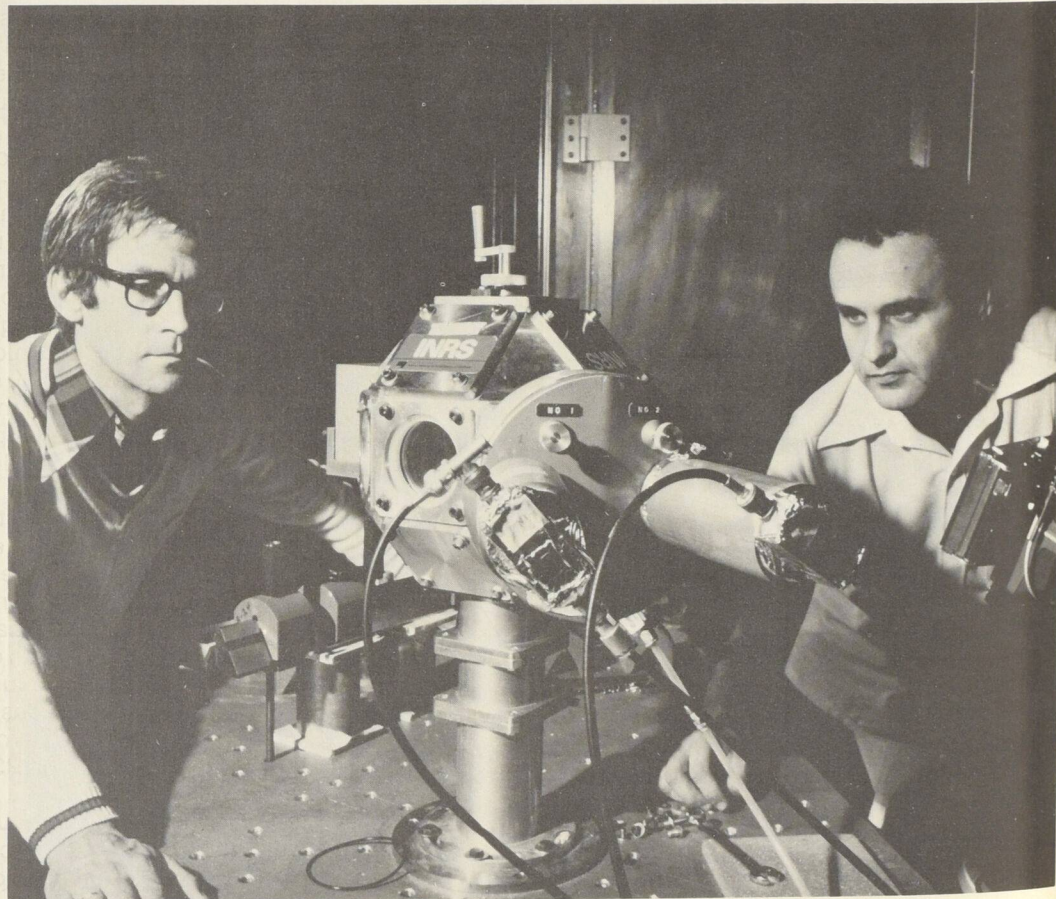
otherwise inaccessible data on the coupling zone of plasmas is being obtained through the methods in use at Varennes.

In a joint experiment with DREV (Defense Research Establishment, Valcartier), the INRS-Énergie team has observed for the first time the generation of second and third harmonic light in the interaction of a powerful CO₂ laser beam with a polyethylene target. Second (third) harmonic is radiation whose frequency is double (three times) the frequency of the incident radiation; second harmonic thus has half the wavelength of the excitation radiation and third harmonic a third of this wavelength. For instance, the second harmonic of neodymium laser light (which has an infrared wavelength of 1.06 micron) has a wavelength of 0.53 micron, and is green in color. According to Professor Johnston, production of harmonics of CO₂ laser radiation (at 5.3 and 3.5 microns) is a clue that reveals the presence of non-linear effects linked to the anomalous absorption required for efficient use of the laser energy for fusion. This experiment, and the recent observation of third harmonic radiation at 3.5 microns, shows that the CO₂ laser remains a serious contender for nuclear fusion systems despite its 10.6 micron wavelength which is 30 times greater than the 0.3 micron wavelength often estimated to be the optimum. Generation of second and third harmonic light also provides a new tool for diagnosing the coupling zone of high density plasmas.

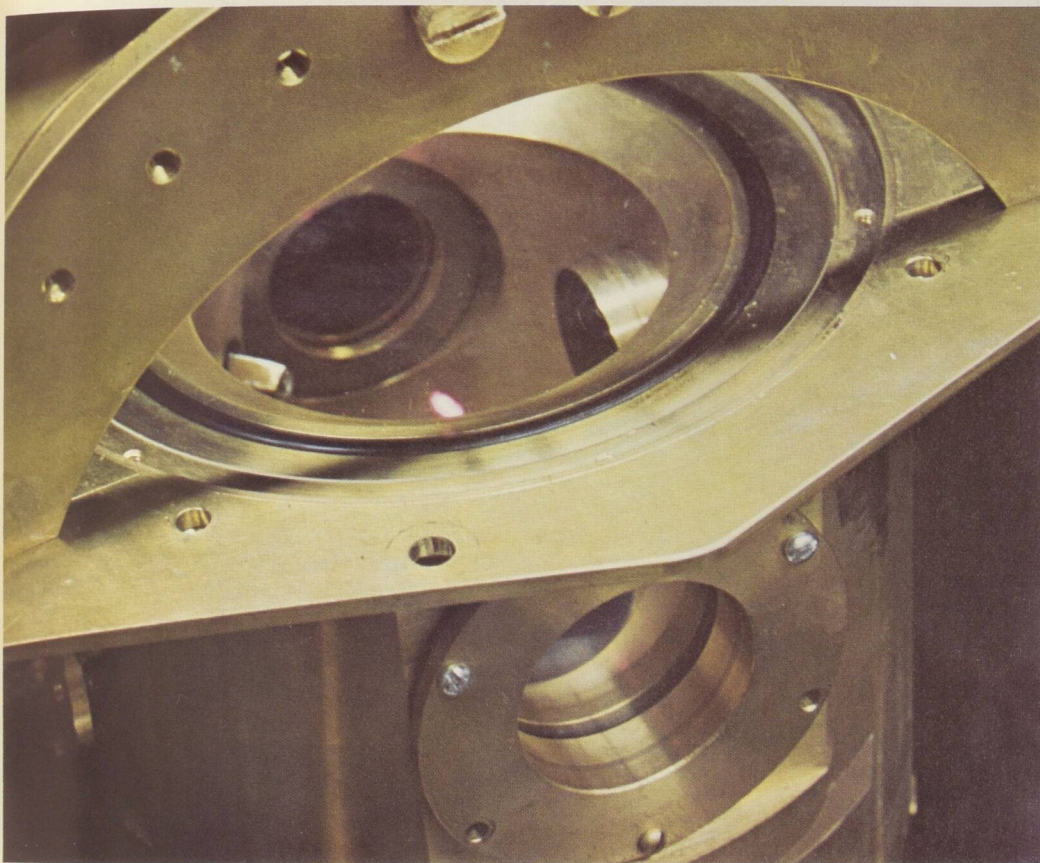
After the technical requirements of controlled thermonuclear fusion are determined, the next step will be to design and build a practical fusion reactor. This will require materials that can tolerate the hostile environment found inside fusion reactors, such as high temperatures and intense bombardment by neutrons and energetic ions.

Paul Pelletier, INRS-Énergie

INRS-Énergie scientists study plasmas formed through the interaction of a powerful CO₂ laser beam with a polyethylene target in this octagonal vacuum chamber. The two INRS scientists in this picture are Dr. Henri Pépin (left) and Dr. Boris Grek.



Cette chambre à vide octogonale contient une cible de polyéthylène qu'on bombarde au moyen d'une puissante impulsion du laser au CO₂. Les chercheurs de l'INRS-Énergie s'intéressent à l'analyse des plasmas formés dans ces expériences. On voit ici MM. Henri Pépin (à gauche) et Boris Grek, deux chercheurs de l'INRS.



Faisceau à haute intensité d'un laser à gaz carbonique, focalisé à travers l'avant d'une chambre de diffusion contenant de l'hydrogène. Grâce à une interaction avec les molécules d'hydrogène, ce faisceau donne un plasma concentré de particules ionisées à haute température, que l'on peut observer sous la forme d'une étincelle brillante (au centre). Cette photo illustre un montage expérimental à la Division de physique du CNRC.

A high intensity beam from a carbon dioxide laser focussed through the front part of a scattering chamber containing hydrogen gas. By interacting with the hydrogen molecules, this beam produces a concentrated high - temperature plasma of ionized particles, observed as a bright spark (center). The above picture shows an experimental set-up at NRC's Division of Physics.

Hans Blohm

de 0,7 micron. Le laser à CO₂ et le laser de diagnostic sont tous deux à modes bloqués, émettant un train d'ondes lumineuses très intenses et très brèves séparées chacune de la suivante par un intervalle relativement long. Les impulsions du laser à CO₂ ont une durée d'environ une nanoseconde (10⁻⁹s); les impulsions du laser à rubis de sonde ont une durée de 10 picosecondes (10⁻¹¹s). Ces impulsions, 100 fois plus courtes que celle du laser à CO₂, sont ajustables dans le temps et peuvent servir à explorer des phénomènes à des moments quelconques de l'impulsion du laser à CO₂. La méthode employée par l'équipe de l'INRS-Énergie fournit le moyen d'étudier à plus grande échelle les phénomènes complexes qui se produisent dans une réaction entre un plasma et un flux de radiation laser.

La question qui se pose et qui n'est pas entièrement résolue est de savoir si les renseignements obtenus en sondant un plasma chauffé par un laser à 10,6 microns avec un laser à 0,7 micron peuvent être extrapolés à des plasmas chauffés par les lasers qu'on pense utiliser dans les systèmes pratiques, de longueurs d'onde proches du visible (de 0,3 à 0,5 micron). Y a-t-il une loi d'échelle entre les deux expériences? On fait souvent face au même problème dans d'autres domaines, comme en aéronautique, où les mesures qu'on fait sur des modèles réduits d'avions doivent être normalisées par une loi de comparaison pour être applicables à des avions pleine grandeur. Quoi qu'il en soit, les expériences effectuées à Varennes au sujet de l'interaction d'un laser à CO₂ avec la zone de couplage d'un plasma fournissent de précieux renseignements qui seraient autrement inaccessibles.

Dans une expérience récente réalisée en collaboration avec le CRDV (Centre de recherches pour la défense à Valcartier), l'équipe de l'INRS-Énergie a observé pour la première fois la génération des deuxième et troisième harmoniques dans l'interaction du faisceau d'un laser à CO₂,

avec un plasma produit à partir d'une cible de polyéthylène. Les harmoniques sont des radiations dont la fréquence est double, triple ou n fois plus grande en comparaison de celle de la radiation existante et qui ont donc une longueur d'onde 2, 3 ou n fois plus petite. Par exemple, l'harmonique de la radiation du laser au néodyme (dont la longueur d'onde se situe à 1,06 micron) a une longueur d'onde de 0,53 micron et est constitué de lumière verte. La production du second harmonique (à 5,3μ) indiquerait selon eux l'existence d'effets non-linéaires probablement reliés à l'absorption anormale nécessaire à l'utilisation efficace de l'énergie laser pour la fusion. Cette expérience, complétée récemment par l'observation du troisième harmonique (à 3,5μ) indique que le laser à CO₂, malgré sa longueur d'onde de 10,6 micron, trente fois plus grande que la valeur désirable (0,3μ), demeure un candidat sérieux pour la fusion par laser. La génération de deuxième et troisième harmonique fournit par ailleurs le moyen de faire le diagnostic de la zone de couplage de plasmas aux densités élevées.

Une fois précisées les conditions technologiques d'une réaction de fusion thermonucléaire contrôlée, il faut passer à la réalisation pratique d'un réacteur à fusion commercial. L'un des problèmes cruciaux qu'il faut résoudre est de trouver des matériaux capables de supporter sans défaillance les conditions très difficiles qu'on trouvera au coeur des futurs réacteurs à fusion: hautes températures, violent bombardement par des neutrons et des ions énergétiques. Les professeurs Bernard Terrault, Jacques Martel et Robert St-Jacques, de l'INRS-Énergie, s'intéressent à cet aspect du problème.

Les recherches du professeur Martel portent sur un phénomène appelé pulvérisation cathodique (sputtering); les ions d'hélium, d'hydrogène et de deutérium produits par les réactions nucléaires ont une énergie cinétique suffi-

Professors Bernard Terreault, Jacques Martel and Robert St-Jacques, three scientists from INRS-Énergie, are interested in this aspect of nuclear fusion research.

Professor Martel is studying sputtering effects, whereby helium, hydrogen and deuterium ions generated in nuclear reactions attain kinetic energies sufficient to knock atoms off the walls of fusion reactors and slowly erode them. Although sputtering rates are fairly small (10^{-2} to 10^{-3} metal atom per ion, depending on the ion species and energy), ion fluxes in reactors are expected to be very large and the reactor walls will have to last more than 20 years to ensure commercial feasibility. It is thus of great practical importance to establish sputtering rates for several refractory metals, such as niobium.

Professor St-Jacques is dealing with a phenomenon known as metal blistering. Blistering is due to the implantation of helium ions inside the crystalline network of metals. Helium atoms cluster in small bubbles which lift the metal surface, making it exfoliate fragments. As shown below, the surface of a niobium target bombarded with helium forms blisters and takes on the appearance of paint lifted by moisture. INRS-Énergie scientists have shown that low energy helium ions form a single surface layer of blisters which are eroded by sputtering or bursting and then blistering stops. They are also studying the effects on blistering of other experimental parameters, such as the target temperature and the energy spectrum of helium ions.

Another research project at INRS-Énergie, undertaken by Professor Terreault in cooperation with the Laboratoire de Physique Nucléaire of Université de Montréal, has led to the development of a new method for detecting low atomic number elements (from hydrogen to oxygen in the periodic table of elements) implanted in high atomic num-

ber elements. The method yields the concentration of the low atomic number impurity as a function of depth in a sample. This implantation profile is quantitative, contrary to other methods in common use which are not easy to interpret quantitatively.

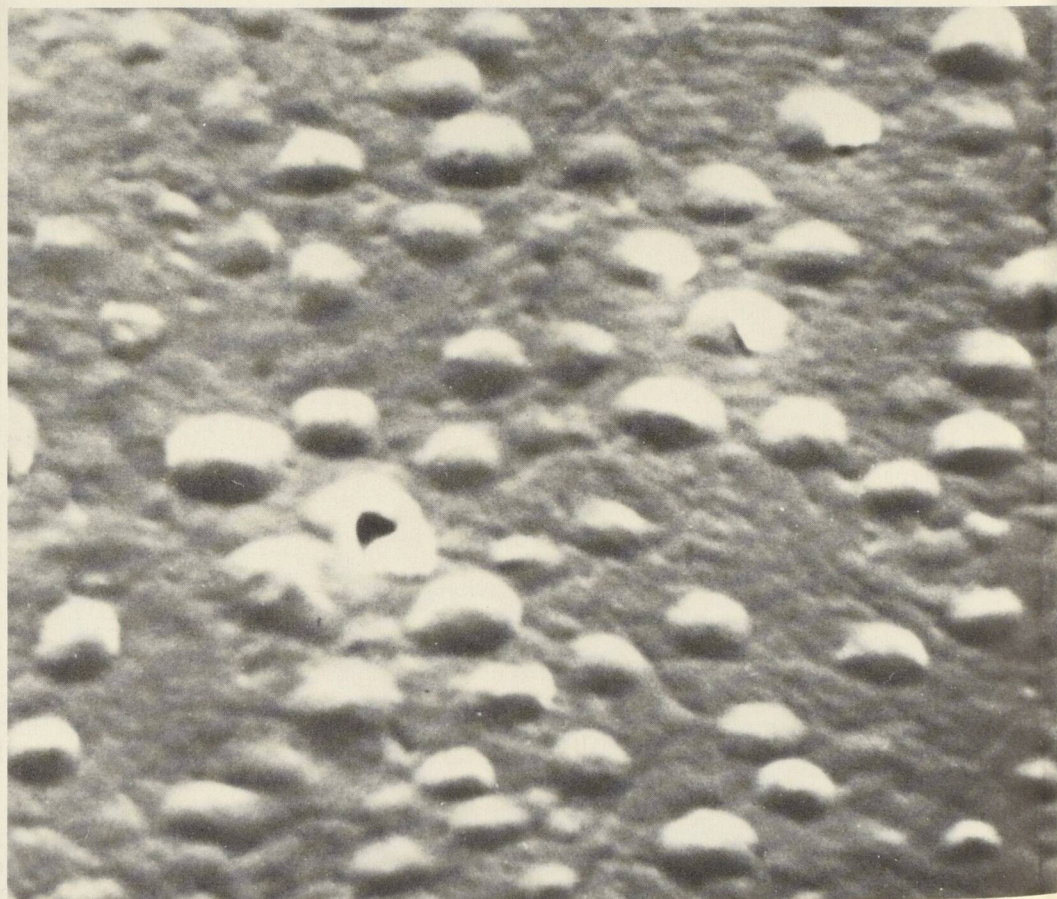
An unexpected application of this method may be in the study of meteorites which are thought to have a chemical memory of their peregrinations in space and clues to the history of the universe, thanks to ions implanted beneath their surface. Professor Terreault also foresees the application of this profiling method to the detection of tritium implanted in the components of CANDU fission reactors. To ensure that radioactive tritium is not released into the environment by CANDU reactors, it is important to trace the path followed by the tritium after it is produced in fission reactors.

Some critics have asserted that research on controlled nuclear fusion is too expensive and much beyond Canada's means. Professor Terreault answers that even a small Canadian research program limited to the solution of a few technological problems provides Canadian scientists with the expertise necessary for understanding, evaluating and eventually using know-how generated by international nuclear fusion research.

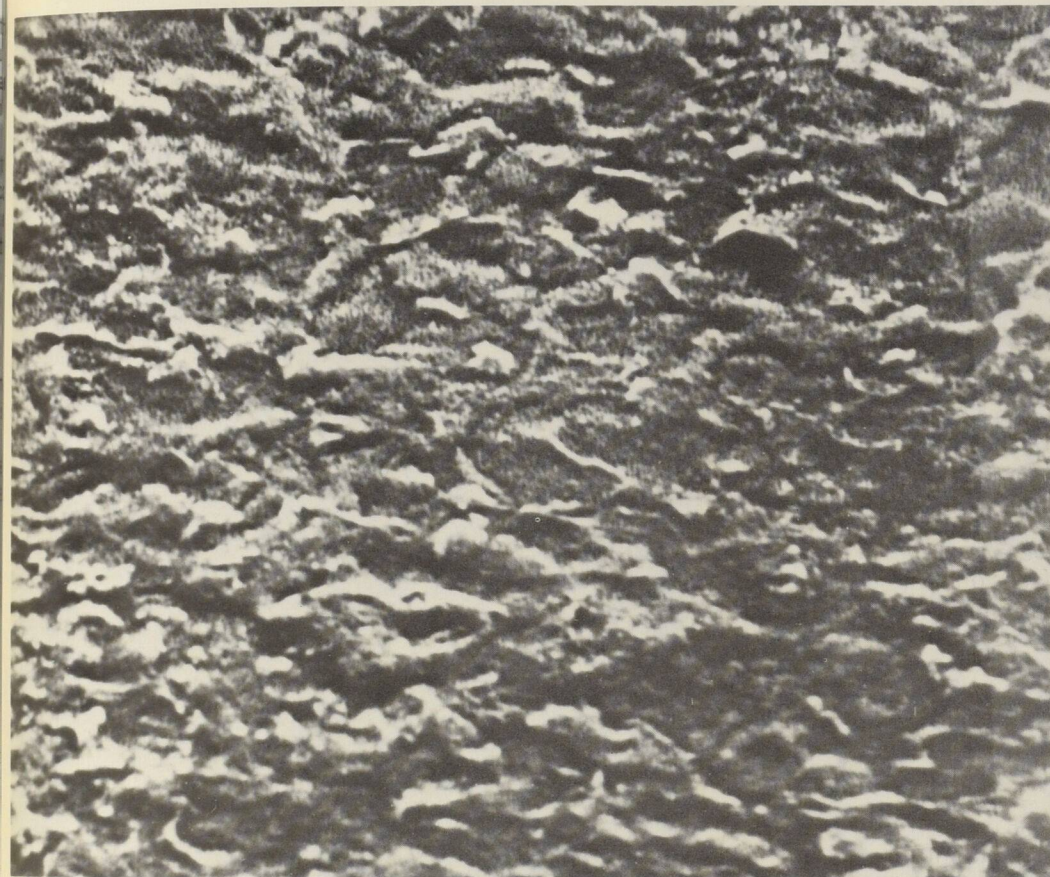
The work in progress at INRS-Énergie constitutes a valuable contribution to the international effort aimed at the development of controlled thermonuclear fusion reactors. It is a good example of multidisciplinary research oriented towards the solution of some of Canada's practical problems. □

Michel Brochu

An example of metal blistering caused by the implantation of helium ions under the surface of a niobium target. INRS-Énergie scientists are studying the conditions under which these blisters form, along with other effects of the intense radiations expected inside nuclear fusion reactors.



L'implantation d'ions d'hélium sous la surface d'une cible de niobium provoque la formation de cloques. Les chercheurs de l'INRS-Énergie s'intéressent aux conditions de formation de ces cloques, ainsi qu'à d'autres effets des radiations intenses qu'on trouvera dans les futurs réacteurs à fusion nucléaire.



Cette microphotographie électronique d'une cible de niobium illustre bien l'effet prononcé de la dose de radiation sur le cloquage. Le flux d'ions d'hélium étant 17 fois plus intense que dans le cas de la fig. p. 26, les cloques formées s'érodent et il ne s'en forme pas d'autres.

This electron micrograph shows the strong effect of the radiation dose on the blistering effect. The helium ion bombardment on the niobium target was 17 times greater than in the photo page 26 and the blisters were eroded away. Blister formation then stopped.

INRS - Énergie

sante pour arracher mécaniquement des atomes à la surface des parois des réacteurs à fusion et produire une lente érosion de ces parois. Le taux de pulvérisation par ces ions est assez faible (de 10^{-2} à 10^{-3} atome de métal par ion, selon sa nature et son énergie) mais les flux d'ions dans les réacteurs à fusion seront très grands et les parois des réacteurs devront durer au moins vingt ans pour assurer une bonne rentabilité économique. Il faut donc déterminer ces taux de pulvérisation cathodique pour des métaux réfractaires tels que le niobium en particulier.

Le professeur St-Jacques s'intéresse tout particulièrement à un phénomène connu sous le nom de cloquage (blistering) dans les métaux. Ce cloquage se produit en particulier avec les ions d'hélium qui s'implantent dans les interstices du réseau cristallin des métaux. L'hélium s'agglomère en petites bulles qui soulèvent la surface des métaux et font décoller des fragments. Tel qu'indiqué à gauche, la surface d'une cible de niobium bombardée par de l'hélium se cloque et prend au microscope électronique l'aspect d'une peinture soulevée par l'humidité. Les chercheurs de l'INRS-Énergie ont montré qu'à basse énergie, le bombardement ionique permet la formation d'une première couche de cloques, puis le cloquage s'arrête. Ils s'intéressent aussi à l'effet d'autres paramètres expérimentaux comme le spectre énergétique des ions d'hélium et la température de la cible.

Un autre projet de recherche de l'INRS-Énergie, réalisé conjointement par le professeur Terreault et le Laboratoire de Physique nucléaire de l'Université de Montréal, porte sur une nouvelle méthode permettant de détecter des éléments de faible nombre atomique (de l'hydrogène jusqu'à l'oxygène dans la succession des éléments du tableau périodique) implantés dans des éléments de nombre atomique plus élevé. La méthode permet de tracer le profil d'implantation de l'impureté légère en fonction de

la profondeur dans l'échantillon, et ce de façon quantitative, contrairement à d'autres méthodes de profilage courantes, dont l'interprétation quantitative est délicate. Une application possible et plutôt inattendue de ces travaux a trait à l'étude des météorites qui, grâce aux ions implantés sous leur surface, conservent une quasi-mémoire de leur passage dans l'espace et une histoire de l'univers. Le professeur Terreault entrevoit aussi l'application de cette méthode à la détection du tritium implanté dans les diverses composantes des réacteurs à fission CANDU. Afin de s'assurer que le CANDU n'émet pas de tritium radio-actif dans l'environnement, il importe de savoir où va le tritium produit dans les réacteurs à fission nucléaire.

Certains critiques sont d'avis que le Canada n'a pas les moyens de s'engager dans une entreprise aussi coûteuse que celle de la fusion thermonucléaire contrôlée. A ce sujet, le professeur Terreault soutient qu'un effort canadien, même limité à la solution d'un petit nombre de problèmes technologiques, permet d'assurer aux spécialistes canadiens un niveau d'expertise suffisant pour pouvoir comprendre, évaluer et utiliser les connaissances générées par les recherches internationales en fusion nucléaire.

