

# SCIENCE DIMENSION

1976/5

ENERGY / L'ÉNERGIE



National Research  
Council Canada

Conseil national  
de recherches Canada

## Contents / Sommaire

### 6 The unregulated sun

Solar energy — can it supplement conventional sources?

#### Le soleil gaspillé 7

L'énergie solaire deviendra-t-elle une source additionnelle d'énergie?

### 10 Isotope shifts

A different approach to isotope separation using laser light.

#### Les transitions isotopiques 11

Une approche différente de la séparation isotopique à l'aide de lasers.

### 14 Hyperion's grandchildren

Future energy shortages — is the answer in the winds?

#### Les petits-enfants d'Hypériorion 15

L'énergie éolienne est-elle la réponse à la question du manque d'énergie à l'avenir?

### 22 Energy for tomorrow?

Scientists tackle two technological problems related to controlled nuclear fusion.

#### L'énergie de demain? 23

Des chercheurs s'attaquent à deux problèmes techniques reliés à la fusion nucléaire contrôlée.

### 28 Bind the restless wave

Wave energy — will it contribute to the world's energy budget?

#### Domptons les vagues 29

L'énergie des vagues apportera-t-elle sa contribution aux besoins énergétiques mondiaux?

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

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

Managing Editor Loris Racine Directeur

Editor Joan Powers Rickerd Rédactrice en chef

Associate Editors Wayne Campbell Dr. Wally Cherwinski Rédacteurs en chef adjoints

Designer and Print Supervisor Robert Rickerd Maquettiste et contrôleur de l'impression

Photography Bruce Kane Photographie

Printer Dollco Imprimeur  
31059-5-0782

### A talk with Edward Teller

During his recent Canadian visit, Dr. Edward Teller, eminent American nuclear physicist, met with research groups at the National Research Council of Canada. Discussions covered several areas of study, including the Photochemical Isotope Enrichment project (story page 10) and the Division of Chemistry.

Born in Budapest, Hungary, Dr. Teller began his career in 1930 as a research student at the University of Leipzig, Germany. Since then, he has received numerous honours for contributions to the fields of chemistry, quantum theory, molecular and nuclear physics. During the 1940s he was one of the pioneers in the detailed study of the mononuclear reactions.

In a public lecture at NRC's Sussex Drive Auditorium, Dr. Teller discussed the future of nuclear fission reactors, expressing his confidence in their continued safe operation. After weighing the merits of current models of fission reactor, he observed: "the best happens to be CANDU." Since it offered considerable neutron economy, he felt the CANDU was the best alternative to the breeder reactor. He added that future versions of CANDU which may burn thorium fuel, could extend the lifetime of uranium supplies ten times or more.

He concluded by emphasizing the importance of well planned research and development to the future of humankind: "Nuclear energy is only one small slice of the large technological pie; all of which has an influence on the way we live and how well we can live with each other." □



Michael Bedford, Ottawa

### Une conversation avec Edward Teller

Au cours de sa récente visite au Canada, le Dr Edward Teller, physicien nucléaire américain éminent, a rencontré des groupes de chercheurs du Conseil national de recherches du Canada. Les discussions ont porté sur plusieurs domaines d'étude dont le projet d'enrichissement isotopique photochimique (voir notre article, page 11) de la Division de chimie.

Né à Budapest, en Hongrie, le Dr Teller a commencé sa carrière en 1930 comme étudiant et chercheur à l'Université de Leipzig, en Allemagne. Depuis cette époque il a reçu de nombreuses distinctions pour ses contributions dans les domaines de la chimie, de la théorie quantique et de la physique moléculaire et nucléaire. Au cours des années 1940, il a été l'un des pionniers de l'étude détaillée des réactions thermonucléaires.