Les travaux des chercheurs de l'INRS-Énergie de l'université du Québec apportent une contribution valable aux recherches en cours dans le monde pour la mise au point de la fusion thermonucléaire contrôlée. Ils sont un bon exemple de recherche pluridisciplinaire appliquée à la solution des problèmes pratiques qui se posent aux Canadiens. □

Michel Brochu

Insulation breakdown — Probing the problems of power transmission

Failure in an electrical cable generally can be traced to a defect in its insulation. Research has uncovered methods of accelerating the various mechanisms which lead to breakdown, providing the cable manufacturer with a reliable estimate of operational life.

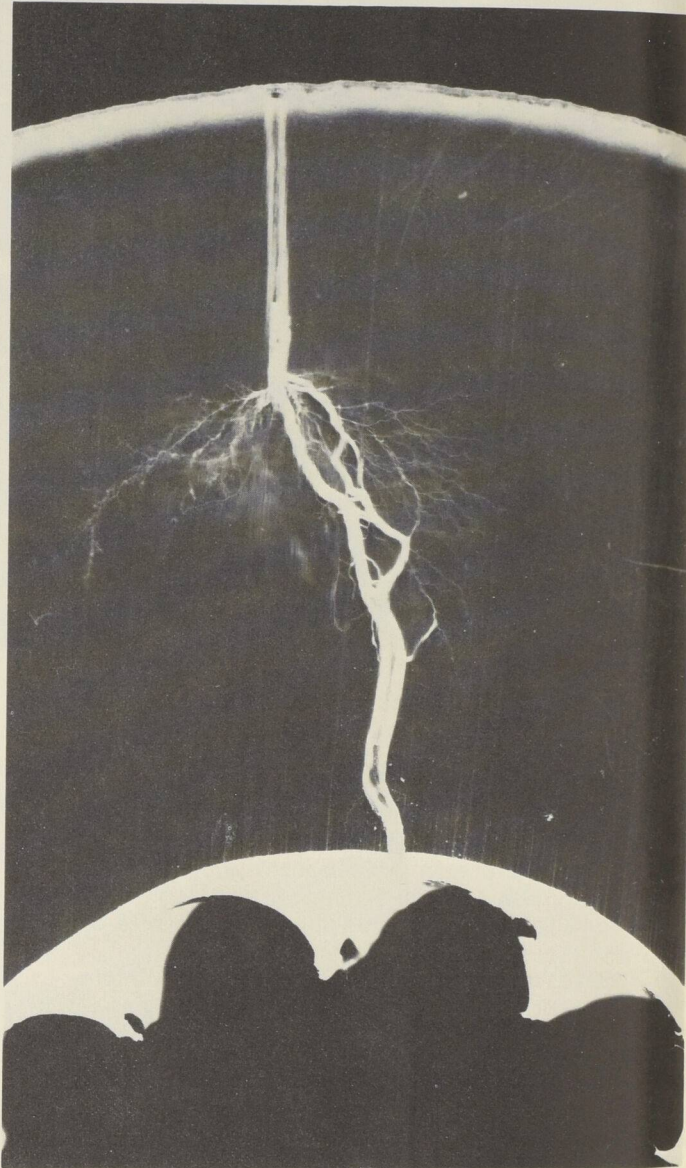
Street lights are extinguished, darkness envelops, the houses are dead; in the factory, machines slow to a halt and a conveyor belt stops. Is it a power cut, a generator break-down or the failure of an electrical cable?

A short circuit within a power cable results not only in economic loss to electrical companies but inconvenience and expense to industry and the general public. The laying of these cables is a costly business involving street excavations and disruption to offices and factories. Once laid, the cable is expected to convey electrical power without maintenance for the next 40 years. This lifetime may have been established for a particular line of power cables, but what is the supplier to do if he wishes to introduce a new manufacturing process or employ new materials? Is he to test his product over a 40-year period before venturing on the market with the confidence that it will perform as the industry demands? Clearly this would be impracticable. Instead, the manufacturer seeks an authoritative test of the lifetime of his cable that can be performed in months rather than years. For this reason, accelerated testing methods for power cable insulation are being developed by Dr. John Densley at the National Research Council of Canada's Division of Electrical Engineering. Dr. Densley has made an extensive study of the properties of solid insulations used in electrical power transmission with the object of designing a series of accelerated tests which will yield an accurate measure of the lifetime of the insulation in a power cable.

A modern power cable consists of a central conductor which carries the high voltage current, covered by insulating material which, in turn, is surrounded by a second conductor responsible for returning the current at low voltage. In cable manufacture, the insulating material (generally composed of cross-linked polyethylene) is extruded in a molten form onto the central copper conductor and it is at this point that defects may develop which can lead to failure several years later.

Any insulation breaks down under sufficiently high electrical stress. Electrical stress occurs when a voltage is applied over a thickness of insulation and increases as the voltage is raised or the thickness of insulation decreased. Each insulating material has a characteristic breaking point at which the electrical stress is so great that the insulation fails and permits the current to short circuit between the central and outer conductor. Modern power cables are capable of withstanding high stresses of many orders of magnitude greater than their normal loadings, up to millions of volts, for short periods of time. But the same cable under normal stresses may break down after only a few years of service. This problem of weakening with aging which occurs in cable insulation has been traced by Dr. Densley to causes that range from defects introduced during manufacture to the effects of the cable's environment.

For example, during the extrusion of the insulation on the central conductor, small voids of gas form. Under normal electrical stresses, sparks can occur within these voids and eat away at the surrounding material. The sparks, or partial discharges, burrow through the insulation at each peak of the 60 hertz (cycles per second) voltage. Total



Division of Electrical Engineering, NRC/Division de génie électrique, CNRC

Insulation breakdown, the result of many hours of electrical stress under test conditions. Partial discharges form at the tip of a metallic needle which has been placed in the insulating material.

Cet isolant a cédé après plusieurs heures de contraintes électriques au banc d'essais. Des décharges partielles se forment à la pointe de l'aiguille métallique qui a été insérée dans le matériau isolant.

breakdown occurs after several years service. The voids, which can be controlled by careful manufacturing processes, continue to be of interest to Dr. Densley. "With

Câbles électriques et isolants défectueux

Les problèmes du transport de l'énergie

C'est généralement à un défaut de l'isolant que l'on peut attribuer les défaillances des câbles électriques. Les chercheurs ont mis au point des méthodes grâce auxquelles le fabricant peut désormais déterminer l'endurance des câbles électriques; elles permettent en effet d'accélérer les divers mécanismes conduisant à ces défaillances.

Les lampadaires sont éteints, la nuit vous enveloppe, les maisons sont silencieuses; à l'usine, les machines ainsi que la bande d'un transporteur, ralentissent et s'arrêtent. Est-ce dû à une panne de courant, à une panne de génératrice ou à la défaillance d'un câble électrique?

Un court-circuit dans un câble à haute tension entraîne non seulement une perte d'argent pour les compagnies d'électricité mais cause également des dérangements et des dépenses à l'industrie et au public en général. La pose de ces câbles est une entreprise coûteuse impliquant le creusement de tranchées dans les rues et des perturbations pour les bureaux et les usines. Une fois posé, on s'attend à ce que le câble transporte l'énergie électrique pendant 40 ans sans nécessiter d'entretien. Supposons qu'un fabricant ait pu déterminer l'endurance d'un type de câbles électriques donné. Que doit-il faire s'il envisage d'introduire un nouveau procédé de fabrication ou d'employer de nouveaux matériaux? Doit-il tester son produit pendant 40 ans avant de pouvoir le lancer sur le marché, certain qu'il remplira les conditions imposées par l'industrie? Ce n'est manifestement pas envisageable. Ce dont il a besoin c'est d'une méthode d'essais homologuée qui lui permette de déterminer l'endurance de son câble en quelques mois au lieu d'années et c'est pour cette raison que le Dr John Densley, de la Division de génie électrique du Conseil national de recherches, procède à la mise au point de méthodes d'essais accélérées de l'isolant des câbles électriques. Le Dr Densley a fait une étude approfondie des propriétés des isolants solides utilisés dans les câbles à haute tension en vue de mettre au point une série de tests accélérés qui permettront d'en déterminer l'endurance avec précision.

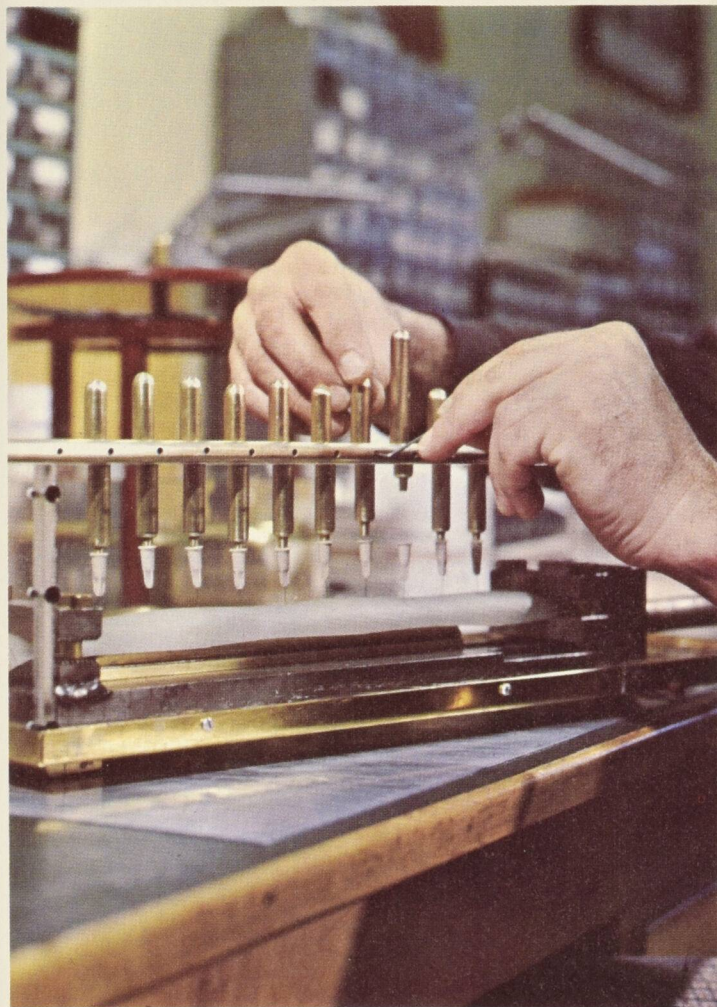
Un câble à haute tension moderne est constitué d'un conducteur central transportant le courant de haute tension et recouvert d'un matériau isolant qui, à son tour, est entouré par un second conducteur assurant le retour du courant de basse tension. Dans la fabrication des câbles, le matériau isolant (habituellement constitué de polyéthylène réticulé) est extrudé sous forme liquide sur le conducteur central en cuivre et c'est à ce moment que les défauts peuvent naître et provoquer une panne plusieurs années plus tard.

N'importe quel isolant perd ses propriétés lorsqu'il est soumis à une contrainte électrique suffisamment élevée. Une contrainte électrique se produit lorsqu'une différence de potentiel est appliquée sur une épaisseur d'isolant et elle augmente à mesure que l'on accroît cette différence de potentiel ou que l'on diminue l'épaisseur de l'isolant. Chaque matériau isolant a un point de défaillance caractéristique où la contrainte électrique est si grande que l'isolant ne joue plus son rôle et qu'il se produit un court-circuit entre les conducteurs central et extérieur. Les câbles à haute tension modernes peuvent résister à des contraintes élevées très supérieures à leurs charges normales, c'est-à-dire à plusieurs millions de volts pendant de courtes durées. Mais l'intégrité du même câble soumis à des contraintes normales peut être affectée après seulement quelques années de service. Le Dr Densley attribue ce problème d'affaiblissement avec l'âge de l'isolant du câble à une

variété de causes allant de défauts apparaissant au moment de la fabrication aux effets de l'environnement du câble.

Cable insulations are tested on this device. High voltage alternating current is applied through needles inserted into the insulation.

Différents isolants de câbles sont testés sur ce dispositif. Un courant alternatif à haute tension est appliqué à l'aide d'aiguilles insérées dans l'isolant.



the shortage of materials becoming acute in the future, we must look to the day when cable insulation is much thinner," Dr. Densley says. "Thinner insulation will give rise to increased electrical stress and we believe that, at some critical value, failure due to microvoids will occur. Microvoids are extremely small cavities which are always present in polymers but, up to now, have not caused electrical problems since normal electrical stresses are insufficient to cause partial discharge. With the possibility of thinner insulations and higher electrical stresses in the future, we are bound to run into problems. Partial discharges in microvoids are very difficult to detect and measure so we are investigating the characteristics of partial discharge in thin insulations in which we have created artificially a known number of microvoids."

Another cause of electrical breakdown is the growth of "electrical trees". An electrical tree begins its life at a point of unusually high stress in an otherwise normally stressed cable. Such a point is associated with any small metallic impurity which has become embedded in the insulation during manufacture. At the tip of this metal sliver, the electrical field exceeds the intrinsic strength of the insulation and a local breakdown takes place. From the rupture that results at the tip of the defect, an electrical tree can grow by the mechanism of partial discharge.

Dr. Densley has investigated the effect of different parameters, such as temperature, voltage, frequency and mechanical stress, upon the processes which lead to insulation breakdown and, with the aid of this data, he is developing reliable accelerated aging tests. As an example, electrical discharge within a void occurs at each peak of a voltage cycle. Normal power transmission takes place at 60 hertz but if a cable is tested at 600 hertz it will age 10 times faster as a result of this destructive mechanism. Additional factors are also considered in such a test, such as application of elevated temperatures and mechanical stresses. In this fashion, a particular cable insulation could be comprehensively tested in six to 10 months.

Despite the care taken in assessing factors that contribute to insulation breakdown, Dr. Densley's research is not without occasional surprises. A cable was brought to him which had been laid in a waterlogged location and failed after only two years in service. Since polyethylene is considered impervious to water, the location was at first ignored until tiny white spots were noticed in sections of the insulation. A more careful examination produced the hypothesis of "water trees" as being responsible for the failure. Under the influence of the electrical stress, water migrates into the insulation and accumulates near impurities. The formation of a microscopic string of water droplets is the first step in a new process of electrical breakdown.

In addition to this program, the projected future of electrical power transmission in North America opens new areas of research for Dr. Densley. The economics of power transmission indicate that cables will operate at extremely low temperatures using superconducting or cryoresistive conductors. These cables are capable of carrying exceptionally high power since the conductors exhibit little or virtually no electrical resistance. Such cables, which are at present in their developmental infancy, represent novel research problems since they must incorporate insulations capable of functioning for many years at temperatures more than 200°C below freezing point. Dr. Densley's laboratory is being geared for research in this new region of extremely low temperatures, a study which will acquaint him with the problems of power transmission of the 21st century. □

David Peat



Canadian Government Photo Center/Centre de photographie du gouvernement canadien

In addition to the ravages of water trees and partial discharges, a power cable must withstand the onslaughts of small animals such as these raccoons.

En plus des ravages occasionnés par les hydroarborescences et les décharges partielles, un câble à haute tension devra résister aux attaques répétées de petits animaux comme ces ratons laveurs.

On a constaté, par exemple, qu'il se forme des bulles de gaz au cours de l'extrusion de l'isolant sur le conducteur central. Dans des conditions de contraintes électriques normales des étincelles peuvent se produire à l'intérieur de ces bulles et détruire le matériau environnant. Les étincelles, ou décharges, érodent l'isolant à chaque pointe de la tension de 60 Hz (cycles par seconde). Une défaillance complète se produit après plusieurs années de service. Les bulles, qui peuvent être évitées par des procédés de fabrication rigoureux, continuent à intéresser le Dr Densley. Laissons-lui la parole: "Avec la pénurie des matériaux qui ne peut aller qu'en s'aggravant, nous devons envisager le jour où l'isolant des câbles sera beaucoup plus mince. Un isolant plus mince donnera naissance à des contraintes électriques plus élevées et nous pensons qu'en atteignant certaines valeurs critiques, des claquages dus à des microbulles se produiront. Ces microbulles sont toujours présentes dans les polymères mais, jusqu'à maintenant, elles n'ont pas causé de problèmes électriques étant donné que les contraintes électriques normales sont insuffisantes pour entraîner des décharges partielles. Avec la perspective d'isolants plus minces et de contraintes électriques plus élevées à l'avenir des problèmes sont à prévoir. Il est très difficile de détecter et de mesurer

les décharges partielles dans les microbulles et c'est pourquoi nous en étudions les caractéristiques dans les isolants de faible épaisseur où nous avons créé un nombre connu de microbulles artificielles."

L'apparition "d'arborescences électriques" est une autre cause de panne électrique. Une arborescence électrique apparaît à un point de contrainte anormalement élevée dans un câble soumis par ailleurs à des contraintes normales. Ce point de contrainte a pour origine une impureté métallique quelconque qui a été noyée dans l'isolant au moment de la fabrication. A l'extrémité de cette parcelle de métal, le champ électrique dépasse la résistance structurale de l'isolant et une dégradation locale se produit. Par le mécanisme de la décharge partielle, une arborescence électrique se développe à partir de la rupture qui se produit à l'extrémité du défaut.

Le Dr Densley a étudié l'effet de différents paramètres comme la température, la tension, la fréquence et les contraintes mécaniques sur les processus qui conduisent à la défaillance de l'isolant et, à partir de ces données, il met actuellement au point des tests fiables de vieillissement accéléré. On sait, par exemple, qu'une décharge électrique à l'intérieur d'une bulle se produit à chaque pointe du cycle d'un courant d'une tension donnée. L'énergie électrique est normalement transportée à 60 Hz mais si un câble est testé à 600 Hz il vieillira 10 fois plus vite par suite de ce mécanisme destructeur. Dans ce genre d'essais, on tient également compte d'autres facteurs comme, par exemple, l'application de températures et de contraintes mécaniques élevées. De cette manière, un isolant de câble pourrait être testé exhaustivement en six à dix mois.

En dépit du soin apporté à l'évaluation des facteurs qui contribuent aux défauts d'isolement, les recherches du Dr Densley réservent parfois des surprises. On lui a un jour apporté un câble qui, ayant été posé dans un terrain saturé d'eau, présentait des défauts après seulement deux années de service. Le polyéthylène étant considéré comme imperméable, on n'avait tout d'abord pas accordé d'importance au terrain d'où provenait le câble jusqu'à ce que l'on note la présence de minuscules taches blanches dans certaines sections de son isolant. Un examen plus minutieux devait conduire à l'hypothèse que les "hydro-arborescences" étaient à l'origine des défauts. Sous l'influence des contraintes électriques, l'eau pénètre dans l'isolant et s'accumule près des impuretés. La formation d'une chaîne microscopique de gouttelettes d'eau est la première étape d'un nouveau processus de panne électrique.

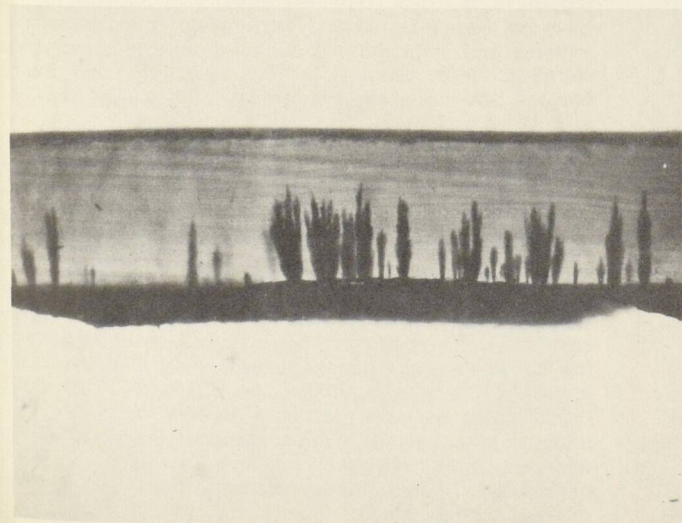
A part ce programme, les projets d'avenir en matière de transport d'énergie électrique en Amérique du Nord ouvrent de nouvelles perspectives de recherche au Dr Densley. On a calculé que pour transporter l'énergie électrique économiquement, il faudra avoir recours à des câbles qui travailleront à des températures extrêmement basses faisant appel à des câbles supraconducteurs ou cryorésistants. Ces câbles peuvent transporter un courant de tension exceptionnellement élevée étant donné que la résistance électrique des conducteurs est pratiquement nulle. De tels câbles, qui ne sont actuellement qu'au stade du développement, présentent de nouveaux problèmes de recherche du fait que leurs isolants devront remplir leur fonction pendant de nombreuses années à des températures inférieures à -200°C . Le laboratoire du Dr Densley se prépare aux recherches dans ce nouveau domaine des températures extrêmement basses, recherches qui lui permettront de se familiariser avec les problèmes du transport de l'énergie électrique du 21^{ème} siècle. □

Texte français: **Claude Devismes**

In this magnified cross section of cable insulation several poplar-like water trees can be seen.

Cette coupe transversale agrandie d'un isolant de câbles montre des hydroarborescences ressemblant à des peupliers.

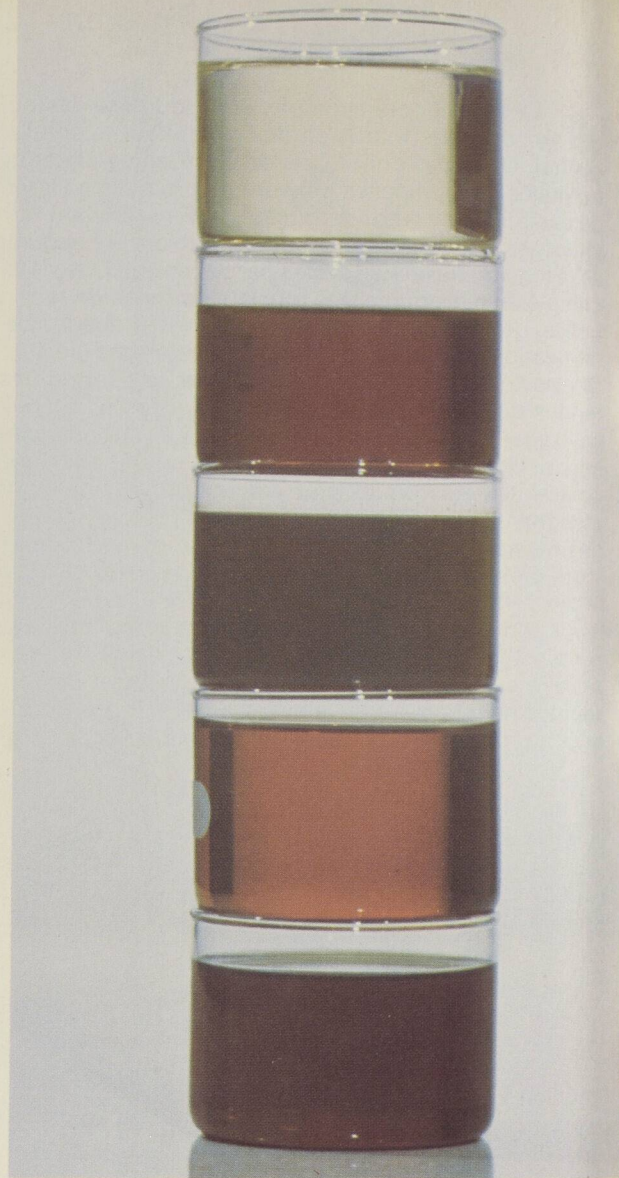
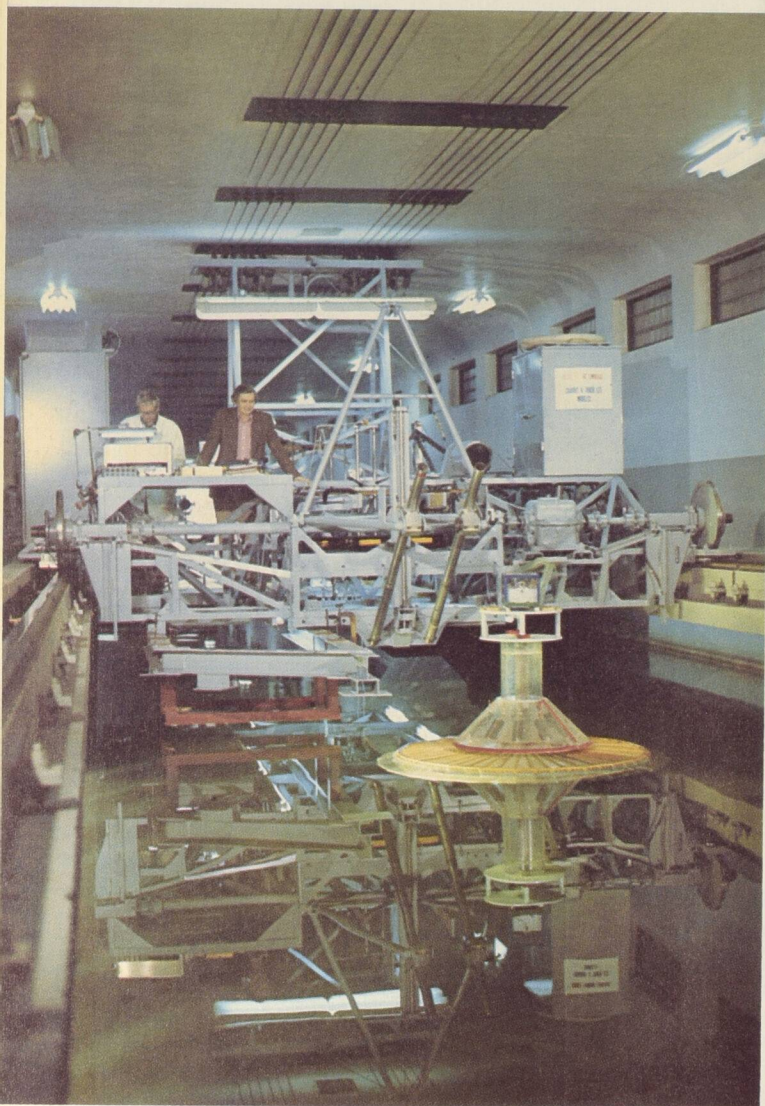
Division of Electrical Engineering, NRC/Division de génie électrique, CNRC



In brief | En bref

Future Canadian energy demands will necessitate increasing exploitation of off-shore oil fields. Here, a model of a novel type of monopod oil drilling rig, designed for operation in Arctic waters, undergoes towing tests in the testing tank of NRC's Marine Dynamics and Ship Laboratory.

A cause des besoins futurs du Canada en énergie, il faudra exploiter davantage les champs pétrolifères sous-marins. Cette figure illustre une maquette d'un nouveau type de plate-forme de forage monopode, conçue pour être utilisée dans l'océan Arctique, en cours d'essais de touage dans le bassin d'essai du Laboratoire d'hydrodynamique et de construction navale du CNRC.

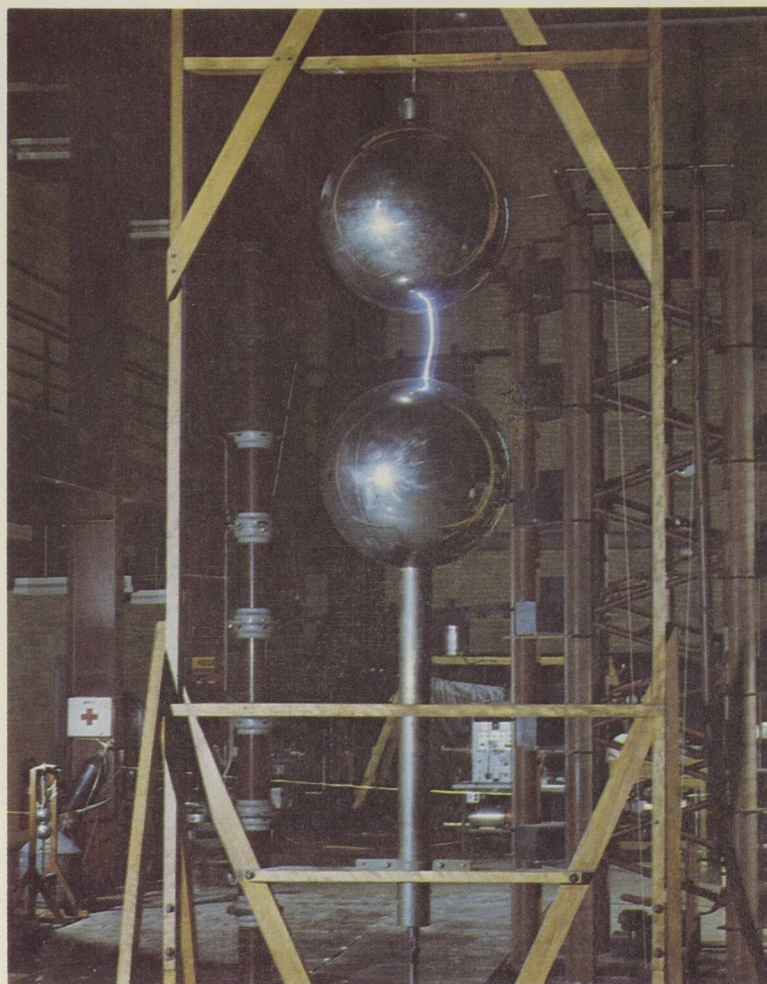
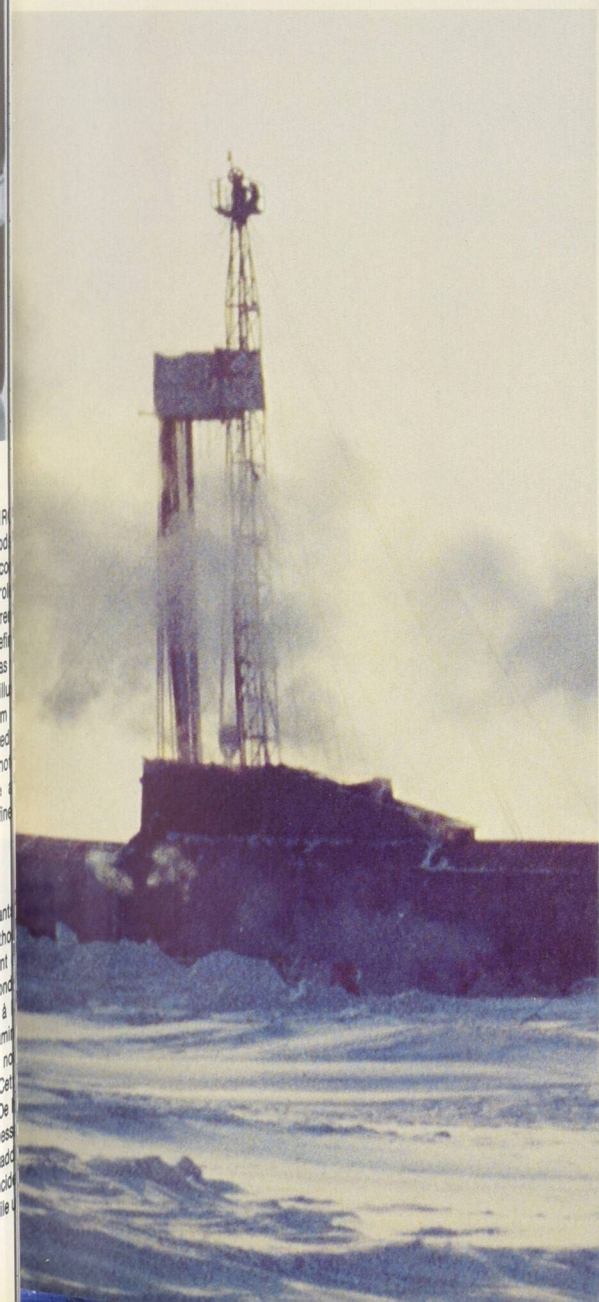


The Fuels and Lubricants Laboratory in NRC's Division of Mechanical Engineering is investigating methods of re-refining used lubricating oils, procedures which will become of progressively greater significance as the world's petroleum resources decrease. Used motor oil is acid treated to remove additives and contaminants and the resulting "re-refined" base oil receives additive treatment (in the same way as virgin base oil appropriate to its intended application). The illustration shows the life history of a re-refined motor oil. From the top: virgin base oil; engine-tested and warranty-approved motor oil formulated from virgin oil and additives; used motor oil; base oil re-refined from used motor oil, using the acid treatment process; and motor oil formulated from re-refined base oil and an additive package.

Le Laboratoire des combustibles et lubrifiants de la Division de génie mécanique du CNRC étudie des méthodes de recyclage des huiles usées, méthodes qui assumeront de plus en plus d'importance à mesure que les ressources mondiales en pétrole diminueront. Les huiles usées sont traitées à l'acide pour en déplacer les additifs et les produits de contamination et ce qui reste est raffiné à nouveau pour recevoir de nouveaux additifs (de la même manière que les huiles neuves). Cette figure illustre la "vie" d'une huile de moteur ainsi traitée. De haut en bas: de l'huile vierge de base; de l'huile garantie, essayée dans des moteurs et constituée d'huile vierge et d'additifs; de l'huile usée; de l'huile usée après traitement à l'acide; et, de l'huile prête à être réutilisée, fabriquée à partir d'huile usée recyclée et d'une gamme d'additifs.

La Division des recherches en bâtiment a procédé récemment des recherches dans l'Arctique sur l'utilisation de plates-formes de glace comme support d'équipement, concept que le NRC avait déjà étudié au cours de la Deuxième Guerre mondiale. Les scientifiques du CNRC ont travaillé en étroite collaboration avec une compagnie d'ingénieurs-conseil pour valider la résistance à la charge de plates-formes utilisées comme support en surface d'installations de forage pour la prospection pétrolière sous-marine. Ces plates-formes, créées par le pompage d'eau de mer sur la couverture de glace distante (où elle gèle en en augmentant l'épaisseur), ont été étudiées pour améliorer les méthodes appliquées à leur conception et les méthodes de contrôle de leur comportement.

The use of ice platforms for supporting equipment, a concept first considered by NRC during World War II, has been the subject of recent research in the Arctic by the Division of Building Research. NRC scientists have worked closely with a firm of consulting engineers in a study of the load-bearing performance of platforms used to support drill rigs on the surface for undersea oil exploration. These platforms, created by pumping seawater onto the existing ice cover (where it freezes, thereby increasing the thickness), were studied to improve the basis for their design and methods of monitoring their behavior.



Chaque année, la foudre cause de lourds dégâts aux réseaux électriques. Aux laboratoires de la Division de génie électrique, on produit des décharges électriques très brèves et de grande intensité. Elles permettent de mettre à l'essai les isolateurs, les commutateurs, les transformateurs et les autres composantes de notre réseau électrique national. De tels essais facilitent l'établissement de normes de l'amélioration du matériel électrique.

Each year lightning strikes cause expensive damage to electrical power transmission systems. In the laboratories of the Division of Electrical Engineering, intense electrical impulses can be produced for short durations. These are used in the testing of insulators, switches, transformers and other components of our national energy system. Tests like these aid in the establishment of standards and the improved design of power equipment.

Anaerobic digestion — A foul and pestilent congregation of vapors

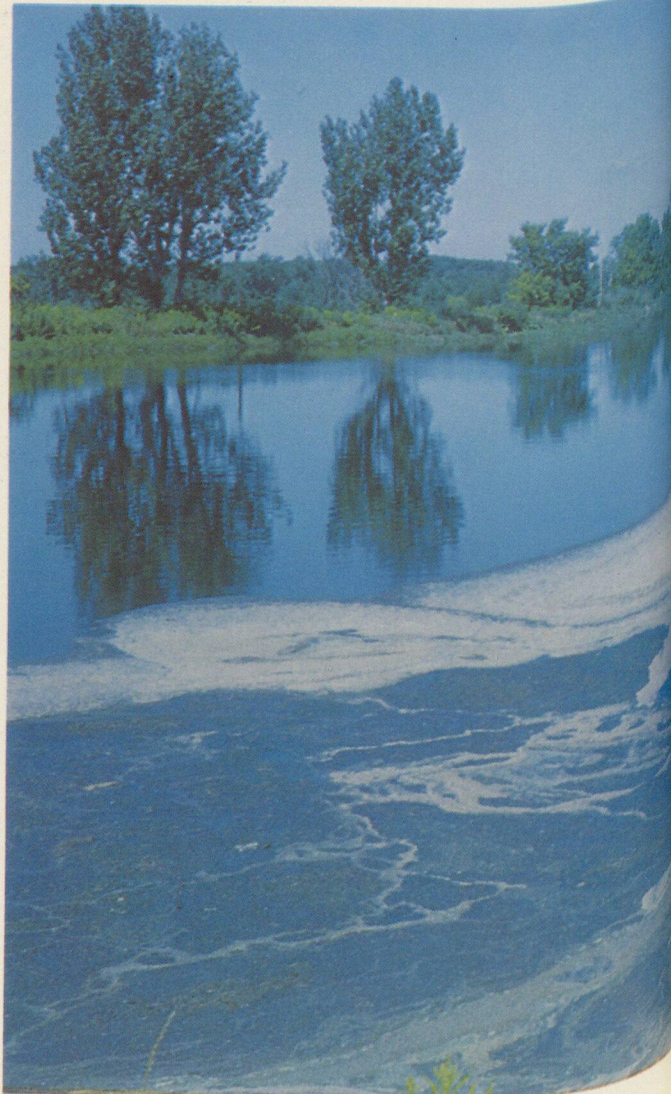
Anaerobic fermentation of organic materials, producing methane gas, occurs spontaneously in marshes and lake bottoms. NRC scientists are investigating the microbiology of the process in an effort to accelerate the operation of anaerobic fermenters (digesters) which not only provide a satisfactory method of organic waste handling, but also produce as a by-product, a valuable fuel — methane gas.

It can be a long time before the impact of fundamental research is felt by society. In addition, the practical results of that research, as society experiences them, often appear to be but tenuously linked to the original work. To take one example: it is a long way from certain areas of the NASA space program to the non-stick fry pan. It is, then, interesting to encounter a fundamental research program whose practical applications are of immediate significance in two areas of considerable social and economic importance.

Such a program is being pursued by the Food Technology Section of the National Research Council's Division of Biological Sciences in the form of an investigation of the microbiology of anaerobic digestion — that is, the conversion of organic materials to methane and carbon dioxide in the absence of oxygen. The anaerobic digestion process, used in three out of four municipal sewage treatment plants in North America, can, under optimum conditions, convert about half of the organic waste load in raw sewage into methane and carbon dioxide. It is also used on a limited scale for some agricultural and industrial wastes (for example manures). Anaerobic digestion therefore is a valuable waste treatment process which, in addition to producing a residue that can form an excellent fertilizer or a good source of single cell protein for use in feed, yields a valuable by-product, methane, a usable and versatile form of energy and the major component of natural gas. As such, the process has potential as a renewable source of energy from many biological materials, including wastes, and it may provide an important source of portable fuel to augment the dwindling reserves of fossil fuels.

NRC's involvement started several years ago when the Food Technology Section, headed by Mr. Peter Lentz, became interested in food processing wastes as an extension of its research program in the food area. "Liaison on an Industrial Research Assistance Program project," Mr. Lentz says, "emphasized to us the need for methods of treatment of the strong wastes often occurring in canneries as a result of peeling and blanching. Many plants are located in or near small communities with limited waste treatment facilities and such facilities cannot handle the waste load produced by the plant. Anaerobic digestion appeared to be a promising treatment for many of these strong wastes to reduce their strength to levels where other treatment methods could handle them."

The work started with the treatment of pear peeling waste, one of the more difficult wastes for industry to handle, and was later extended to include potato and beet peeling waste, bean blanching waste and rum stillage waste. Studies were made not only to determine the extent of "clean-up" possible but also to maximize the capacity of the equipment in terms of volume of waste added and quantity of organic materials digested per day per unit volume of digester or fermenter. These latter factors determine capital costs and figure largely in the economics of the process. In addition, the minimum amount of nutrients, such as nitrogen and phosphate, required for maximum overall performance was determined, since the cost of these nutrients also affects the economics of the process.

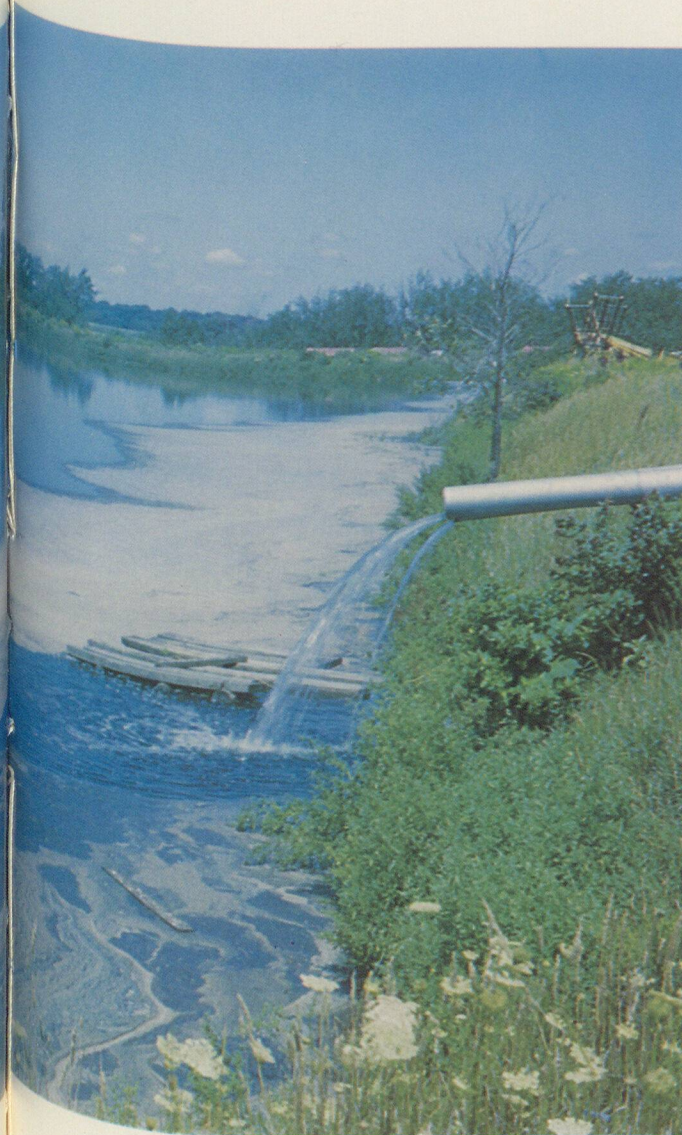


C.P. Lentz

Lagoon of the type commonly used in the treatment of food processing plant wastes.

Un festival de vapeurs pestilentielles et nauséabondes La digestion anaérobie

La fermentation anaérobie des substances organiques, fermentation méthanogène, intervient spontanément dans les marais et sur le fond des lacs. Les chercheurs du CNRC étudient la microbiologie du processus en vue d'accélérer le travail des fermenteurs anaérobies (digesteurs) dont l'emploi permet de traiter de façon satisfaisante des déchets organiques et d'obtenir ce précieux sous-produit combustible qu'est le méthane.



Bassin artificiel du type habituellement utilisé pour traiter les effluents des usines de produits alimentaires.

Il s'écoule parfois de nombreuses années avant que l'impact de la recherche fondamentale soit ressenti par la société. Il faut également ajouter que les résultats pratiques de cette recherche, tels que les perçoit ladite société, apparaissent souvent n'avoir qu'un très lointain rapport avec les travaux originaux car, en effet, pour ne citer qu'un exemple, qui pourrait établir un lien entre certaines recherches entreprises dans le cadre du programme spatial de la NASA et la poêle à frire qui n'attache pas? C'est pourquoi il est intéressant de parler d'un programme de recherches fondamentales dont les résultats conduisent à des applications ayant une incidence immédiate sur deux domaines d'une importance sociale et économique considérable.

Il s'agit du programme auquel se sont attaqués les chercheurs de la section de technologie alimentaire de la Division des sciences biologiques du Conseil national de recherches pour arracher les secrets de la digestion anaérobie, c'est-à-dire de la transformation, en l'absence d'oxygène, de substances organiques en méthane et en gaz carbonique. La digestion anaérobie, utilisée par 75% des stations d'épuration d'Amérique du Nord peut, dans des conditions optimales, transformer environ la moitié de la charge organique des effluents résiduels en méthane et en gaz carbonique. Elle est également utilisée sur une échelle réduite pour certains déchets agricoles et industriels comme, par exemple, le fumier. La digestion anaérobie est par conséquent un procédé intéressant de traitement des déchets qui donne non seulement des matières résiduelles pouvant constituer un excellent engrais ou une bonne source de protéines unicellulaires utilisables comme provendes mais également un précieux sous-produit, le méthane, principal composant du gaz naturel et forme d'énergie caractérisée par sa souplesse d'emploi. De ce fait, le processus pourrait être utilisé comme source renouvelable d'énergie à partir de nombreuses substances biologiques dont les résidus, et constituer une importante source de combustibles transportables pour compenser partiellement l'épuisement des réserves de combustibles fossiles.

Le CNRC a commencé à s'intéresser à ces questions il y a quelques années lorsque la section de technologie alimentaire, dirigée par M. Peter Lentz, a décidé d'étudier les résidus provenant d'usines de produits alimentaires, dans le cadre d'un élargissement de son programme de recherche sur les aliments. Laissons la parole à M. Lentz: "C'est en assurant la liaison pour un projet relevant du Programme d'aide à la recherche industrielle que la nécessité nous est apparue de trouver des méthodes pour traiter les résidus chargés que l'on trouve fréquemment dans les conserveries et qui résultent des opérations d'épluchage et de blanchiment. De nombreuses usines sont situées dans ou près de petites agglomérations ne disposant que d'installations d'épuration dont la faible capacité interdit le traitement des résidus industriels. La digestion anaérobie nous a semblé constituer un moyen prometteur pour réduire la teneur en matières organiques d'un large éventail de résidus à des valeurs rendant possible leur traitement par d'autres méthodes."

These initial experiments, which were done by Mr. Bert van den Berg, Mr. Lentz and Mr. Lawrence Roth, yielded useful information for the design and operation of an industrial process and also identified major general problems. These problems were not caused by the specific wastes or equipment used but appeared to be inherent in the process regardless of the waste material.

The main problem was long-term instability and hence lack of reproducibility and control. "Even under closely controlled uniform conditions in the laboratory, fermenters (digesters) would, after months of top performance, suddenly decrease in capacity and methane formation, accumulate acids and go 'sour'," says Mr. van den Berg. "Only reinoculation from an active digester, preferably a municipal sewage digester, would usually bring the fermenter back to top performance." This decrease in capacity and the need for reinoculation could also be induced by overloading fermenters, by temporary exposure to air, by starvation for several months and by changes in nutrients present. Apparently the microbiological population of anaerobic digesters is easily upset and it appears that the bacteria producing methane from acetic acid are first to be affected since this acid accumulates rapidly in an upset digester. This instability is also fairly common in municipal sewage digesters, often attributed to operator error, toxic substances or overloading.

Since anaerobic digestion is ubiquitous, for example in swamps and lake bottoms, without apparent instability and need for reinoculation, the question arises as to why this problem occurs in artificial digesters. A possible explanation may be that anaerobic digestion in swamps and lake bottoms, and also in many older municipal digesters operating without apparent problems, occurs at a very slow rate. In the case of the older digesters, the slow rate of operation, combined with a comparatively large volume, meant that the liquid retention time was always more than 50 days. Apparently under those conditions the bacteria involved in the digestion process could cope very well.

The problem appears to arise when the process is speeded up to improve the economics. For example, in NRC's studies, capacities and volume through-put were pushed up to the point where liquid retention time was reduced to two days.

In anaerobic digesters, many types of microorganisms are involved in breaking down complex organic compounds into methane and carbon dioxide. The bacteria that produce methane can only use hydrogen, carbon dioxide, acetic acid and possibly other simple organic components as substrate. Other bacteria, therefore, have to break down more complex compounds such as cellulose, proteins, fats and sugars. The fact that acetic acid accumulates in upset fermenters indicates that the bacteria involved in the conversion of acetic acid to methane are not working properly. In a well-performing digester, these bacteria are responsible for one-half to two-thirds of the methane produced. Obviously, a major part of the solution to the problem of instability is to keep these bacteria in a happy condition, although other factors and bacteria may also play a role.

Unfortunately, and in spite of their obvious importance, few bacteria producing methane from acetic acid have been isolated and little is known about their characteristics and requirements. It is known that they grow slowly in digesters — it takes them up to 10 days, and sometimes possibly longer, to double their number. This fact alone explains why it is necessary to add only relatively small volumes of waste to a digester (less than one-tenth of the digester volume per day) to avoid washing them out faster than they grow.



Spray irrigation system used for food waste treatment.

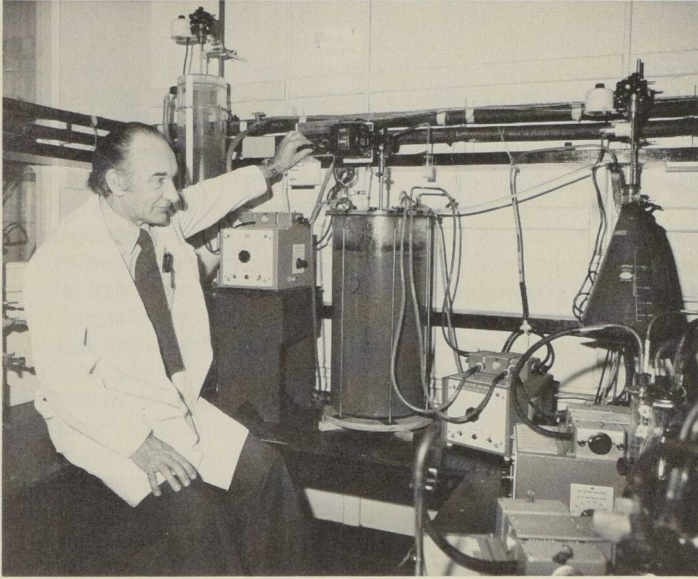
Système de pulvérisation servant à traiter les déchets de produits alimentaires.

Les travaux ont commencé avec les épluchures de poires dont le traitement représente pour l'industrie l'un des plus difficiles problèmes à résoudre et ils ont été ultérieurement étendus aux pelures de pommes de terre et de betteraves, aux résidus du blanchiment des haricots et à ceux de la distillation du rhum. Les études entreprises visaient non seulement à déterminer les résultats que l'on pouvait escompter sur le plan du "nettoyage" mais également à maximaliser le rendement du matériel en fonction de l'augmentation du volume des résidus et de la quantité de matières organiques digérées quotidiennement par unité de volume du digesteur. Ces derniers facteurs permettent de calculer les investissements nécessaires et sont des éléments importants de la rentabilité du procédé. On a aussi calculé la quantité minimale de substances nutritives nécessaires, comme l'azote et le phosphate, pour obtenir un rendement global maximal, étant donné que le coût de ces substances nutritives affecte également la rentabilité du procédé.