Dans une conférence publique donnée au Conseil national de recherches, promenade Sussex, le Dr Teller a discuté de l'avenir des réacteurs à fission nucléaire et il a exprimé sa confiance dans leur fonctionnement sûr et continu. Après avoir comparé les mérites des modèles actuels de réacteur à fission, il a dit: "Le meilleur se trouve être le CANDU." Puisque ce réacteur offre l'avantage de faire une économie neutronique considérable, il a pensé que le CANDU est la meilleure solution si l'on veut éviter de se servir de surgénérateurs rapides. Il a ajouté que les versions futures du CANDU, qui pourraient utiliser du thorium comme combustible, pourraient permettre d'économiser l'uranium au point que les réserves durent au moins dix fois plus longtemps.

Il a conclu en mettant l'accent sur l'importance d'une recherche et d'un développement bien planifiés pour l'avenir de l'humanité. Il a dit: "L'énergie nucléaire ne constitue qu'une petite partie du vaste domaine technologique exploitable qui a d'ailleurs une influence sur la manière dont nous vivons et sur la qualité des relations entre les hommes." □

The decade of the seventies may well be remembered as the period when man finally came face to face with the realities of his energy situation. Certainly for nations heavily dependent upon the fossil fuels, the challenge of meeting future energy requirements has become a major preoccupation.

According to NRC's Energy Project Coordinator, Dr. Philip Cockshutt, success in this quest will depend upon society taking as broad an approach as possible to the problems of energy supply and utilization. Because of the intimate economic interrelationship among the various energy sources and the fact that all have effects to a greater or lesser extent on the environment, it is important that the field be considered in its entirety.

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.

To ensure that such surprises are not part of the energy scenario of the future, it is essential that society's research programs cover all aspects of the field, from energy source development to efficiency (and prudence) of delivery and use. Such an ecumenical outlook is reflected in the diversity of stories that appear in this issue of Science Dimension. Though it does not purport to be exhaustive in its coverage, nonetheless it touches on four of the most promising future energy sources, the wind, the waves, the sun, and nuclear fusion. As well, it considers an area of research with consequences for the already developed nuclear power industry.

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. □

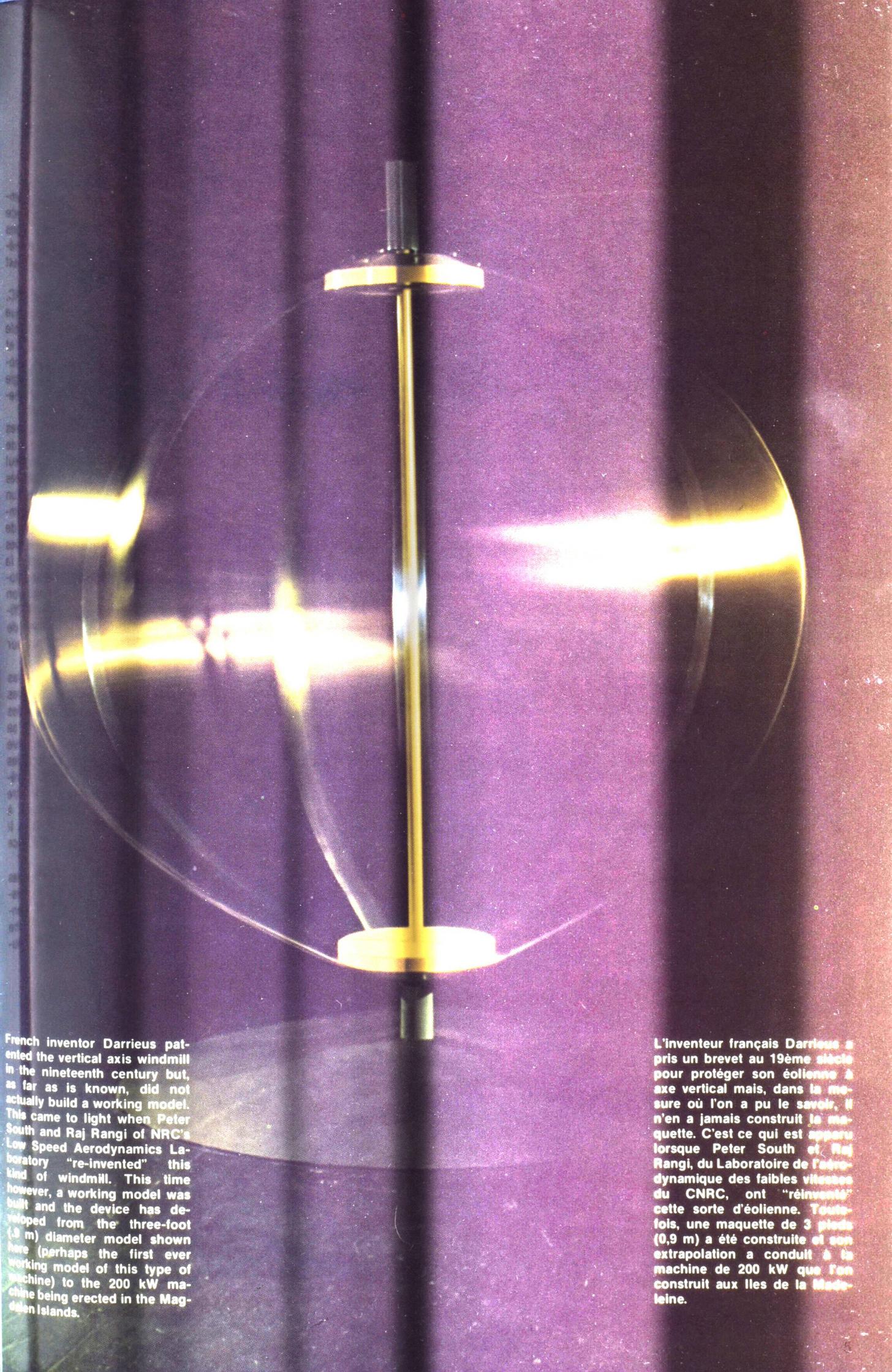
On se souviendra peut-être des années soixante-dix comme de la période où l'homme a finalement pris conscience des réalités de sa situation énergétique. Pour les nations fortement tributaires des combustibles fossiles, la nécessité d'assurer leurs besoins en matière d'énergie est devenue une préoccupation majeure.