Ces essais initiaux, faits par M. Bert van den Berg, M. Lentz et M. Lawrence Roth, ont permis de recueillir les données indispensables à la conception et à l'exploitation d'un processus industriel et d'identifier des problèmes majeurs généraux. Ces problèmes n'étaient pas liés aux résidus ou à l'équipement utilisé et semblaient inhérents au processus quel que soit le résidu traité.

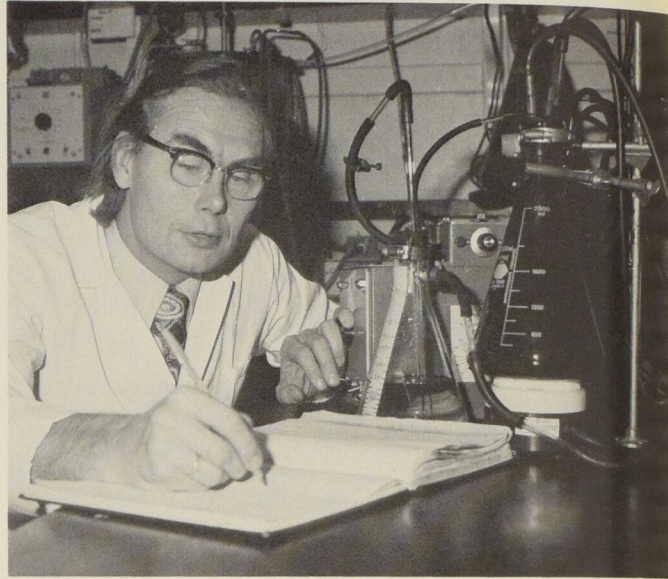
Le principal problème qu'il a fallu résoudre était lié à l'instabilité à long terme du processus et conséquemment à l'impossibilité de le reproduire et de le contrôler. Écoutons M. van den Berg: "Même dans des conditions de contrôle serrées de laboratoire et après quelques mois de rendement maximum, les fermenteurs (digesteurs) accusaient une diminution soudaine de capacité et une baisse de production de méthane, accompagnées d'une augmentation des acides conduisant à l'acescence. On ne pouvait généralement rétablir le rendement maximal du digesteur qu'au moyen d'une réinoculation de substances prélevées dans un digesteur actif et de préférence dans un digesteur servant au traitement des eaux-vannes municipales." Cette réduction de capacité et la nécessité de procéder à des réinoculations pouvaient également être induites par une surcharge des fermenteurs, par une exposition temporaire à l'air, par arrêt de l'alimentation pendant plusieurs mois et par des changements dans les substances nutritives présentes. Il semble que la population micro-biologique des digesteurs anaérobies soit facilement perturbée et que les bactéries produisant du méthane à partir d'acide acétique soient les premières affectées du fait que cet acide s'accumule rapidement dans un digesteur perturbé. Cette instabilité est également assez courante dans les digesteurs utilisés pour traiter les effluents municipaux et elle est souvent attribuée à une erreur humaine, à des substances toxiques ou à une surcharge.

Compte tenu de l'omniprésence de la digestion anaérobie comme, par exemple dans les marais et sur le fond des lacs, sans instabilité apparente et nécessité de réinoculation, la question se pose de savoir pourquoi ce problème surgit dans les digesteurs artificiels. La réponse se trouve peut-être dans le fait que la digestion anaérobie dans les marais et les lacs comme dans de nombreux digesteurs municipaux de modèle ancien fonctionnant sans problèmes apparents, a lieu très lentement. Dans le cas des anciens modèles de digesteurs, la lenteur de leur fonctionnement, combinée à un volume relativement important, signifiait que la durée de rétention du liquide était toujours supérieure à 50 jours. Il semble donc que, dans ces conditions, les bactéries participant au processus de digestion n'étaient pas affectées.



Mr. Peter Lentz checks the operation of one of the larger digesters. Originally used in the laboratory's work on pear-waste treatment, the digester is now used as a source of inoculum for more basic studies.

M. Peter Lentz surveille le fonctionnement de l'un des gros digesteurs. Utilisé initialement pour les travaux du laboratoire sur le traitement des déchets de poires, il sert maintenant de source d'inoculum dans le cadre d'études plus fondamentales.



Mr. Bert van den Berg with a digester used in the isolation of methanogenic bacteria.

M. Bert van den Berg, à côté d'un digesteur utilisé pour isoler les bactéries méthanogènes.

Recently, a way has been found to get around this in some measure by a modification of conventional anaerobic digestion called the "anaerobic contact process". This modified process was used in the NRC studies. In it, the bacteria in the liquid leaving the fermenter are encouraged to flocculate (form into clumps) and to settle, and these settled bacteria are returned to the fermenter. This makes the process less dependent on the growth rate of the bacteria and therefore more stable. But as tests under rigidly controlled laboratory conditions showed, even then the instability is not eliminated although the feed rate is much higher.

Obviously, therefore, progress in further development of anaerobic digestion as a reliable and economic method of waste disposal and energy production is being stymied by a lack of fundamental knowledge of the bacteria converting acetic acid to methane. To obtain this knowledge, it is necessary to isolate these bacteria in pure culture and to find out how to feed and care for them. Once that is done, it should be possible to produce a reliable high rate digestion process, maximizing the yield of methane. This NRC scientists have set out to do.

"We know this is not going to be an easy task," Mr. van den Berg states. "The group has so far isolated several methane formers, but in isolation they do not appear to use acetic acid to produce methane." Because the acetate-using bacteria appear to be slow growers, they tend to be overgrown by others, making isolation difficult. The development of a growth medium preferred by them would aid in their isolation. The fact that many people in various parts of the world have worked on this problem without solving it gives some indication of the difficulty of the task. At present,

all of the Food Technology group (including Dr. Dave Clark, Dr. Waheed Khan and Dr. Girish Patel) are involved, calling on expertise outside the group as required. Techniques developed in recent years in handling strict and fastidious anaerobic microorganisms, and expertise developed already in the group, have increased the chances of success.

There are other aspects of the anaerobic digestion process that require study. Flocculation and settling difficulties, in the anaerobic contact process already mentioned, need clarification. In addition, efficient use of the process for garbage, manures and other agricultural wastes requires a faster and more complete breakdown of cellulose. Both these problems are being studied at NRC.

The program of the Food Technology Section on anaerobic digestion is an element of NRC's participation in the Federal Government's Task Force on Energy Research and Development. Of course, energy and waste treatment are closely related. In fact, because of rising energy costs several municipal treatment plants are changing from energy-demanding chemical and physical sewage sludge disposal methods to the energy-yielding anaerobic digestion process. Also, the most promising methods at present considered for treating manures from feedlots and other concentrated animal-raising enterprises include anaerobic digestion to produce both energy and an acceptable end product for use as feed or fertilizer. Therefore, there is little doubt that given a solution to the problems associated with it at present, anaerobic digestion will provide society with a means of not only avoiding fouling its own nest but also extending its energy resources. □

David Mosey

Le problème surgirait lorsque l'on accélère le processus pour en améliorer la rentabilité. Dans le cas des études faites par le CNRC, les capacités et le volume des substances traitées ont été poussés jusqu'à ce que la durée de rétention du liquide n'excède pas deux jours.

Dans les digesteurs anaérobies, de nombreux types de micro-organismes participent à la dégradation de composants organiques complexes en méthane et en gaz carbonique. Les bactéries méthanogènes ne peuvent utiliser comme substrat que l'hydrogène, le gaz carbonique, l'acide acétique et peut-être d'autres composants organiques simples. D'autres bactéries doivent par conséquent dégrader des composés plus complexes comme la cellulose, les protéines, les graisses et les sucres. Le fait que l'acide acétique s'accumule dans les fermenteurs ayant été soumis à une perturbation indique que les bactéries responsables de la transformation de l'acide acétique en méthane remplissent mal leur rôle. Dans un digesteur fonctionnant bien, ces bactéries fabriquent de la moitié aux deux tiers du méthane produit. La solution du problème de l'instabilité réside donc manifestement en majeure partie dans le maintien de conditions favorables aux bactéries, bien que d'autres facteurs et d'autres bactéries puissent également jouer un rôle.

Malheureusement, et malgré leur évidente importance, peu de bactéries produisant du méthane à partir de l'acide acétique ont été isolées et l'on connaît peu de choses sur leurs caractéristiques et leurs besoins. On sait toutefois qu'elles se multiplient lentement dans les digesteurs puisqu'il leur faut au moins 10 jours pour doubler leur nombre. Ce seul fait explique pourquoi il faut n'introduire quotidiennement que de relativement faibles quantités supplémentaires de matières résiduelles dans un digesteur (représentant moins du dixième du volume du digesteur) pour éviter que les bactéries ne soient évacuées plus vite qu'elles ne se multiplient. On a récemment trouvé le moyen de pallier, dans une certaine mesure, cet inconvénient par une modification de la digestion anaérobie conventionnelle que l'on a appelée "procédé de contact anaérobie". Dans ce procédé modifié utilisé par le CNRC dans ses études, les bactéries se trouvant dans le liquide sortant du fermenteur sont incitées à flocculer, c'est-à-dire à s'agglutiner et à se déposer, puis elles y sont réintroduites. Le processus est ainsi moins tributaire de la vitesse de multiplication des bactéries et par conséquent plus stable. Mais, comme l'ont montré les essais faits en laboratoire sous conditions sévèrement contrôlées, l'instabilité n'est pas pour autant éliminée quoique la vitesse d'alimentation est beaucoup plus élevée.

Il apparaît donc clairement que l'amélioration de la digestion anaérobie comme méthode fiable et rentable d'élimination des déchets et de production d'énergie est entravée par un manque de connaissances fondamentales sur les bactéries qui sont à la base de la transformation de l'acide acétique en méthane. Pour obtenir ces connaissances fondamentales, il faut isoler ces bactéries dans une culture

pure et apprendre à les alimenter et à les soigner convenablement. Après quoi, on devrait pouvoir obtenir un processus de digestion très rapide et fiable avec une production maximale de méthane. C'est l'objectif que se sont fixés les scientifiques du CNRC.

Écoutons encore M. van den Berg: "Nous savons que la tâche ne va pas être facile. Le groupe est jusqu'ici parvenu à isoler plusieurs bactéries méthanogènes mais dans ces conditions elles ne semblent pas se servir d'acide acétique pour produire du méthane." Du fait du lent développement apparent des bactéries utilisant l'acétate, elles ont tendance à se laisser inonder par les autres, rendant l'isolation difficile. La mise au point d'un milieu de culture idéal faciliterait leur isolation. Sachant qu'un grand nombre de chercheurs du monde entier ont travaillé sur ce problème sans parvenir à le résoudre, on peut mesurer les difficultés de la tâche. L'ensemble des chercheurs de la section de technologie alimentaire, y compris le Dr Dave Clark, le Dr Waheed Khan et le Dr Girish Patel, s'y sont attelés tout en faisant parfois appel à des experts de l'extérieur. Les techniques mises au point au cours de ces dernières années pour manipuler des micro-organismes anaérobies exigeants et délicats, et l'expertise acquise par le groupe, ont augmenté les chances de succès.

Il existe d'autres aspects du processus de digestion anaérobie qu'il faut étudier. Les problèmes liés à la floculation et au dépôt, dans le cas du procédé de contact anaérobie déjà mentionné, ont besoin d'être élucidés. Par ailleurs, l'utilisation efficace du processus pour les ordures, le fumier et d'autres déchets agricoles exige une dégradation rapide et plus complète de la cellulose. Le CNRC étudie actuellement ces deux problèmes.

Le programme de la section de technologie alimentaire sur la digestion anaérobie est un élément de la participation du CNRC aux travaux du Groupe de travail sur la recherche et le développement énergétiques. L'énergie et le traitement des résidus sont évidemment étroitement liés. C'est en fait par suite de l'augmentation des coûts dans le secteur énergétique que plusieurs stations de traitement municipales passent des méthodes de traitement chimique et physique des résidus consommatrices d'énergie au processus de digestion anaérobie productrice d'énergie. C'est la raison pour laquelle la digestion anaérobie figure au nombre des méthodes prometteuses actuellement envisagées pour traiter le fumier provenant des parcs d'embauche et d'autres entreprises d'élevage intensif en vue d'obtenir à la fois de l'énergie et un sous-produit utilisable comme provende ou comme engrais. Il est donc quasiment certain que lorsque les problèmes inhérents au processus auront été résolus, la digestion anaérobie donnera à la société non seulement le moyen de prévenir la pollution de son propre berceau mais également de nouvelles ressources énergétiques. □

Texte français: **Claude Devismes**

Isotope shifts — Target: enrichment

The use of laser energy to separate isotopes has stimulated great research interest both in Canada and abroad.

Isotopes are the identical twins of the periodic table, equivalent forms of the same chemical elements differing only in their weights. But because they undergo chemical reactions almost identically, isotopes can be as hard to separate as Siamese twins.

The simplest examples are atoms of hydrogen and its counterpart deuterium, a heavier isotope holding one extra neutron in its nucleus. Although deuterium can be found in nature, it is outnumbered by hydrogen in the ratio of 6,700 to one.

Perhaps the most familiar compound of deuterium is D_2O , or heavy water, the important moderator characteristic of Canada's CANDU nuclear reactors. In these systems, fast moving neutrons are slowed down by D_2O to speeds at which they react best with uranium. In 1940, the world's total supply of heavy water amounted to less than 440 lbs (200 kg). By 1943, a distinguished team of European scientists, specialists in heavy water research, had joined the Anglo-Canadian nuclear project organized by the National Research Council in Montreal. Within the next few years, the foundation of Canada's future nuclear program would be built on the base of heavy water.

"Today, it is the lifeblood of our nuclear technology," says Dr. Robert Back of the Photochemistry Section at NRC's Division of Chemistry. "It has been estimated that in Ontario alone up to \$20 billion will be spent for D_2O production between now and the year 2000."

With this scale of investment on the horizon, energy planners would welcome any development able to improve on present-day means of producing D_2O .

By the current process, the deuterium content of water is progressively enhanced in a series of chemical exchanges between H_2O and H_2S , hydrogen sulphide. The final enrichment, to 99.7 per cent D_2O , is attained only after distillation.

A different approach to isotope separation, using laser light, is now being studied at NRC's Division of Chemistry. Photochemical Isotope Enrichment (PIE) may add a new dimension to heavy water production in the future.

"Right now, we are dealing with the fundamental aspects

of the technique," explains Dr. Back. "On a larger scale, photochemical processes are still rather expensive to run, although costs in the future will likely come down as lasers are further improved."

The PIE approach may open the door to clean and rapid enrichment of isotopic mixtures — to efficient extraction of desirable deuterium-containing compounds found only in trace quantities among predominantly hydrogen-containing counterparts. An example of such a system is hydrogen fluoride gas (HF) which in nature contains only a very small amount (about 15 thousandths of a per cent) of deuterium fluoride (DF).

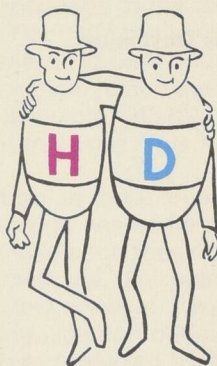
At the heart of the laser separation technique is the so-called isotope shift found in the spectra of such materials. Because of their different masses, hydrogen and deuterium cause the two species to absorb energy at slightly different frequencies. Certain absorption peaks for DF are shifted to positions some distance away from their HF analogs. By aiming precise laser frequency at designated peaks, chemists can impart energy selectively to species containing the desired isotope.

"Energetically, there are two ways to do this," explains Dr. Back. "One, using ultraviolet or visible laser light, is the more conventional approach where we decompose a molecule with a great deal of energy. But it is expensive energy compared to the other way which makes use of infrared radiation."

Gentler infrared excitation, for example with a carbon dioxide laser, is being studied closely by Dr. Back's group. By this method, the deuterated molecules are energized selectively. Some extra energy is imparted to certain vibrations in the molecules so that bonds between atoms break and reaction occurs. In effect, the rarer deuterated species become more susceptible to chemical reaction and, after attack, the deuterium-rich product can be removed from the rest of the mixture by conventional chemical methods.

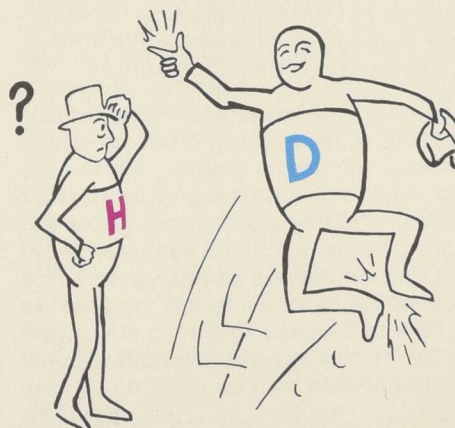
"The HF example seems fine in theory," notes co-researcher Dr. Clive Willis, "but in practice, it is a highly corrosive and toxic material to work with. What we are

The chemically-identical twins
Hydrogen and Deuterium are
difficult to separate.



Hydrogène et Deutérium sont
des jumeaux siamois chimiques
difficiles à séparer.

PIE imparts energy selectively
to Deuterium.



Wayne Campbell, NRC/CNRC

EPI n'excite que Deutérium.

Les déplacements isotopiques

Le but: l'enrichissement

L'utilisation de l'énergie du laser pour séparer les isotopes a beaucoup stimulé la recherche au Canada et à l'étranger.

Les isotopes sont des jumeaux dans la classification périodique des éléments: ce sont des formes équivalentes du même élément chimique; seul leur poids est différent. Mais du fait qu'ils subissent des réactions chimiques presque identiques les isotopes peuvent être aussi difficiles à séparer que des jumeaux siamois.

L'exemple le plus simple est fourni par les atomes d'hydrogène et de deutérium. Ce dernier élément est un isotope de l'hydrogène, plus lourd et possédant un neutron de plus dans son noyau. Quoique l'on trouve du deutérium dans la nature, on trouve 6 700 fois plus d'hydrogène.

Le composé de deutérium le plus connu est peut-être l'eau lourde (de formule D_2O), ce modérateur efficace qui est le propre des réacteurs nucléaires canadiens CANDU. Dans ces systèmes, les neutrons rapides sont ralentis par D_2O jusqu'aux vitesses les plus appropriées pour leur réaction avec l'uranium.

En 1940, la quantité totale d'eau lourde dont on disposait dans le monde était inférieure à 200 kg (440 livres). En 1943, une équipe de scientifiques européens éminents, spécialistes de la recherche sur l'eau lourde, s'est jointe à l'équipe du projet nucléaire anglo-canadien organisé par le Conseil national de recherches à Montréal. Au cours des quelques années suivantes, les fondations du futur programme nucléaire canadien allaient s'appuyer sur l'utilisation de l'eau lourde.

"Aujourd'hui, l'eau lourde est à la base de notre technologie nucléaire", nous a dit le Dr Robert Back, de la section de photochimie de la Division de chimie du CNRC. "On a calculé que l'Ontario, à elle seule, investira 20 milliards de dollars pour la production d'eau lourde d'ici à l'an 2000."

Avec ces importants investissements en vue, les planificateurs de l'énergie accueillaient très favorablement toute découverte susceptible d'améliorer les méthodes actuelles pour la production de l'eau lourde.

Dans le procédé actuel, l'eau s'enrichit progressivement en deutérium au cours d'une série d'échanges chimiques entre H_2O et H_2S , c'est-à-dire le sulfure d'hydrogène. L'enrichissement final jusqu'à 99,7% en D_2O est obtenu uniquement après distillation.

La Division de chimie du CNRC étudie une manière différente d'attaquer le problème de la séparation isotopique, à l'aide d'un faisceau laser. L'enrichissement photochimique des isotopes (EPI) peut ajouter une nouvelle dimension à la production de l'eau lourde à l'avenir.

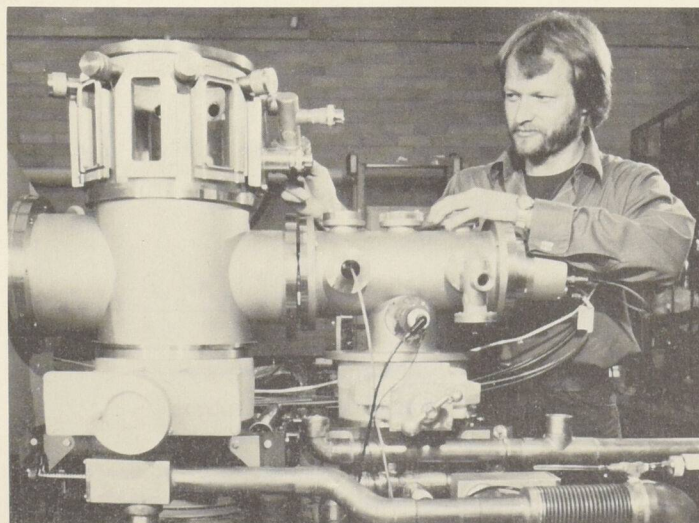
"À présent, nous travaillons sur les aspects fondamentaux de la technique," nous a expliqué le Dr Back. "A plus grande échelle les processus photochimiques sont encore plutôt coûteux quoique les coûts descendront probablement à l'avenir à mesure que les lasers seront perfectionnés."

La méthode d'enrichissement photochimique peut ouvrir la voie vers un enrichissement rapide et propre des mélanges isotopiques pour extraire efficacement les composés contenant du deutérium, que l'on ne trouve qu'en traces parmi les éléments qui contiennent de l'hydrogène. Comme exemple d'un tel système on peut citer le fluorure d'hydrogène gazeux (HF) qui, dans son état naturel, ne contient qu'une très petite quantité (environ 15 millièmes de 1%) de fluorure de deutérium (DF).

La technique de séparation à l'aide du laser se fonde sur le décalage de fréquence isotopique dans le spectre de ces composés. En raison de la différence de masse entre l'hydrogène et le deutérium, les composés deutérés absorbent de l'énergie à des fréquences légèrement différentes par rapport aux composés hydrogénés. Certaines raies d'absorption par le DF sont décalées à des fréquences quelque peu différentes des fréquences des raies d'absorption du HF. En visant des raies appropriées, grâce à des fréquences laser accordées avec précision, les chimistes peuvent communiquer sélectivement de l'énergie à des espèces contenant l'isotope désiré.

Écoutons le Dr Back: "Sur le plan énergétique, il y a deux manières d'y parvenir. La manière classique consiste à décomposer les molécules au moyen d'un laser émettant dans l'ultraviolet ou le visible, et ce au prix d'une grande dépense d'énergie. C'est également une énergie coûteuse par comparaison avec l'autre manière qui utilise l'infrarouge."

Le groupe du Dr Back se penche sur une excitation



Chemist Dr. J.J. Sloan with an apparatus used to study the molecular dynamics of chemical reactions deemed potentially suitable for isotopic separation.

Le Dr J.J. Sloan, chimiste, et un appareil servant à étudier la dynamique moléculaire des réactions chimiques que l'on pense appropriées pour la séparation isotopique.

looking for is a cleaner system — materials easily excited by infrared light which in turn need little more than this small extra energy to react further.”

If pure deuterated species could be separated in high yield by this photochemical process, simple exchange reactions of the products with water would afford a direct and convenient route to D_2O .

“You could say we are breaking new ground with the infrared approach,” says Dr. Back, “since a great deal more is known now about photochemistry in the ultraviolet or visible regions. Economically though, both in terms of energy and dollars, we feel the infrared method is potentially the better.”

“Although we are not the only group in Canada studying photochemical enrichment, most of the other laboratories are concerned mainly with ultraviolet or visible laser energies. Our group is working closely with scientists at Ontario Hydro and other government laboratories to avoid any overlap or duplication of the research effort.”

“In one sense, we are still limited by the frequencies available from modern-day lasers,” continues Dr. Willis. “However, the improved tunable lasers now being developed will give us access to a much wider range of the spectrum. In effect, they will enable us to ‘tune in’ precise excitation frequencies in the same way broadcast signals are fine-tuned on a radio. Ideally, we might select the exact frequency needed to match the isotope peak in a spectrum.”

Although most of its emphasis is on hydrogen/deuterium systems, the NRC group is also studying enrichment methods for the isotopes carbon-13 (found in one per cent abundance in carbon compounds), oxygen-18 (one-fifth of a per cent in oxygen compounds) and nitrogen-14 (one-

third of a per cent in nitrogen compounds). Since the current cost of separating these isotopes is much higher than for deuterium, the photochemical process affords the promise of an economical extraction route in the nearer future.

But while separation of such relatively light elements may pose problems, these difficulties are multiplied further for heavy elements like uranium.

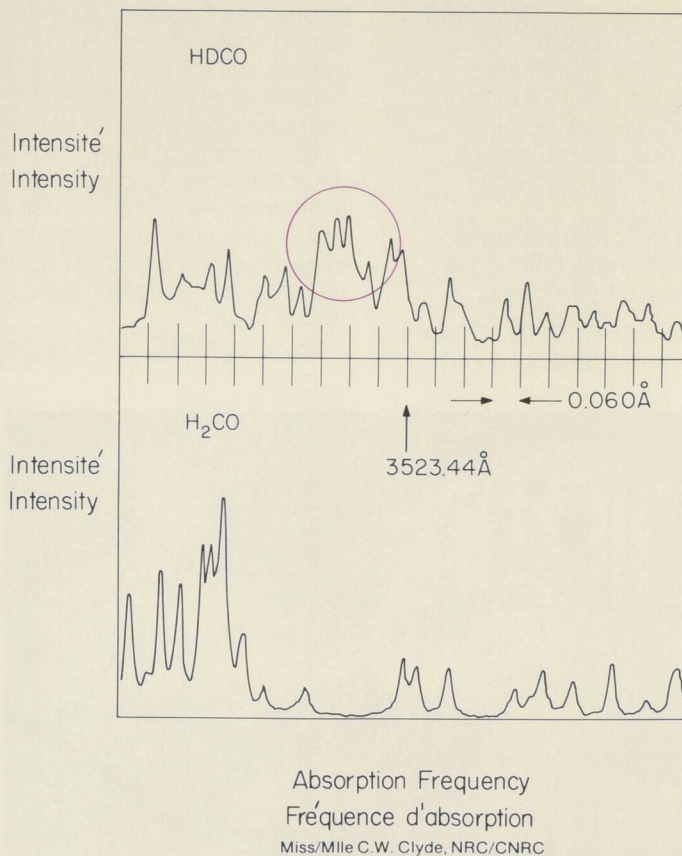
Natural uranium, predominantly U-238, contains less than one per cent of the fissionable isotope uranium-235. Current separation methods based on gaseous diffusion or gas centrifuge techniques depend directly on the small difference in mass between the isotopes; heavier molecules diffuse more slowly than lighter ones. These procedures, however, can be cumbersome and require large amounts of energy. A diffusion process must be repeated many thousands of times to produce adequate separation.

On the other hand, while laser separation shows great promise in theory, it meets with different obstacles in practice. For elements of heavy masses, the spectra are so complicated that unambiguous shifts are difficult to find.

“Fortunately, the CANDU system is based on natural uranium (U-238) unlike other models of nuclear reactor which require enriched fuel (U-235),” observes Dr. Back. “Although our group is not studying the uranium system, there is a concerted effort in this direction in several Soviet and American laboratories. At present, the photochemical process has given separations only on a scale of milligrams. But potentially, laser separation of uranium isotopes promises major improvements in the economics of nuclear technology.” □

Wally Cherwinski

One approach to laser isotope separation of deuterium. The spectrum of the deuterium-containing species HDCO (top) contains certain peaks not found in the lower spectrum of formaldehyde, H_2CO . The absorptions in the circled area represent the target area for laser radiation. The laser frequency is carefully matched to the absorption frequency of the target peaks. Experiments were conducted at the Lawrence Livermore Laboratory, University of California, U.S.A.



Une manière d'attaquer la séparation isotopique du deutérium à l'aide d'un laser. Le spectre de la molécule deutérée HDCO (en haut) contient certaines raies que l'on ne trouve pas dans le spectre (en bas) de la formaldéhyde (H_2CO). Les raies d'absorption dans les domaines entourés d'un cercle représentent la région cible pour le faisceau laser. La fréquence du laser est soigneusement réglée à la fréquence des raies d'absorption de la cible. Ces expériences ont été conduites au Lawrence Livermore Laboratory de l'Université de Californie, aux États-Unis.

plus douce" à l'infrarouge, à l'aide d'un laser au gaz carbonique par exemple. Grâce à cette méthode, les molécules comportant du deutérium sont seules portées à un niveau énergétique plus élevé. Une certaine quantité d'énergie supplémentaire est communiquée à certaines vibrations dans les molécules de sorte que les liaisons entre atomes se brisent et que la réaction se produit. Les espèces plus rares contenant du deutérium deviennent donc plus susceptibles de participer à la réaction chimique et, après la réaction chimique, le produit riche en deutérium peut être séparé du reste du mélange à l'aide des méthodes chimiques traditionnelles.

Un collaborateur du groupe, le Dr Clive Willis, nous a dit: "L'exemple du HF semble bon en théorie mais, en fait, nous devons travailler avec une substance toxique et corrosive. Ce que nous cherchons, c'est un système plus efficace, c'est-à-dire des substances excitées facilement par l'infrarouge et qui n'ont besoin que d'un peu d'énergie additionnelle pour réagir par la suite."

La séparation de composés deutérés purs en grandes quantités par ce processus photochimique permettrait d'obtenir directement et d'une manière fort pratique du D_2O par de simples réactions d'échange entre ces produits et de l'eau.

Le Dr Back nous a dit: "Vous pourriez dire que nous nous attaquons à un phénomène vraiment nouveau en passant nos travaux sur l'infrarouge puisqu'on sait beaucoup plus de choses maintenant au sujet de la photochimie dans l'ultraviolet ou le visible. Sur le plan économique toutefois, tant en fonction de la quantité d'énergie que des dollars, nous pensons que la méthode infrarouge est potentiellement la meilleure."

"Quoique nous ne soyons pas le seul groupe canadien à étudier l'enrichissement par moyens photochimiques, la plupart des autres laboratoires s'intéressent principalement à l'ultraviolet et au visible émis par un laser. Notre groupe travaille en collaboration étroite avec des scientifiques de l'Hydro-Ontario et d'autres laboratoires gouvernementaux pour éviter la duplication de la recherche."

Le Dr Willis d'ajouter: "En un sens, nous sommes limités maintenant par les fréquences dont on dispose à l'aide des lasers actuels. Toutefois, les lasers réglables améliorés qu'on est à mettre au point nous donneront accès à une gamme beaucoup plus large du spectre. En effet, ils nous permettront de "régler" nos fréquences d'excitation avec la précision de la même manière qu'un récepteur de radio ou de télévision qui s'accorde pour détecter un signal

radiodiffusé. Nous pourrions en principe sélectionner la fréquence exacte dont on a besoin pour être en harmonie avec la raie isotopique du spectre."

Quoique l'on ait surtout mis l'accent sur les systèmes hydrogène-deutérium, le groupe du CNRC étudie aussi des méthodes d'enrichissement pour les isotopes suivants: le carbone-13 (trouvé dans une proportion de 1% dans les composés carbonés), l'oxygène-18 (trouvé à raison d'un cinquième de 1% dans les composés oxygénés) et l'azote-14 (trouvé dans la proportion d'un tiers de 1% dans les composés azotés). Puisque le coût actuel de la séparation de ces isotopes est beaucoup plus élevé que dans le cas du deutérium, le processus photochimique conduit à penser qu'il sera possible de trouver un moyen économique de séparation dans un proche avenir.

Mais quoique la séparation d'éléments relativement légers comme ceux-ci puisse poser des problèmes, les difficultés sont multipliées dans le cas des éléments lourds comme l'uranium.

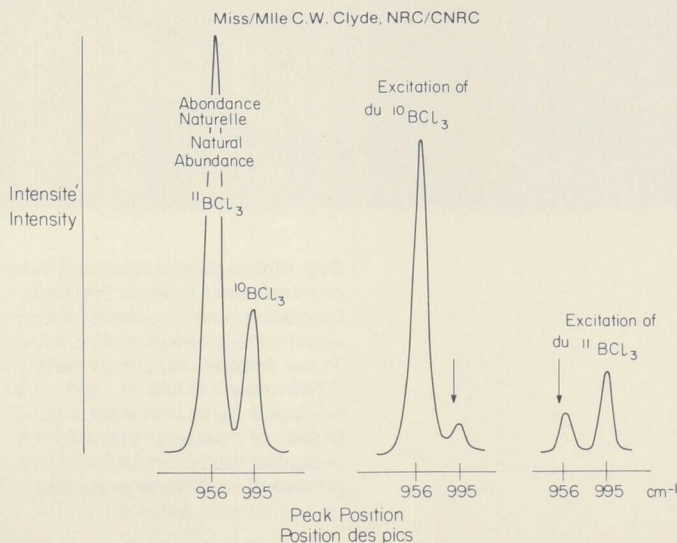
L'uranium naturel, composé principalement de ^{238}U , contient moins de 1% de l'isotope ^{235}U qui se prête à la fission. Les méthodes courantes de séparation basées sur la diffusion gazeuse ou sur les techniques de centrifugation à l'état gazeux dépendent directement de la petite différence de masse entre les isotopes, les molécules les plus lourdes se diffusant plus lentement que celles qui sont plus légères. Ces méthodes sont toutefois longues et compliquées et exigent de grandes quantités d'énergie. Le processus de diffusion doit être répété des milliers de fois pour donner la séparation appropriée.

D'un autre côté, alors que la séparation au laser est théoriquement très intéressante, on rencontre différents obstacles dans la pratique. Pour les éléments de masse élevée, les spectres sont si compliqués qu'il est difficile de trouver des décalages sans ambiguïté.

Le Dr Back a fait les remarques suivantes: "Heureusement le système CANDU est basé sur l'uranium naturel (^{238}U) alors que les autres modèles de réacteurs nucléaires exigent un combustible enrichi, c'est-à-dire le ^{235}U . Quoique notre groupe n'étudie pas le système de l'uranium, les Soviétiques et les Américains font de grands efforts dans cette direction. Actuellement, le processus photochimique n'a donné des séparations qu'à l'échelle du milligramme, mais, potentiellement, la séparation au laser des isotopes de l'uranium conduit à penser qu'on obtiendra des améliorations majeures sur le plan économique en technologie nucléaire." □

Texte français: **Louis-Georges Desternes**

This successful laser isotope separation for boron has been carried out at the Institute of Spectroscopy, Academy of Sciences, U.S.S.R. A portion of the infrared absorption spectrum for a material mixture of boron trichloride (BCl_3) molecules is shown here. Left to right: the isotopic mixture before irradiation contains roughly four parts B-11 to one part B-10; after irradiation at the absorption frequency of $^{10}BCl_3$, much of the B-10 species reacts and is collected; after irradiation at the absorption frequency of $^{11}BCl_3$, much of the B-11 species reacts and is collected.



La séparation des isotopes du bore, à l'aide d'un laser, a été réussie à l'Institut de spectroscopie de l'Académie des sciences de l'U.R.S.S. On voit ici une partie du spectre d'absorption en infrarouge pour un mélange de molécules de trichlorure de bore (BCl_3). De gauche à droite: le mélange isotopique avant l'irradiation contient en gros quatre fois plus de B-11 que de B-10; après l'irradiation à la fréquence d'absorption de $^{10}BCl_3$, une grande partie du B-10 réagit et est récupérée; après l'irradiation à la fréquence d'absorption de $^{11}BCl_3$, une grande partie du B-11 réagit et est récupérée.

Spherical agglomeration may be the answer — Oil from Alberta's tar sands

Spherical agglomeration, an NRC-developed method of separating mixtures by causing one or more components to pelletize into spheres, is receiving attention from Canadian oilmen. It may be the way of the future for recovering the bitumen from Alberta's tar sands.

For Canadians, one of the most important factors in the equation balancing future energy supplies and needs is the bitumen locked in the vast tar sand tracts of northern Alberta. The total reserves of synthetic crude oil that lie under these forested plains has been estimated at 1,000 billion barrels, of which 250 billion barrels (or 70 per cent of the Middle East reserves) are recoverable by today's extraction technology. The problem, at least for the present, is in the expense of removing the sand from the bitumen, a task made more difficult in many areas of the beds by the presence of clay, which tends to bond the two materials together.

One attractive alternative to the existing technology that has received attention in the last few years is a process de-

veloped by the National Research Council of Canada's Division of Chemistry called Spherical Agglomeration. Dr. Ira Puddington, who recently retired as Director and now acts as a consultant to the Division, is one of the principal scientists involved in the work. According to Dr. Puddington, Spherical Agglomeration is a general technique for separating the components of many kinds of mixture, with tar sand extraction currently one of its more visible applications.

The name of the process describes its essence. When a mixture is suspended in an appropriate liquid and the right experimental conditions introduced, one or more of its components agglomerate or "pelletize" into spheres that separate readily from the remaining material.



John McAulay

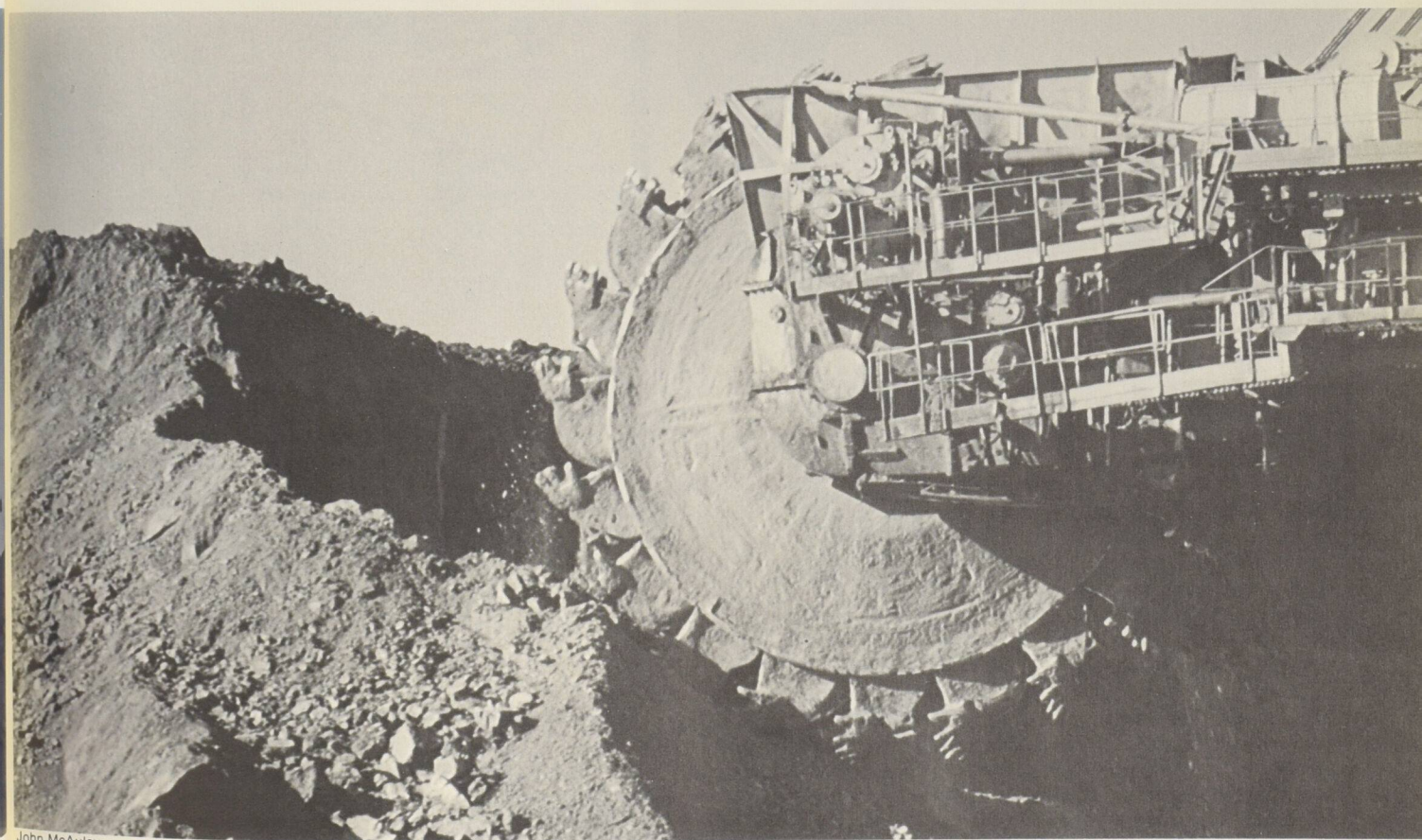
One of the giant bucketwheel excavators used to mine the Athabaska oil sands stands silent against a late autumn afternoon. These massive machines weigh 1,700 tons (1 530 t) and are equipped with a bucketwheel (right of center) capable of scooping up over 50,000 tons (45 000 t) of oil sand every day.

L'agglomération sphérique peut être la réponse Du pétrole tiré des sables bitumineux

L'agglomération sphérique, méthode mise au point par le CNRC pour séparer les mélanges en provoquant l'agglomération sous forme de sphères d'un ou plusieurs composants, pourrait permettre la récupération des bitumes contenus dans les sables bitumineux de l'Alberta.

Pour les Canadiens, l'un des facteurs les plus importants de l'équation équilibrant les sources futures d'énergie et les besoins en énergie est le pétrole brut, ou bitume, renfermé dans les vastes étendues de sable bitumineux du nord de l'Alberta. Les réserves totales de pétrole brut synthétique qui se trouvent sous ces plaines couvertes de forêts ont été estimées à 1 000 milliards de barils dont 250 milliards, équivalent à 70% des réserves du Moyen-Orient, sont récupérables en se servant de la technologie actuelle. Le problème, au moins pour le présent, est la dépense correspondant à la séparation du bitume du sable qui le contient, opération rendue plus difficile dans de nombreuses régions en raison de l'argile qui s'y trouve et qui tend à constituer un liant entre les deux matériaux.

Parmi les différentes possibilités intéressantes, qui ont fait l'objet d'une certaine attention au cours des dernières années, se trouve un procédé mis au point par la Division de chimie du Conseil national de recherches du Canada et appelé "agglomération sphérique". Le Dr Ira Puddington, qui a récemment pris sa retraite comme directeur de la division et qui agit maintenant en qualité de conseiller de cette division, est l'un des principaux scientifiques impliqués dans ce travail. Selon le Dr Puddington, l'agglomération sphérique est une technique générale permettant de séparer les composants se trouvant dans bien des sortes de mélanges et, en particulier, de séparer les bitumes des sables bitumineux, cette extraction constituant l'une des applications les plus visibles actuellement.

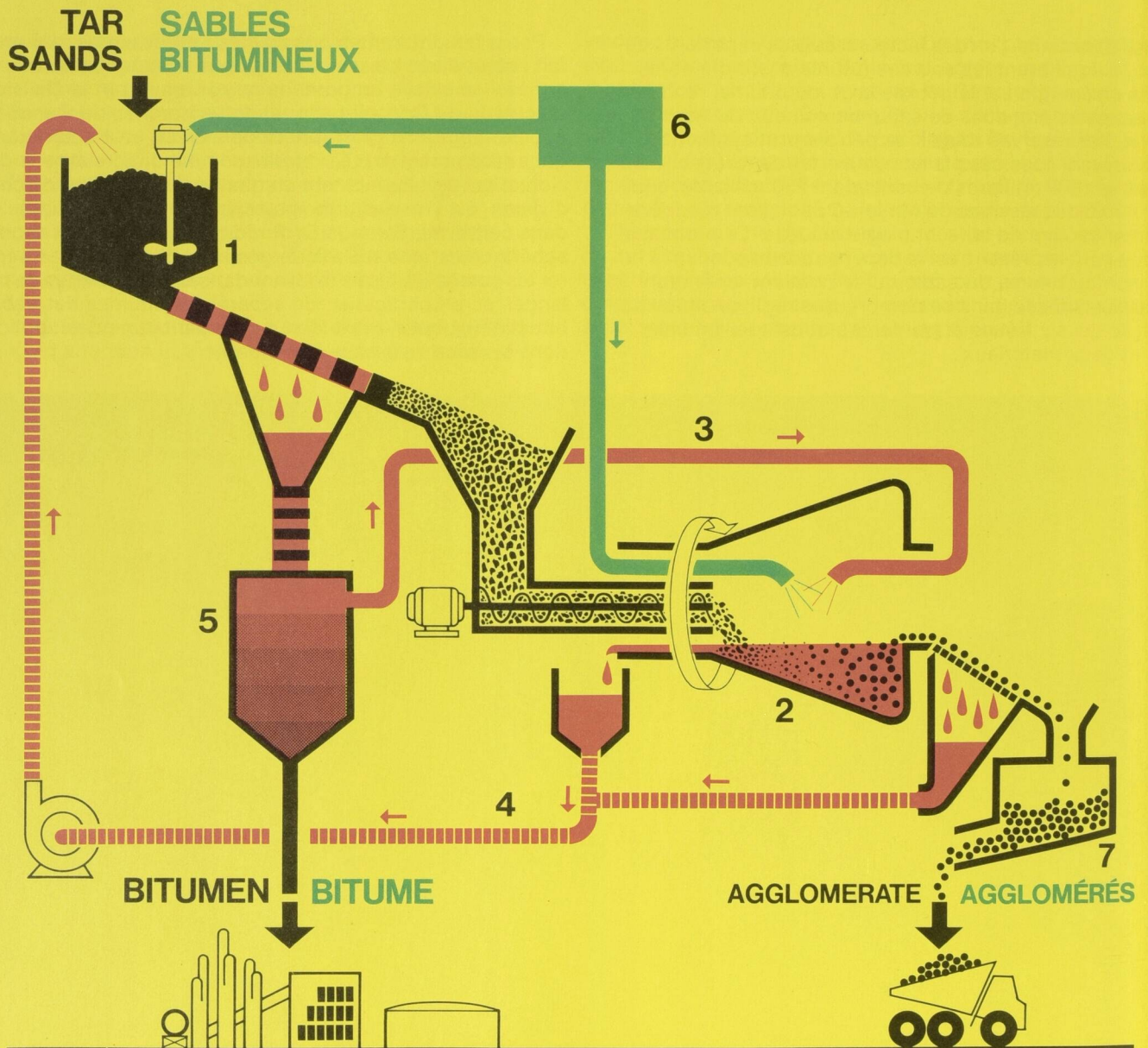


John McAulay

L'un des excavateurs géants à roue-pelle, servant à extraire les sables bitumineux de l'Athabasca, est arrêté et se détache sur le ciel d'un après-midi d'automne. Ces énormes machines pèsent 1 700 tonnes (1 530 t) et sont équipées de roues-pelles (au centre, à droite) ayant un débit de plus de 50 000 tonnes (45 000 t) de sable bitumineux par jour.

**SCHEMATIC DIAGRAM SHOWING
EXTRACTIVE AGGLOMERATION
OF TAR SANDS**

**SCHEMA DE L'EXTRACTION
DES SABLES BITUMINEUX
PAR AGGLOMERATION**



REFINERY

RAFFINERIE

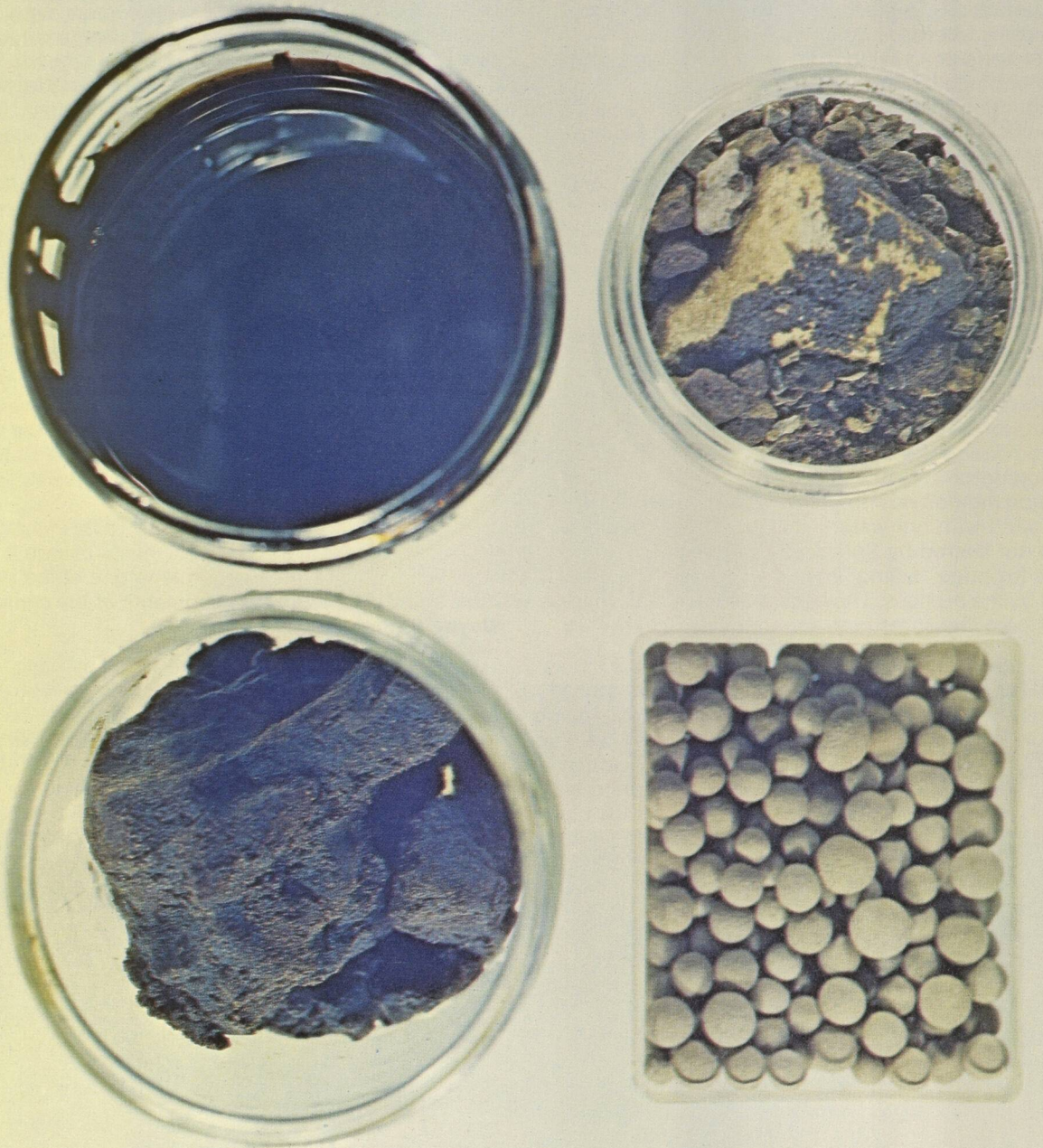
UTILIZATION
AND DISPOSAL

UTILISATION
ET REMBLAYAGE

LEGEND

LÉGENDE

PRIMARY EXTRACTOR	1	EXTRACTEUR PRIMAIRE
AGGLOMERATOR	2	AGGLOMÉRATEUR
CLEAN SOLVENT	3	SOLVANT PROPRE
SOLUTION	4	SOLUTION
SOLVENT STRIPPER	5	RÉCUPÉRATION DU SOLVANT
WATER	6	EAU
RESIDUAL SOLVENT REMOVAL	7	RÉCUPÉRATION DU SOLVANT RÉSIDUEL



Dan Getz, NRC/CNRC

Some raw tar sands and the final products obtained after treatment by the spherical agglomeration technique. The high-silica variety of tar sand (lower left) is rich in bitumen content. A lean-bitumen sand of high clay content is also shown (upper right). During the spherical agglomeration process, the sand and other unwanted hydrophilic materials are separated from the dark, viscous bitumen (upper left) in the form of hard, agglomerated spheres (lower right). One attractive feature of the self-contained process is that all of the kerosene solvent used is recovered and recycled through the system.

Échantillons de sable bitumineux brut et des produits obtenus après traitement au moyen de la technique de l'agglomération sphérique. En bas, à gauche: sable bitumineux à forte proportion de silice et riche en bitume. En haut, à droite: sable pauvre en bitume mais à proportion élevée d'argile. Durant l'agglomération sphérique, le sable et d'autres matériaux hydrophiles à rejeter sont séparés du bitume noir et visqueux (en haut, à gauche) sous la forme de sphères agglomérées dures (en bas, à droite). Un point intéressant de cette technique réside en ce que tout le kérosène qui sert de solvant est récupéré et réutilisé.

"If the technique is used to upgrade ore, it is often the formed spheres that contain the valuable material," says Dr. Puddington. "In other instances, such as the upgrading of coal, it can be the unwanted impurities that pelletize, leaving the coal behind. This is the case with tar sand extraction, where sand and other undesirable substances are agglutinated into spheres, leaving the valuable hydrocarbons that make up bitumen behind in solution."

As Dr. Puddington describes it, the process begins with the dispersion of untreated tar sand in a tank containing kerosene, followed by agitation of the system. The bitumen hydrocarbons dissolve because they are hydrophobic (literally, "water-hating"), while the sand and other hydrophilic (water-loving) materials remain in suspension. A carefully controlled volume of water is then sprayed into the rotating system, which preferentially wets the surfaces of these hydrophilic solids. On collision during agitation, these wetted surfaces adhere because of the surface tension that exists between the kerosene and water, thus building up dense, spherical particle clusters.

"It is the interfacial surface tension between these two immiscible liquids (kerosene and water) that acts as the bonding force holding the agglomerates together", explains Dr. Puddington.

The extraction method now in use, which involves "scrubbing" the tar sand with hot water and steam, has a serious disadvantage not shared by Spherical Agglomeration. This is in the need for huge "tailing" ponds to contain the effluent produced by the process. The waters of these man-made lakes (one of them measures nine square miles [21 km²] in

area and reaches a depth of 300 feet [91 m]) are murky with suspended clay and other fine mineral matter that do not readily settle out. As such, they cannot be discharged into the rivers of the area, and the volume of tailing water continues to increase. (These same contaminants are locked in the hard spheres of the Spherical Agglomeration Process).

It has been suggested that the two processes may in fact serve as valuable complements of one another. The tailing water may be too dirty for recycling in the hot water process but its clay content makes it ideal for use as the bonding agent in Spherical Agglomeration. Thus, the NRC process would help eliminate, at least in part, the most serious drawback to hot water extraction. In turn, the large amounts of kerosene or other light hydrocarbon required by Spherical Agglomeration could be provided by the hot water process during the initial production stage.

At present, Terra Energy of Calgary Limited holds a licence from NRC's Canadian Patents and Development Limited (CPDL) to exploit the agglomeration process as it applies to tar sand extraction. In the developmental research required to scale the laboratory process up to the much larger dimensions of a pilot plant, the Council has also provided financial assistance under its new Pilot Industry/Laboratory Program.

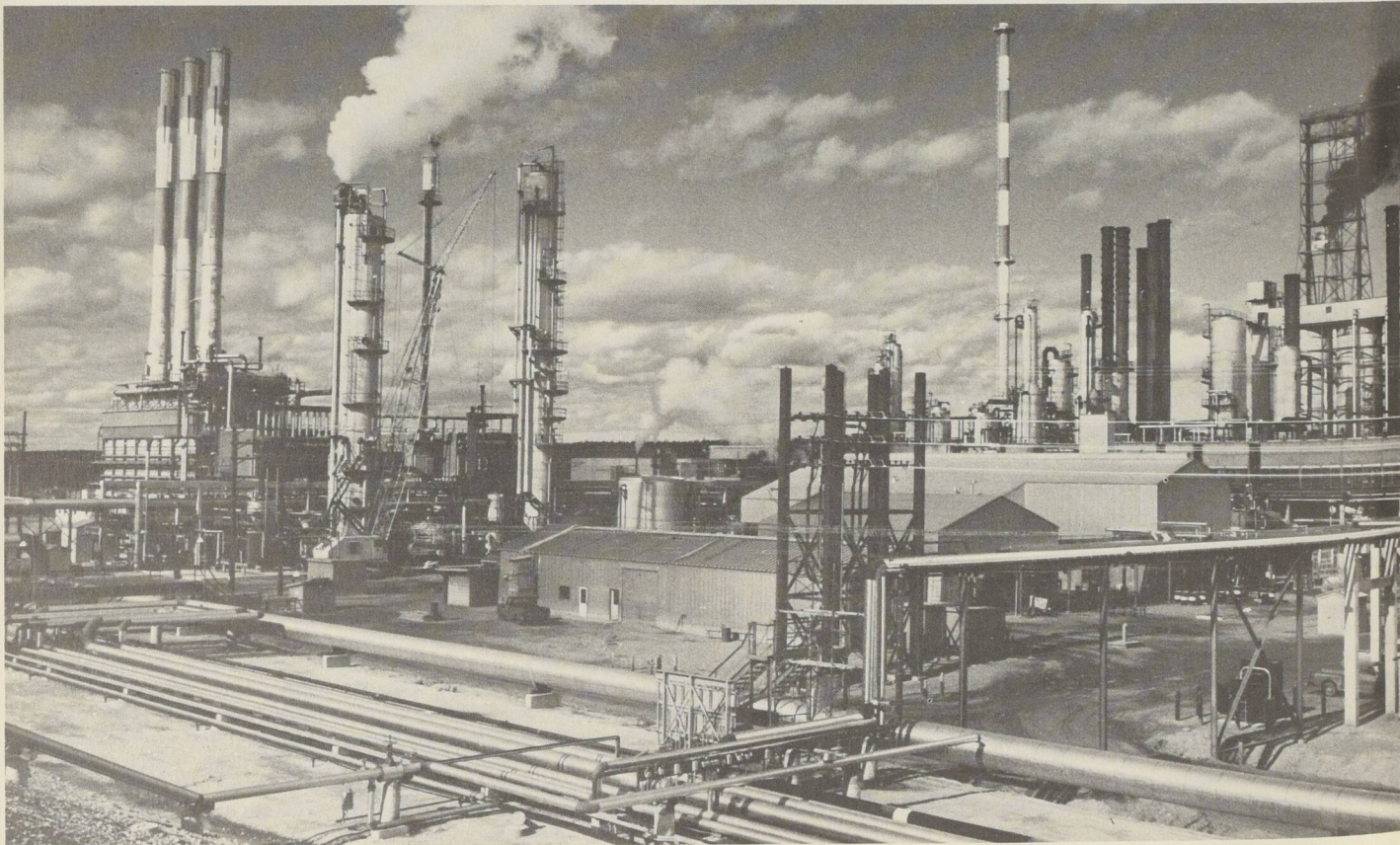
Should this novel process live up to its initial promise in tar sand extraction, as many scientists believe it will, then NRC will have played a vital role in one of the most significant energy resource developments of the century. □

Wayne Campbell

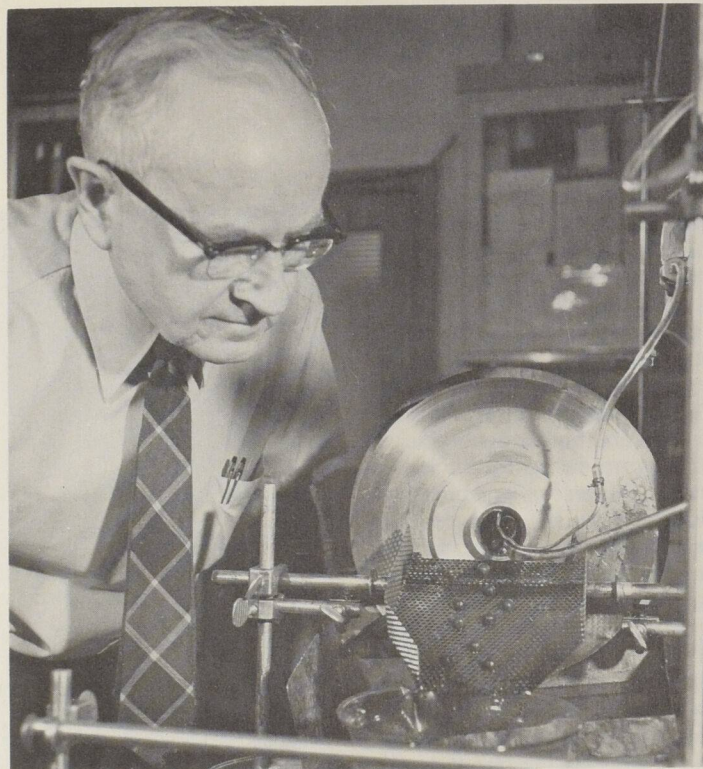
Great Canadian Oil Sands refinery, Fort McMurray, Alberta.

La raffinerie "Great Canadian Oil Sands", à Fort McMurray, dans l'Alberta.

Information Canada



The spheres that Dr. Ira Puddington observes leaving the rotating drum contain sand and other hydrophilic substances from a sample of Alberta tar sand. The valuable bitumen is left behind in a light hydrocarbon solvent within the drum.



Les sphères, que le Dr Ira Puddington observe à leur sortie du tambour tournant, contiennent du sable et d'autres substances hydrophiles provenant d'un échantillon de sable bitumineux de l'Alberta. Le précieux bitume est retenu en solution dans un hydrocarbure léger contenu dans le tambour.

Le nom du procédé décrit bien en quoi il consiste. Lorsqu'un mélange est en suspension dans un liquide approprié et que l'on introduit les conditions expérimentales qui conviennent, un ou plusieurs des composants s'agglomèrent sous forme de sphères qui se séparent facilement du matériau restant.

Le Dr Puddington nous a dit: "Si la technique est utilisée pour enrichir ou nettoyer un minerai, c'est souvent les sphères formées qui contiennent le matériau intéressant. Dans d'autres cas, comme lorsqu'il s'agit de nettoyer le charbon, ce sont les impuretés que l'on veut rejeter qui s'agglomèrent. C'est le cas de l'extraction des bitumes des sables bitumineux car le sable et d'autres substances à rejeter s'agglutinent sous forme de sphères, ce qui laisse à part les hydrocarbures intéressants en solution dans les bitumes."

Comme le Dr Puddington l'a décrit, on commence par agiter dans un réservoir un mélange des sables bitumineux non traités en suspension dans du kérosène. Les hydrocarbures du bitume se dissolvent car ils sont hydrophobes, c'est-à-dire qu'ils "détestent" l'eau, alors que le sable et les autres matériaux hydrophiles aiment l'eau et demeurent en suspension. Un volume d'eau soigneusement contrôlé est alors pulvérisé sur le système en rotation et, ainsi, les surfaces de ces solides hydrophiles sont mouillées préférentiellement. Du fait des collisions durant l'agitation, ces surfaces mouillées adhèrent en raison de la tension superficielle qui existe entre le kérosène et l'eau; ainsi on obtient des agglomérations de particules sphériques et denses.

Le Dr Puddington nous a expliqué: "C'est la tension superficielle à l'interface entre ces deux liquides non miscibles, c'est-à-dire le kérosène et l'eau, qui agit comme force liante grâce à laquelle les particules agglomérées sont maintenues ensemble."

La méthode d'extraction actuellement utilisée et qui implique le "nettoyage" des sables bitumineux à la vapeur et à l'eau chaude, a un sérieux désavantage que n'a pas l'agglomération sphérique. Il faut en effet se servir d'énormes bassins contenant les résidus inhérents à ce procédé. Les eaux de ces lacs artificiels, dont l'un mesure neuf miles car-

rés (21 km²) et a une profondeur de 300 pieds (91 m), sont obscurcies par l'argile et d'autres matières à grains très fins en suspension qui ne se déposent pas facilement, de sorte qu'il est impossible de libérer ces eaux dans les rivières de la région. Leur volume augmente donc continuellement. (Ces particules fines minérales et d'argile sont celles qui sont agglomérées sous forme de sphères dures dans le procédé de l'agglomération sphérique.)

Il a été proposé que les deux procédés de récupération puissent en fait se compléter. Les eaux résiduelles peuvent être trop sales pour être recyclées dans le procédé de récupération à l'eau chaude, mais le contenu en argile peut les rendre idéales comme liant dans l'agglomération sphérique. Ainsi, le procédé du CNRC faciliterait l'élimination, au moins partielle, de l'inconvénient le plus sérieux de l'extraction à l'eau chaude. À son tour, les grandes quantités de kérosène et d'autres hydrocarbures légers nécessaires pour se servir de l'agglomération sphérique pourraient être fournies par le procédé d'extraction à l'eau chaude pendant la phase initiale de production.

Actuellement, la compagnie "Terra Energy of Calgary Limited" a une licence accordée par la Société canadienne des brevets et d'exploitation limitée (SCBE) du CNRC pour exploiter le procédé de l'agglomération sphérique dans l'extraction des bitumes des sables bitumineux. Dans la recherche conduisant au développement et qui est nécessaire pour faire passer le procédé du niveau du laboratoire à celui de l'usine pilote, c'est-à-dire opérant sur des quantités beaucoup plus grandes, le CNRC a également accordé une aide financière dans le cadre de son nouveau Programme pilote de transition entre les laboratoires et l'industrie.

Si ce nouveau procédé est utilisé à l'avenir, comme on s'y attendait après sa mise au point, pour extraire les bitumes des sables bitumineux, et c'est ce que pensent de nombreux scientifiques, le CNRC aura alors joué un rôle vital dans l'un des développements les plus importants des ressources énergétiques du siècle. □

Texte français: Louis-Georges Desternes

A formulation for power — Mathematics of the Fundy tides

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

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

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

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

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

L'énergie, les mathématiques et les marées de la baie de Fundy

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

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

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

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



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

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

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

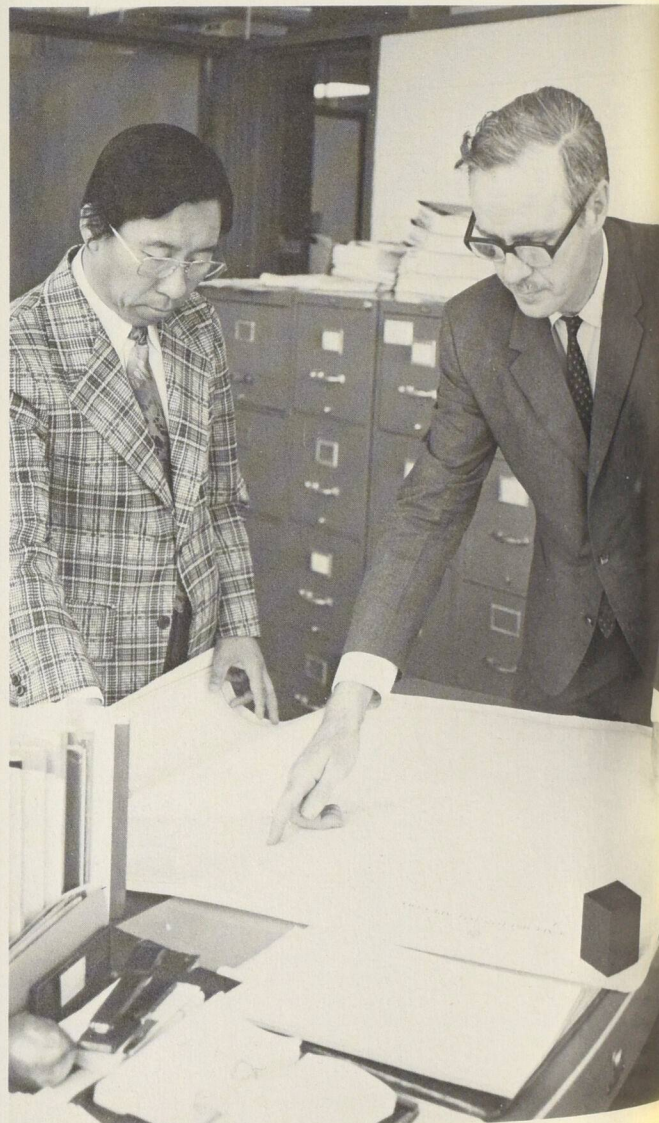
Such a mathematical approach is presently being attempted by Dr. G.F.D. Duff, Chairman of the University of Toronto's Mathematics Department. With the aid of a National Research Council operating grant, he is setting up a model that simulates the tidal motion of the waters from the head of the Bay of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

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

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

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

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



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

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

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

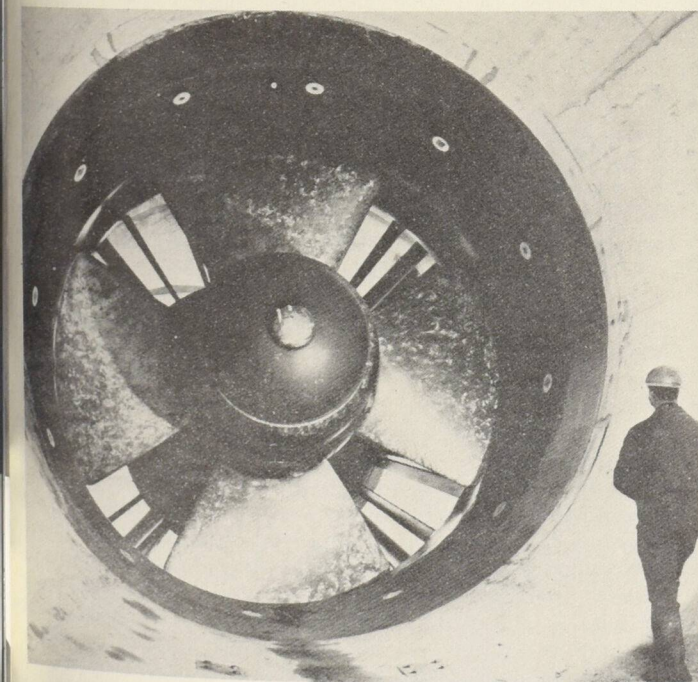
"barrières" de marée; on peut ainsi étudier l'effet de ces modifications sur le comportement du système. On peut aussi, de cette façon, éviter des erreurs coûteuses et mieux choisir les meilleurs sites. Naturellement, la précision des résultats est fonction de celle de la simulation.

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

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

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

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



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

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

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

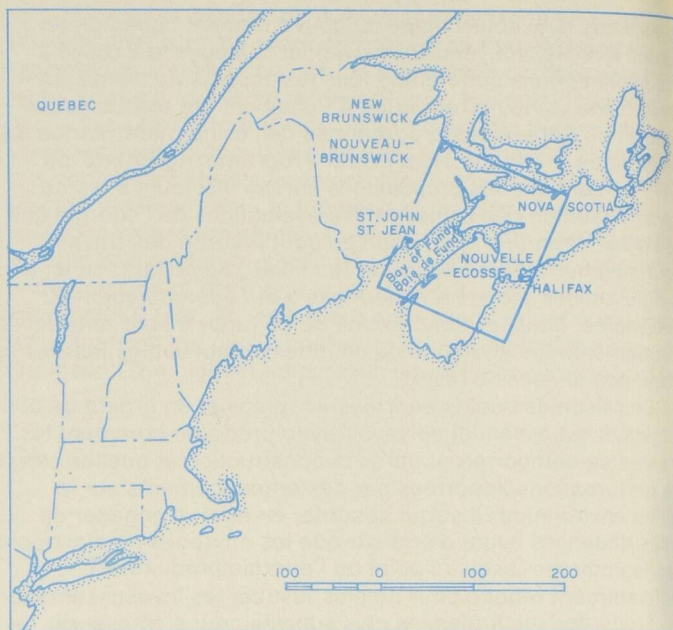
Dr. Duff took all the information available on the area between the continental shelf and the headwaters of the Bay of Fundy, the geographic and oceanographic dimensions, and embodied them in a mathematical model that described the surface wave characteristics of the waters. The results showed that a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

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

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

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

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

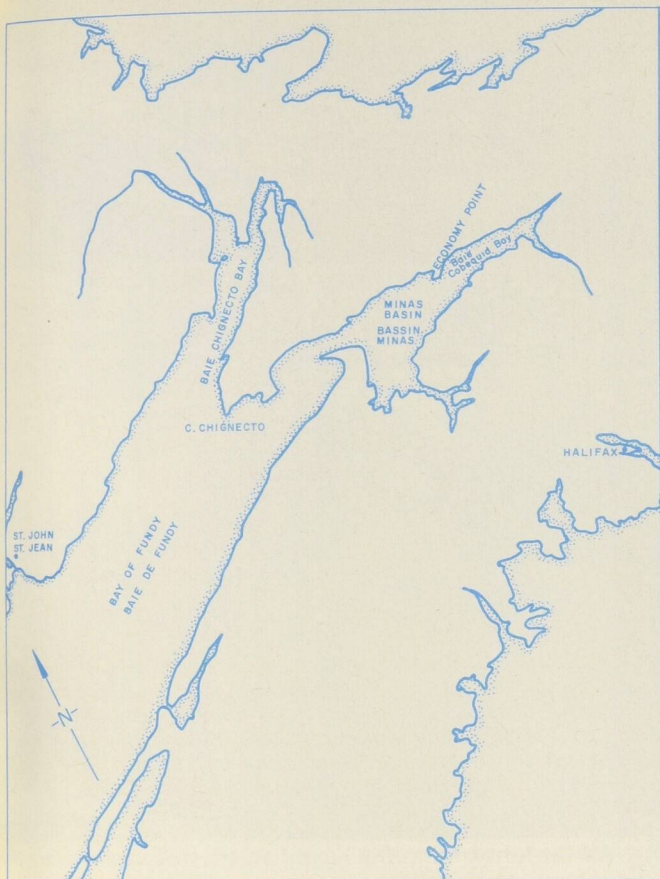


Map of the Atlantic coast showing the Bay of Fundy and its two main headwaters, Chignecto Bay and the Minas Basin, separated by Cape Chignecto. Economy Point, shown on the western side of the Minas Basin, is considered one of the best sites for construction of a tidal power plant. • La baie de Fundy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

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

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

Wayne Campbell



hauteur, cette hauteur augmente à chaque oscillation ou balancement.

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

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

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

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

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

Texte français: **Louis-Georges Desternes**

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

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

To help fulfill future energy needs we may Bind the restless wave

In Japan, Britain and the United States there is increasing interest in the possibility of using the motion of ocean waves to generate power. As part of NRC's Energy Project, scientists in the Division of Mechanical Engineering are assessing the potential contribution of wave energy to the Canadian energy budget.

Canadian Government Photo Centre/Centre de photographie du gouvernement canadien

Of the various renewable energy resources, one that has been attracting considerable attention in some parts of the world is wave energy. The International Energy Agency (IEA) has added wave energy to its list of energy R & D projects, and has designated Britain the "lead agency" for IEA discussions on wave energy R & D. Britain is committed to spend £1 million (\$1.7 million) over the next two years in a program to investigate various wave energy collector systems and to examine problems common to all of them. For Britain, with its long coastline and extremely rough seas, wave energy is a particularly enticing prospect, not only because there is a lot of it, but also because it is at its most powerful when energy demand is at its highest — during the winter.

Since, under the auspices of the Interdepartmental Task Force on Energy Research and Development, the National Research Council has special responsibility for renewable energy resources, Mr. Joe Ploeg and Dr. Geoff Mogridge of NRC's Division of Mechanical Engineering are investigating the future of wave energy in a Canadian context. At the moment, their work consists mainly of following developments in the wave energy field and checking current proposals, principally through analytic studies. Mr. Ploeg says that they are particularly interested in checking the figures from Britain where estimates of both the total wave energy available and of the probable conversion efficiencies seem somewhat high.

Devices for the extraction of wave energy fall into two categories, mechanical and hydraulic. In the first category, there are two proposed systems. Rocking floats (sometimes known as "ducks") are specially shaped floats, arranged in a string sideways onto the waves, rocking to and fro, while "contouring rafts", a series of hinged floats, follow the shape of the waves. In the case of the ducks, their rocking motion would be converted to useful energy and transmitted ashore either as electricity or as hydraulic

pulses, while the contouring rafts, rotating relative to each other, would use hydraulic pumps between each raft to tap the mechanical energy.

In the second category are the "wave rectifiers" and the oscillating water column devices. The former would consist of a large structure divided into two reservoirs with valves arranged so that waves drive seawater into a high level reservoir and empty a low level one. This creates a "head" between the two reservoirs which can be used to drive a turbine. The oscillating water column device is similar in principle to an empty can with its open end held under water. Incoming waves set up oscillations of the water column trapped in the upturned can, and air turbines, water turbines or a high pressure fluid power system can then extract energy from the device. This last system has already been put into use by a Japanese firm which uses wave action for the power source in navigation buoys.

There is no doubt that mechanical systems to extract wave energy can be built to operate at very high efficiencies — the only problem is that such systems will only operate at this level for one narrow band of wave frequencies. This is analogous to the response of an air mattress floating in a swimming pool; it will rock violently only to waves of a particular size. Similarly, mechanical wave energy systems tend to be "tuned" very sharply to wave frequencies. Mr. Ploeg points out that the dominant wave frequencies at sea vary widely. In any location, there will be a most frequently occurring wave period — usually in the 14 second range — but waves of this period will not occur all the time. Also, there will be waves of different frequencies to which the mechanical systems will hardly respond so any mechanical collection system will be able to harvest only a portion of the total wave energy available.

Wave direction is another variable. Because of their great size (present plans suggest "strings" of rocking floats or contouring rafts several kilometres long), it will be im-

Pour assurer nos besoins énergétiques futurs

Domptons les vagues

Au Japon, en Grande-Bretagne et aux États-Unis, on s'intéresse de plus en plus à la possibilité d'utiliser le mouvement des vagues océaniques pour la génération d'énergie. Dans le cadre du Projet énergie du CNRC, des scientifiques de la Division de génie mécanique évaluent actuellement ce que pourrait être la contribution de l'énergie des vagues au budget énergétique canadien.

Parmi les différentes sources d'énergie renouvelables, il en est une qui fait l'objet d'une attention considérable dans certaines parties du monde: les vagues. L'Agence internationale de l'énergie (AIE) a ajouté l'énergie des vagues à sa liste de projets de recherche et de développement dans le domaine énergétique et a désigné la Grande-Bretagne comme "agence principale" pour les discussions de l'AIE sur la recherche et le développement dans ce domaine. La Grande-Bretagne s'est engagée à consacrer au cours des deux prochaines années un million de livres sterling (1,7 million de dollars) à l'étude de divers systèmes de captage de l'énergie des vagues et des problèmes qui leurs sont communs. Pour la Grande-Bretagne, avec son littoral étendu et ses mers démontées, l'exploitation de l'énergie des vagues apparaît comme une perspective particulièrement séduisante, parce qu'elle est non seulement abondante mais aussi parce qu'elle atteint son maximum lorsque la demande en énergie est à son niveau le plus élevé, c'est-à-dire pendant l'hiver.

Le Conseil national de recherches ayant été spécialement chargé des sources d'énergie renouvelables, sous les auspices du Groupe de travail interministériel sur la recherche et le développement énergétiques, M. Joe Ploeg et le Dr Geoff Mogridge, de la Division de génie mécanique du CNRC, étudient l'avenir de l'énergie des vagues dans le contexte canadien. Pour l'instant, leur travail consiste surtout à suivre les développements dans ce domaine et à vérifier les propositions actuelles, en faisant surtout des études analytiques. Selon M. Ploeg, ce qui les intéresse particulièrement c'est de vérifier les chiffres fournis par la Grande-Bretagne dont les évaluations tant en ce qui concerne la totalité d'énergie disponible que les rendements probables de sa conversion semblent quelque peu élevées.

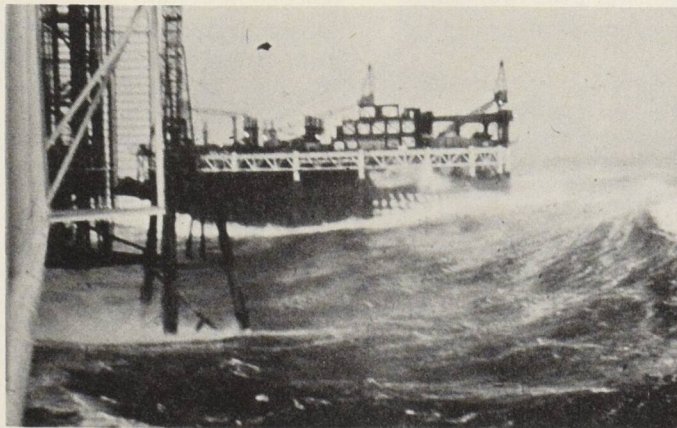
Les dispositifs dont on dispose pour exploiter l'énergie des vagues appartiennent à deux catégories, l'une mécanique, l'autre hydraulique. On propose deux systèmes entrant dans la première catégorie avec, d'une part, des flotteurs basculants (parfois appelés "canards") qui sont des flotteurs de forme spéciale disposés en chapelet latéralement sur les vagues qui les font balancer et, d'autre

part, des "radeaux" qui épousent la forme des vagues et qui sont constitués d'une série de flotteurs articulés. Dans le cas des canards, leur balancement serait converti en énergie exploitable transmise à terre sous forme d'électricité ou d'impulsions hydrauliques alors que les radeaux, soumis à une rotation les uns par rapport aux autres, seraient reliés entre eux par des pompes hydrauliques pour utiliser l'énergie mécanique résultante.

Dans la seconde catégorie, nous avons les "redresseurs de vagues" et les dispositifs à colonne d'eau oscillante. Le premier système serait constitué d'une grande structure divisée en deux réservoirs munis de clapets disposés de telle sorte que les vagues fassent pénétrer l'eau dans un réservoir à haut niveau et qu'elles vident un réservoir à niveau bas. Ceci crée, entre les deux réservoirs, une "charge" pouvant être utilisée pour entraîner une turbine. Le dispositif à colonne d'eau oscillante est similaire en principe à une boîte de conserve vide dont l'extrémité ouverte est maintenue sous l'eau. Les vagues déferlantes amorcent les oscillations de la colonne d'eau emprisonnée dans la boîte renversée et des turbines pneumatiques, hydrauliques ou un système hydraulique à haute pression peuvent alors tirer de l'énergie du dispositif. Ce dernier système a déjà été mis en exploitation par une firme japonaise qui se sert de l'action des vagues comme source d'énergie pour les bouées de navigation.

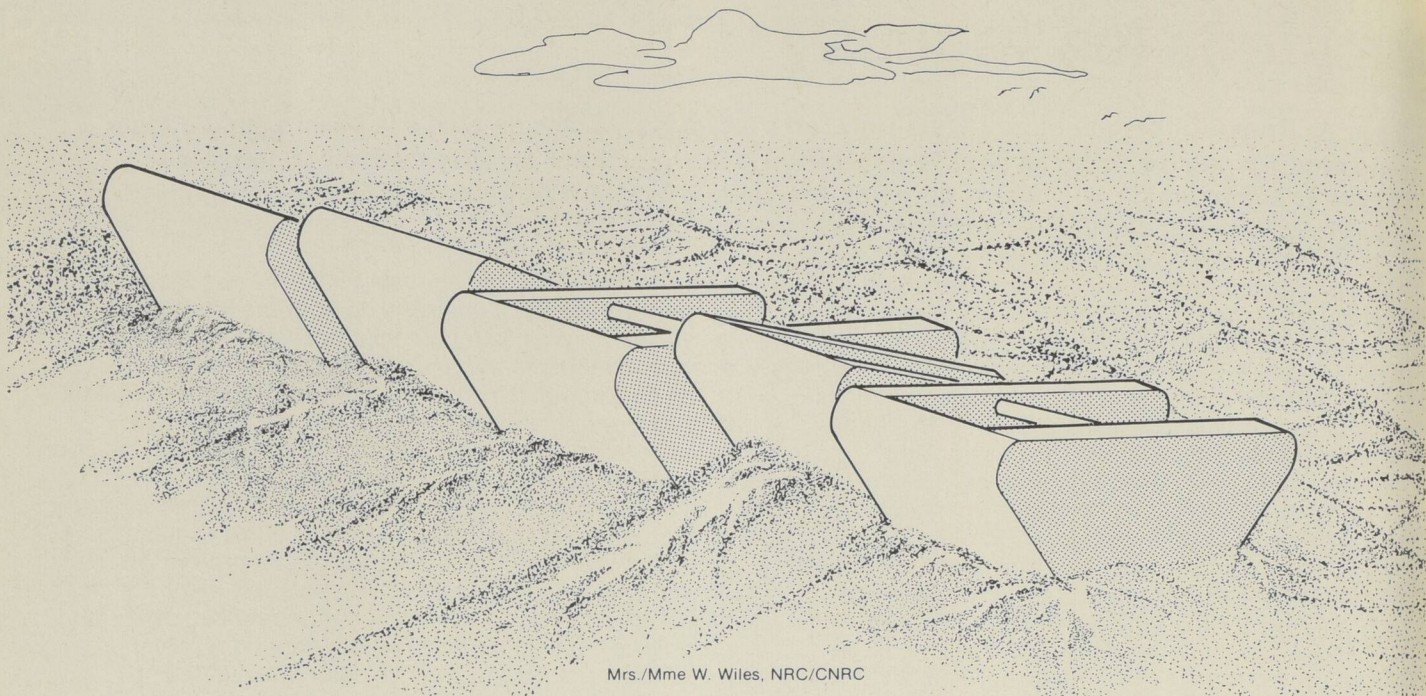
La construction de systèmes mécaniques de très haut rendement pour exploiter l'énergie des vagues ne présente aucune difficulté, le seul problème étant que de tels systèmes ne travailleront au maximum de leur capacité que sur une bande étroite des fréquences des vagues. Ceci peut être comparé à la réaction d'un matelas pneumatique flottant dans une piscine; il ne se balancera violemment que sous l'influence des vagues d'une dimension appropriée. D'une manière similaire, les systèmes mécaniques d'exploitation de l'énergie produite par les vagues ont tendance à se "régler" très exactement sur leurs fréquences. M. Ploeg souligne que les fréquences dominantes des vagues en mer varient considérablement. Quel que soit l'endroit choisi, on observera une période de vague qui se répétera le plus fréquemment, habituelle-

For many years we have been designing structures to withstand the power of the waves. Perhaps we should begin designing devices to collect that power.



Canadian Patents and Development Limited/Société des brevets et d'exploitation limitée

Nous créons depuis de nombreuses années des structures capables de résister aux vagues. Le moment est peut-être venu d'étudier des dispositifs pour en exploiter l'énergie.



Mrs./Mme W. Wiles, NRC/CNRC

Rocking floats or "ducks" are linked together in a long string parallel with the wave crests. The rocking motion drives a hydraulic power system which in turn drives a generator.

Les flotteurs basculants ou "canards" sont reliés entre eux et forment une longue chaîne parallèle à la crête des vagues. Le mouvement basculant actionne un système hydraulique qui, à son tour, entraîne une génératrice.

possible to slew collector strings to respond to changing wave direction. At times, although the wave frequency would be right for power collection, the direction might be wrong, further reducing the amount of energy that one could expect to extract.

Obviously, then, it is necessary to know something about the sort of wave frequency spectrum and the predominant wave direction likely to be encountered at any prospective wave energy site. Dr. Mogridge and Mr. Ploeg are currently evaluating the wave "climate" around the Canadian coast using data from the Department of Public Works' Wave Climate Group. This group has been recording wave data at strategic sites for the last five years, primarily for the purpose of harbor development planning. Mr. Ploeg suggests that if eventually the extensive use of wave energy becomes feasible, the west coast would be the most advantageous area to exploit. Here, the directional spread of the wave is much less than on the east coast — the waves always come from the same direction, the wave frequency tends to be quite consistent and the average wave height tends to be greater.

A great attraction of wave power is that, compared with wind power for example, waves represent a fairly concentrated energy source. In fact, the sea acts as a giant wind power collector, absorbing wind energy over thousands of square miles and concentrating it in the form of waves. Estimates made in Britain suggest that the total available energy from waves (on an annual average basis) is about 70 kW per metre of wave front. Mr. Ploeg emphasizes that this figure is the total available, not the total that it is feasible to extract. "Our maximum figure," he says, "is 58 kW/m, and that is based on a specific band of wave frequencies which a single type of converter system could reasonably be expected to exploit." This is a maximum theoretical figure and must be qualified by the in-

efficiencies of the conversion and energy transmission processes. When these factors are considered, Mr. Ploeg suggests that a more realistic figure might range between an optimistic 14 kW/m to a pessimistic 3 kW/m average annual power output. British Columbia's present annual power requirement is 7200 MW, so to supply this demand from wave energy would require a string of wave machines between 520 km and 2400 km in length (320-1500 miles). This rather extreme example highlights the fact that capital costs for wave energy systems could be very high indeed. Present most optimistic estimates start at \$1600/kW and go up from there. This must be compared to around \$600/kW considered as an affordable figure for existing generating systems of low operating cost but high capital cost.

There are engineering problems too that require attention. Mr. Ploeg points out that any energy collector/converter system will have to function reliably in the rigorous marine environment. Also, the energy must be transmitted some distance to shore — perhaps a considerable distance since wave machines could cause drastic and undesirable changes in coastal erosion patterns if they were moored too close to shore. An additional problem lies in designing the string of floats so that they will withstand the tremendous loads that a stormy sea could impose. These are not simple problems and much time and effort will be required for their solution.

Despite the drawbacks, both technical and economic, Mr. Ploeg has no doubt that eventually wave energy will become a practical proposition and will contribute to the world's energy demands. "Because there is so much of this energy available," he says, "sooner or later it will be used." □

David Mosey

ment dans la gamme des 14 secondes; mais les vagues de cette période ne se produiront pas tout le temps. On aura également des vagues de différentes fréquences auxquelles les systèmes mécaniques réagiront à peine, de sorte que, quel que soit le système mécanique utilisé, on ne sera en mesure d'exploiter qu'une partie de l'énergie totale produite par les vagues.

L'orientation de la vague est une autre variable. En raison de leur grande dimension (les plans actuels envisagent des "chapelets" de flotteurs basculants ou de radeaux de plusieurs kilomètres de long) il sera impossible de manoeuvrer les chapelets de collecteurs en fonction des changements de direction des vagues. A certains moments, la fréquence des vagues conviendrait bien à la production d'énergie, mais leur orientation ne serait pas bonne, ce qui réduirait plus encore la quantité d'énergie exploitable.

Il est donc manifestement indispensable de connaître la sorte de spectre de fréquences et d'orientation prédominante de la vague que l'on rencontrera probablement sur le site d'exploitation envisagé. Le Dr Mogridge et M. Ploeg évaluent actuellement le "régime" des vagues le long des côtes canadiennes en se servant de données du Groupe d'étude du champ de la vague du Ministère des travaux publics. Ce groupe a enregistré pendant les cinq dernières années les paramètres des vagues à des sites stratégiques, surtout pour de la planification portuaire. M. Ploeg a émis l'avis que si l'utilisation de l'énergie des vagues à grande échelle devenait éventuellement envisageable, la côte Ouest serait la région la plus avantageuse à exploiter. L'étalement directionnel des vagues y est en effet beaucoup moins important que sur la côte Est, les vagues venant toujours de la même direction, leur fréquence a tendance à ne pas fluctuer et leur hauteur moyenne est en général plus élevée.

Ce qui fait le grand intérêt de l'énergie tirée des vagues est que, comparativement à l'énergie éolienne, par exemple, les vagues représentent une source d'énergie assez concentrée. En réalité, la mer se comporte comme un collecteur géant d'énergie éolienne, qui absorbe cette énergie sur des milliers de milles carrés et la concentre sous forme de vagues. Des évaluations faites en Grande-Bretagne donnent à penser que l'énergie totale disponible dans les vagues (calculée sur une moyenne annuelle) est d'environ 70 kW par mètre de front de vague. M. Ploeg souligne que ce chiffre est le total *disponible* et non pas le

total qu'il est possible d'obtenir. "Notre chiffre maximum," dit-il, "est 58 kW/m et ce chiffre est basé sur une bande spécifique de fréquences de vagues qu'un type unique de système de conversion pourrait, pense-t-on, raisonnablement exploiter." Il s'agit là d'un chiffre théorique maximal qui doit être ajusté en fonction des insuffisances des procédés de conversion et de transmission de l'énergie. Tenant compte de ces facteurs, M. Ploeg pense qu'un chiffre plus réaliste pourrait se situer entre 14 kW/m, si l'on est optimiste, et 3 kW/m de rendement moyen annuel, si l'on est pessimiste. Les besoins actuels de la Colombie britannique en énergie sont de 7 200 MW annuellement; il faudrait donc pour couvrir ces besoins en utilisant l'énergie des vagues disposer d'un chapelet de collecteurs de 520 à 2 400 km de long (320 à 1 500 milles). Cet exemple plutôt extrême souligne le fait que les coûts d'investissement pour les systèmes exploitant l'énergie des vagues pourraient être réellement très élevés. Les estimations actuelles les plus optimistes commencent à 1 600 dollars le kW. Ceci est à comparer avec les quelque 600 dollars le kW considérés comme un chiffre acceptable pour les systèmes existants de génération d'énergie à faible coût d'exploitation mais à coûts d'investissement élevés.

Il y a aussi des problèmes techniques à résoudre. M. Ploeg souligne que tout système de captage et de conversion d'énergie devrait pouvoir fonctionner sans défaillance dans le sévère environnement marin. L'énergie doit également être transmise sur une certaine distance jusqu'à terre et les distances impliquées pourraient s'avérer considérables en raison du fait que ces systèmes risqueraient d'entraîner des changements sérieux et indésirables dans le profil de l'érosion littorale s'ils se trouvaient trop près de la côte. Un autre problème réside dans la conception du chapelet de flotteurs qui doivent pouvoir résister aux charges considérables qu'une mer en furie pourrait imposer. Ce ne sont pas des problèmes simples et il faudra beaucoup de temps et d'efforts pour les résoudre.

En dépit de ces inconvénients, à la fois techniques et économiques, M. Ploeg ne doute pas qu'il sera éventuellement avantageux d'exploiter l'énergie des vagues et qu'elle contribuera à satisfaire aux besoins de la planète. Sa conclusion est que: "Cette énergie est si abondante qu'elle sera tôt ou tard utilisée." □

Texte français: **Claude Devismes**

A recreational application of wave power - surfing off Waikiki Beach, Hawaii.



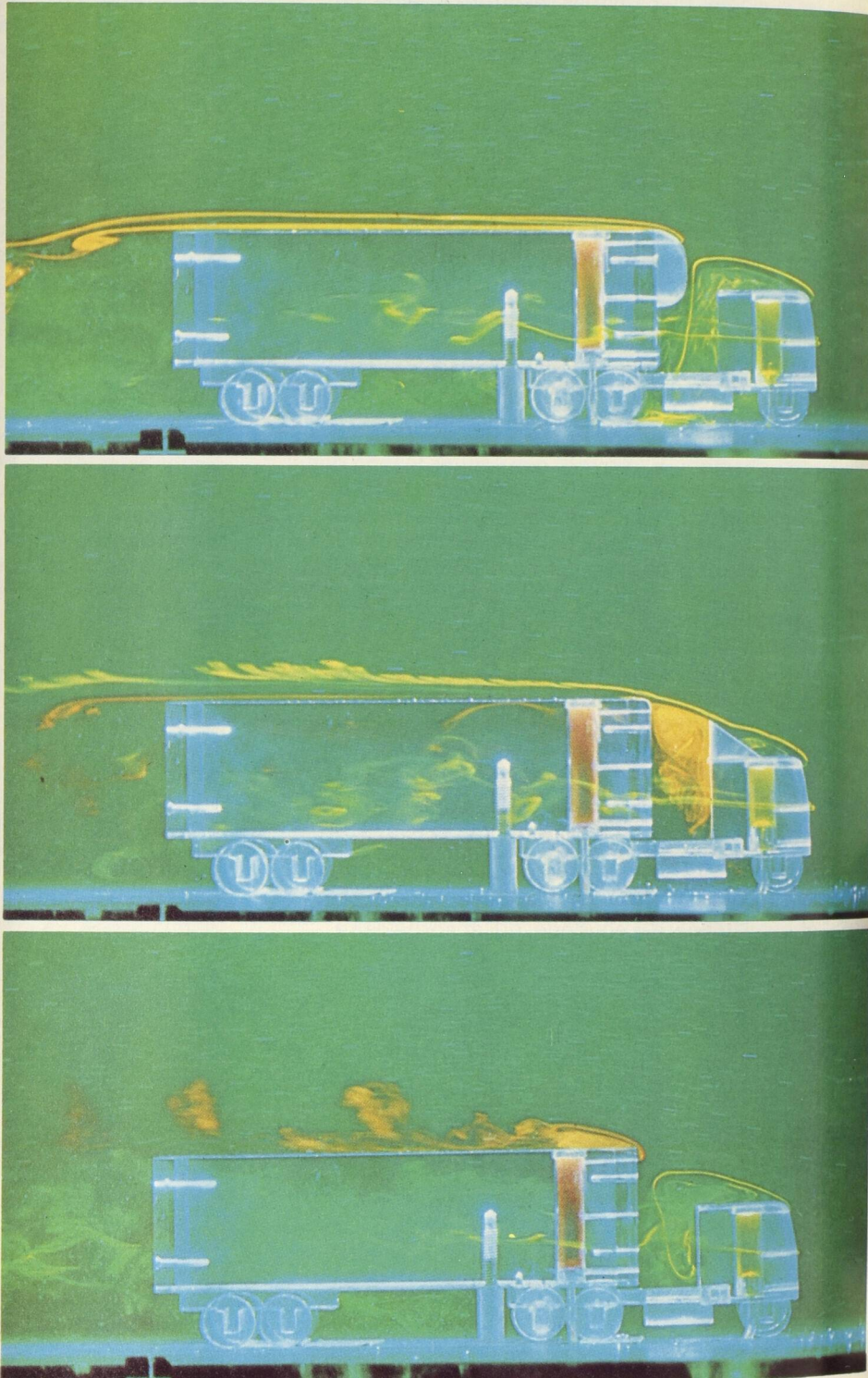
Une application récréative de l'énergie des vagues: le "surfing" au large de Waikiki Beach, à Hawaï.

Streamlining truck design — Foiling the wind

The Low Speed Aerodynamics Laboratory at NAE has carried out a number of tests aimed at reducing the air resistance on trucks by using deflectors, nosecones and rear-end moldings. The study has shown that fuel savings as high as eight per cent can be achieved when the streamlining of certain kinds of trucks is improved.

For some years now, the aerodynamicist's expertise has been essential to the designers of grand prix racing cars, as these vehicles have sprouted wings fore and aft in an effort to improve roadholding. The "wings" generate negative lift — a downwards force providing extra vertical load to offset the horizontal forces generated in cornering. This design feature spilled over to the production lines of the "big four" automobile manufacturers and soon motorists became used to the sight of high performance cars sporting a variety of strut-mounted aerofoils or a more modest upward curve designed into the rear deck as a "spoiler". Though in some cases the effect was more cosmetic than anything else, the intention was that at high speeds the spoiler or aerofoil would reduce lift or generate a downward force on the rear end of the car to improve traction and stability. The aerodynamic add-on was the badge of the muscle car.

The observant motorist might have noticed recently that an increasing number of large trucks are now sporting spoilers of a kind on their cab roofs. Does this mean that the trucking industry is going into the racing business? Can we expect a Can-Am series devoted to 20 wheelers? No, not exactly. The "spoilers" are in fact air deflectors designed to reduce the aerodynamic drag of the vehicles and are coming into increased use as truck operators discover that significant fuel savings are possible. A researcher at the National Aeronautical Establishment's Low Speed Aerodynamics Laboratory has undertaken a series of wind tunnel tests of truck models fitted with various types of deflectors to assess their drag-reducing properties and to investigate other possible modifications to tractor trailer units to improve their aerodynamic performance. Kevin Cooper is carrying out this program in association with CP Transport, whose ready access to data on trucking operations will be useful in the comparison of actual operational experience and the predictions from model tests.



National Aeronautical Establishment, NRC/Établissement aéronautique national, CNRC

Yellow dye in flowing water allows researchers to visualize the air flow around a tractor-trailer. In these pictures of a transparent model in NRC's water tunnel, the smooth flow behind a nose cone (top), and a cab-mounted deflector (center), can be compared with (bottom) the turbulent flow around an unmodified truck. Turbulence causes drag, while smooth flow permits more economical performance.

Le colorant jaune ajouté à l'eau permet aux chercheurs de visualiser l'écoulement de l'air autour de cette maquette transparente de semi-remorque placée dans un tunnel hydrodynamique. Elle permet de comparer l'écoulement non perturbé derrière un carénage aérodynamique (en haut) et un écoulement tourbillonnaire autour d'un camion non modifié. La turbulence engendre une traînée alors que l'écoulement non perturbé fait réaliser des économies.

Des camions aérodynamiques

Comment économiser plus d'essence

Le Laboratoire de l'aérodynamique des faibles vitesses de l'ÉAN a procédé à des essais de maquettes de camions munis de déflecteurs et de carénages aérodynamiques qui conduisent à une réduction de la consommation de carburant pouvant atteindre 8% avec certains types de véhicules.

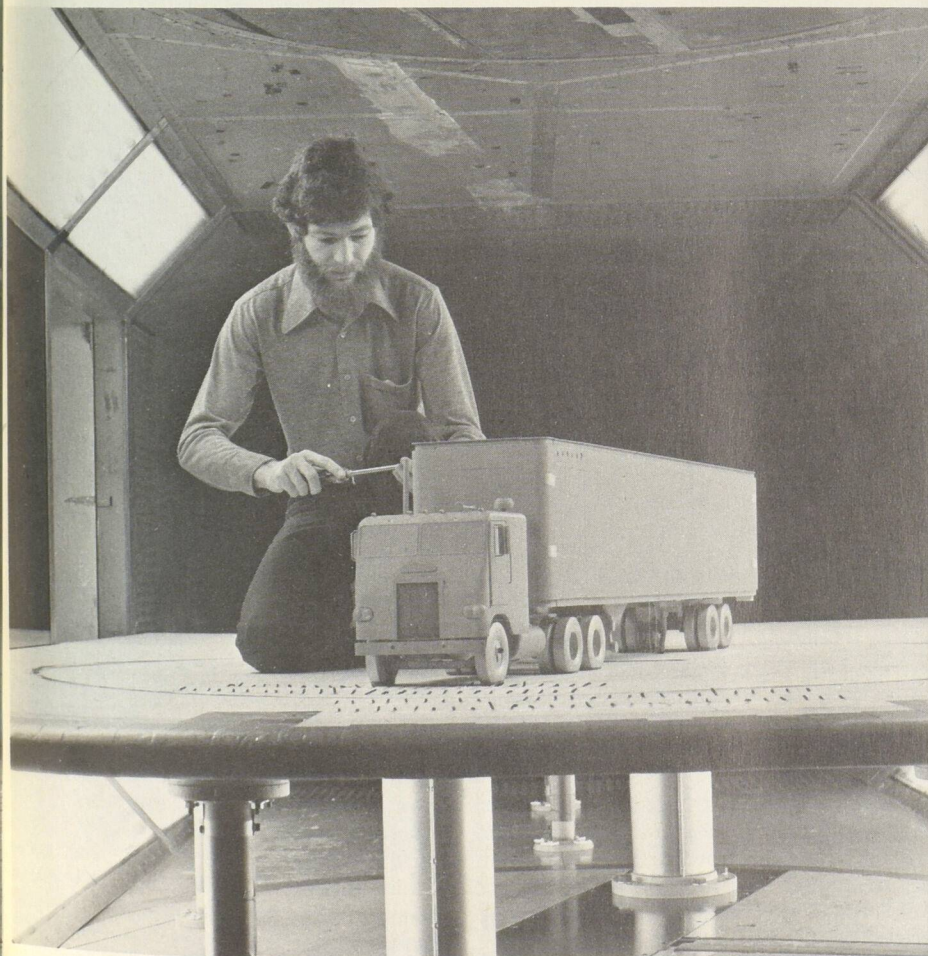
Depuis quelques années déjà, ceux qui dessinent les voitures de course ne peuvent plus se passer de l'expertise de l'aérodynamicien du fait que l'on a greffé des ailes à l'avant et à l'arrière de ces véhicules pour améliorer leur tenue de route. Ces «ailes» engendrent une portance négative, c'est-à-dire une poussée vers le bas dont il résulte une charge verticale destinée à contrebalancer les forces horizontales qui se manifestent dans les virages. Cette innovation devait bientôt apparaître sur les chaînes de montage des «quatre grands» constructeurs d'automobiles et les automobilistes ne tardèrent pas à

s'habituer aux voitures de haute performance exhibant une variété de stabilisateurs, ou «spoilers», à profil d'aile ou se terminant par un arrière relevé jouant le même rôle. Bien que dans certains cas l'effet ait été plus esthétique qu'efficace, l'objet du stabilisateur était de réduire la portance ou d'engendrer une poussée verticale sur la partie arrière du véhicule pour en améliorer la traction et la stabilité. Cette addition aérodynamique était la marque de fabrique de la voiture musclée.

Le conducteur attentif s'est peut-être aperçu récemment qu'il y a maintenant de plus en plus de gros camions qui sont équipés d'un type ou d'un autre de «spoiler» installé sur le toit de leur cabine. Cela signifie-t-il que l'industrie du camionnage se lance dans la compétition automobile? Verrons-nous une série Can-Am pour les 20-roues? Non, pas exactement. Ces «spoilers» sont en fait des déflecteurs destinés à réduire la traînée aérodyna-

mique des véhicules et leur nombre s'accroît à mesure que les transporteurs découvrent qu'ils permettent de réaliser d'importantes économies de carburant. Un chercheur du Laboratoire de l'aérodynamique des faibles vitesses de l'Établissement aéronautique national a entrepris une série d'essais en soufflerie de maquettes de camions équipées de différents types de déflecteurs afin d'étudier leur aptitude à réduire la traînée et d'autres modifications susceptibles d'améliorer le rendement aérodynamique de l'ensemble tracteur-remorque. Kevin Cooper réalise ce programme en collaboration avec CP Transport. Cette compagnie peut fournir immédiatement des données sur l'exploitation d'une flotte de camions de transport et ces données seront utiles pour comparer les résultats réels d'exploitation avec les prévisions faites à partir d'essais sur maquettes.

M. Cooper nous précise qu'il existe deux types de forces de freinage qu'un véhicule doit combattre: la résistance au roulement et la traînée aérodynamique. Si la résistance au roulement, qui est liée au poids du véhicule et à laquelle participent la «traînée» des pneus, les composantes des trains avant et arrière et la transmission, ne varie pratiquement pas avec la vitesse, la traînée aérodynamique, par contre, est proportionnelle au carré de la vitesse. Aux faibles vitesses elle est considérablement moins importante que la résistance au roulement, mais elle devient une force dont il faut tenir compte à mesure que la vitesse augmente. Pour la plupart des camions lourds, la traînée aérodynamique est égale à la résistance au roulement à la vitesse de 50 à 60 milles à l'heure (90 à 100 km/h), si bien que toute réduction de cette traînée se traduira par une économie de carburant. La vitesse exacte à laquelle la traînée aérodynamique commence à dépasser la résistance au roulement dépend de la «densité» du véhicule ou, si l'on préfère, du rapport du poids du véhicule à sa surface frontale. Écoutons M. Cooper: «On en comprend immédiatement l'importance si on compare l'ensemble classique tracteur-remorque avec un camion sans attelage. Le semi-remorque est un véhicule très «dense» alors qu'avec le camion sans attelage on a une surface frontale presque équivalente mais un poids qui n'est que le tiers, de sorte que la traînée aérodynamique va constituer un facteur important aux basses vi-



National Aeronautical Establishment, NRC/Établissement aéronautique national, CNRC

Inside the wind tunnel, researcher Kevin Cooper adjusts a detailed model.

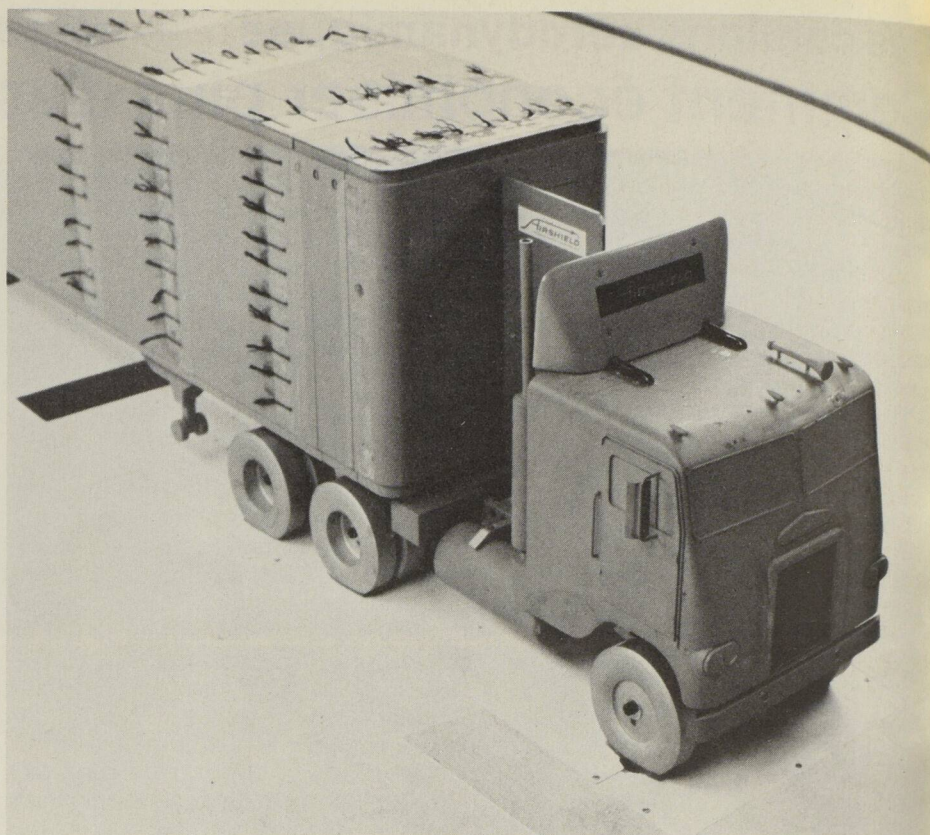
Kevin Cooper apporte les dernières mises au point à une maquette installée dans la veine d'essais.

Mr. Cooper explains that there are two types of retarding force that a vehicle must overcome — rolling resistance and aerodynamic drag. Rolling resistance, related to vehicle weight and including the “drag” of tires, wheel bearings and transmission, is nearly constant with speed. Aerodynamic drag on the other hand is proportional to the square of the speed — at low speeds it is of considerably less significance than rolling resistance — but as speed increases, it rapidly becomes a force to be reckoned with. For most heavy trucks, aerodynamic drag is equal to rolling resistance at a speed of 50 - 60 mph (90 - 100 km/h), so any reduction in drag will have a significant effect.

The exact speed at which aerodynamic drag begins to overtake rolling resistance is dependent upon the “density” of the vehicle — the relationship between vehicle weight and frontal area. “You can see the significance of this,” says Mr. Cooper, “if we compare the typical highway tractor-trailer unit with a single chassis truck. With the tractor-trailer, you have quite a “dense” vehicle. But with a single-chassis truck you will have about the same frontal area, but only one-third of the weight, so aerodynamic drag is going to be an important factor at lower speeds, typical of city operation. We’ve been able to show CP Transport that they may be able to save as large a fraction of fuel on their straight truck operations around cities as they can on their intercity tractor-trailers by improving the aerodynamic performance.”

Aerodynamically, trucks are very badly shaped. The blunt contours of tractor units, and the box-shaped trailers, offer considerable air resistance in the form of pressure forces, positive on the front faces of the trailer and negative at the rear face of the trailer. One method of gaining noticeable reduction in the positive pressures is to deflect the airstream flowing over the tractor cab’s roof upwards and over the trailer. Deflectors of this kind, first introduced by the Rudkin-Wiley Corporation as the “Airshield”, are essentially slightly curved plates mounted on the cab roof. And they achieve a significant reduction in drag, providing fuel savings of 6 to 8 per cent.

Even more complex roof-mounted deflectors have been developed. While the basic deflector is essentially a curved plate, more sophisticated models are designed to be effective in the lateral as well as the longitudinal plane. Mr. Cooper points out: “these deflectors have a more three-dimensional



National Aeronautical Establishment, NRC/Établissement aéronautique national, CNRC

A model truck, equipped with a deflector on the tractor roof and a “gap shield” to seal the space between tractor and trailer. Wind tunnel tests indicated, and full-scale road tests confirmed, that this prototype design is very effective for reducing aerodynamic drag. The wool tufts attached to the model enable researchers to “see” the air flow.

shape and they offer further improvements, especially in strong side winds. Potentially, up to a 20 per cent reduction in fuel consumption might be brought about through aerodynamic modifications to tractor-trailer units.” Though enclosing the whole tractor-trailer unit in a carefully designed streamlined structure would give dramatic drag reductions, Mr. Cooper points out it would be totally impractical from an economic viewpoint. “It is the old story of the law of diminishing returns,” he says. “The first 60 to 70 per cent of the possible drag reduction can be obtained fairly easily; the last 30 or 40 per cent is much more difficult to achieve and may not be cost-effective.”

Previous work by the Low Speed Aerodynamics Laboratory on elevated transit vehicles showed that significant aerodynamic improvements could be achieved by “rounding off” the sharp edges of the rectangular vehicles.

Mr. Cooper is particularly interested in several future areas of investigation — the refinement of wind-tunnel testing techniques and, on a more imme-

Maquette de camion avec déflecteur installé sur le toit de la cabine du tracteur et «panneau intercalaire vertical» occupant la partie médiane séparant le tracteur de la remorque. Les essais en soufflerie, confirmés par les essais routiers, ont montré que cette configuration est très efficace pour réduire la traînée aérodynamique. Les brins de laine fixés sur la maquette permettent aux chercheurs de visualiser l'écoulement.

diately applicable level, improvement of the aerodynamic performance of both the tractor unit as well as the front and rear ends and the underside of the trailer. “More and more people are using wind tunnels to evaluate vehicle performance,” says Mr. Cooper, “especially in the field of heavy transportation, but we need to refine our techniques and establish some generally accepted testing standards.”

While Mr. Cooper is quick to point out that significant fuel economies can be realized by other than aerodynamic means (he cites radial-ply tires, electrically driven radiator fans and revised engine design), he emphasizes that aerodynamic modifications will probably make the largest single contribution to fuel economy and that truck operators are likely to adopt these modifications as the price of fuel continues to rise. It seems, then, that giant transporters fitted out with various kinds of air deflectors, aerofoils and other devices will become an increasingly familiar sight to highway motorists. □

David Mosey

tesse correspondant à l'utilisation urbaine. Nous avons été en mesure de démontrer à la compagnie CP Transport que l'amélioration du rendement aérodynamique lui permettrait de réaliser une économie de carburant aussi importante avec ses camions urbains qu'avec ses semi-remorques interurbains.»

Du point de vue aérodynamique, la forme des camions est très mauvaise. Le dessin anguleux des tracteurs et la section rectangulaire des remorques opposent une résistance considérable à l'air sous forme de forces de pression, positives sur les parties frontales de la remorque, et négatives sur sa par-

tie arrière. On peut obtenir une réduction notable des pressions positives en déviant l'écoulement pour le faire passer au-dessus du toit de la cabine du tracteur et de la remorque. Les déflecteurs de ce type, qui ont été lancés par la Rudkin-Wiley Corporation sous le nom d'Airshield, sont essentiellement constitués de tôles légèrement incurvées montées sur le toit de la cabine. Elles réduisent la traînée de façon importante et l'économie de carburant réalisée est de 6 à 8%.

Des déflecteurs de toit encore plus complexes ont été mis au point. Alors que le déflecteur classique n'est rien de plus qu'une tôle incurvée, des modèles

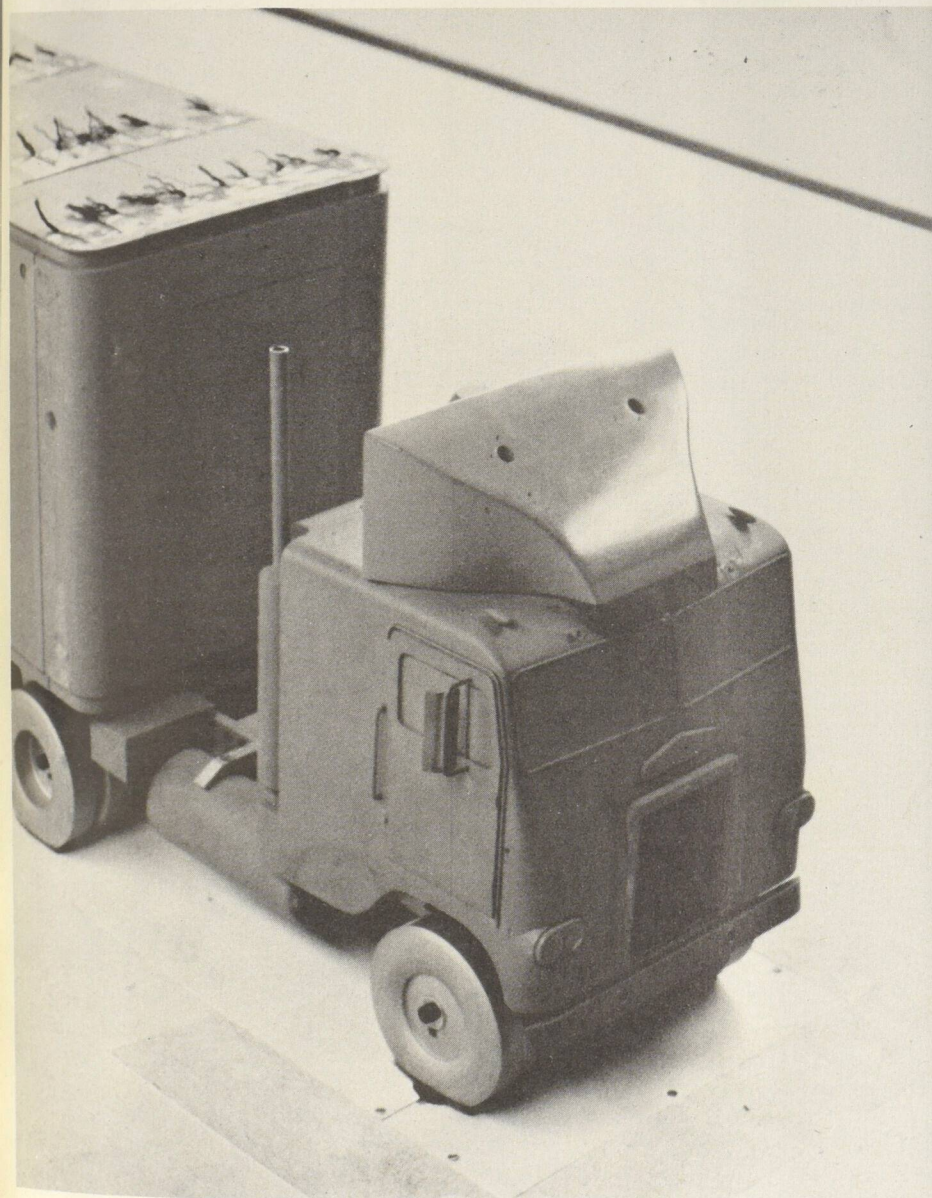
plus élaborés sont conçus pour être efficace dans les plans latéral et longitudinal. Écoutons encore M. Cooper: «Ces déflecteurs ont une forme tridimensionnelle plus accentuée et ont d'autres avantages, notamment dans les cas de forts vents latéraux. En modifiant l'aérodynamique des ensembles semi-remorques, il est théoriquement possible d'obtenir une réduction de consommation pouvant atteindre 20%. La traînée pourrait être considérablement réduite si l'on enferme la semi-remorque dans une structure aérodynamique soigneusement étudiée mais M. Cooper souligne que ce serait là une solution économiquement inacceptable. «C'est», dit-il, «la vieille histoire de la loi du rendement non proportionnel. Les premiers 60 à 70% de réduction de traînée peuvent être obtenus assez facilement, mais les derniers 30 ou 40% exigent des tours de force et ce n'est tout simplement pas rentable.»

D'autres travaux exécutés par le Laboratoire de l'aérodynamique des faibles vitesses sur des véhicules de transport urbain se déplaçant sur un rail aérien ont montré que d'importantes améliorations aérodynamiques pourraient être réalisées en «arrondissant» les arêtes vives des véhicules rectangulaires.

M. Cooper s'intéresse particulièrement à plusieurs domaines qu'il se propose d'étudier prochainement: le perfectionnement des techniques d'essais en soufflerie et, à un niveau susceptible d'applications plus immédiates, l'amélioration du rendement aérodynamique du tracteur ainsi que des parties frontale et arrière et du dessous de la remorque. «On se sert de plus en plus des souffleries pour évaluer le rendement des véhicules, notamment pour les transports lourds, mais il nous faut raffiner nos techniques et définir certaines normes d'essais qui soient acceptées de tous», nous a dit M. Cooper.

Quoique M. Cooper s'empresse de faire remarquer que d'importantes économies de carburant peuvent être réalisées par d'autres moyens (il cite les pneus radiaux, les ventilateurs à commande électrique et des moteurs repensés), il souligne que ce sont probablement les modifications aérodynamiques qui contribueront le plus aux économies de carburant et que les entreprises de camionnage les adopteront vraisemblablement à mesure que le carburant augmentera. Il semble donc bien qu'il faille s'attendre à voir sur les routes un nombre croissant de camions géants équipés de différents types de déflecteurs, de stabilisateurs et autres dispositifs aérodynamiques. □

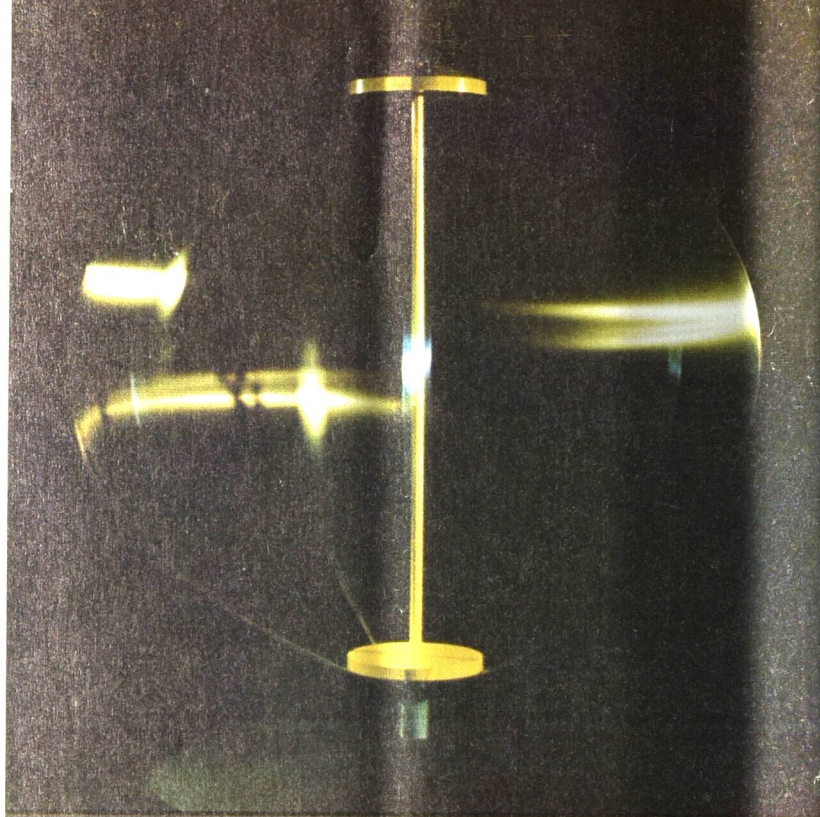
Texte français: Claude Devismes



National Aeronautical Establishment, NRC/Établissement aéronautique national, CNRC

The best deflector examined in NRC's wind tunnel was General Motor's Dragfoiler, a special version of which is mounted on this model. Its 3-dimensional shape reduces drag caused by wind from the sides as well as from the front.

Le Dragfoiler de General Motors, dont une version spéciale équipe cette maquette, est apparu comme étant le meilleur déflecteur essayé jusqu'à maintenant dans une soufflerie du CNRC. Sa forme tridimensionnelle réduit la traînée engendrée tant par les vents latéraux que frontaux.



The windmill is one of man's most ancient methods for harnessing energy. The front cover shows one of the older types, the bleak contrast suggesting perhaps the kind of future that may lie beyond the era of fossil fuels. Illustration: Bruce Kane, NRC. As a more optimistic counterpoint, the back cover shows a model of an NRC-developed vertical axis windmill in operation, a better, more efficient means of tapping this important reservoir of renewable energy. Photograph: Patricia Grichen, NRC.

L'éolienne est l'un des premiers outils utilisés par l'homme pour produire de l'énergie et si nous l'avons choisie pour illustrer notre couverture c'est pour mieux marquer le contraste existant entre une époque d'abondance énergétique et un avenir pour lequel, nos combustibles fossiles étant épuisés, il nous faudra trouver d'autres sources d'énergie et retourner aux moulins à vent. Illustration de Bruce Kane, CNRC. Pour finir sur une note plus optimiste, nous avons voulu vous montrer, en dos de couverture, la maquette d'une éolienne moderne mise au point par le CNRC et qui permettra certainement d'exploiter beaucoup plus efficacement cet inépuisable réservoir d'énergie qu'est le vent. Photographie par Patricia Grichen, CNRC.