Selon le coordonnateur du Projet énergie du CNRC, le Dr Philip Cockshutt, cette quête ne sera fructueuse que si la société adopte une approche aussi large que possible pour s'attaquer aux problèmes de l'approvisionnement et de l'utilisation de l'énergie. En raison des rapports économiques étroits existant entre les diverses sources d'énergie et de leurs effets plus ou moins marqués sur l'environnement, il importe d'étudier exhaustivement ce domaine.

L'exemple que nous fournit le Dr Cockshutt, du Londres du 19ème siècle, où le cheval était le principal mode de transport, souligne le danger de trop miser sur un seul système d'énergie, même sur l'un de ceux considérés comme idéaux présentement. L'impact écologique d'un aussi grand nombre de chevaux était reflété par l'impressionnant tonnage annuel de crottin. Si un Anglais de l'époque avait rencontré une automobile dans les rues aux effluves ammoniacales, il y aurait certainement vu la solution idéale à la pollution de sa ville; après tout, l'automobile n'émettait qu'une mince traînée de fumée. Selon le Dr Cockshutt, cet Anglais aurait beaucoup de difficulté à déterminer les effets délétères à long terme de ces gaz d'échappement apparemment inoffensifs sur l'atmosphère londonnienne.

Pour éviter de telles surprises à l'avenir, il faut que les programmes de recherche de la société couvrent tous les aspects de la question énergétique, de l'exploitation des sources d'énergie à l'efficacité (et à la sagesse) de sa distribution et de son utilisation. Une telle perspective oecuménique est reflétée par la diversité des articles publiés dans ce numéro de Science Dimension. Ne prétendant pas épuiser le sujet, il traite néanmoins de quatre des sources d'énergie futures les plus prometteuses, à savoir: le vent, les vagues, le soleil et la fusion nucléaire. Il aborde enfin un domaine de recherche ayant une incidence sur l'industrie nucléaire actuelle.

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 échantillonnage de quelques-uns des programmes de recherche entrepris ou financés par le CNRC témoigne de la nouvelle attitude canadienne face à ce problème. □



French inventor Darrieus patented the vertical axis windmill in the nineteenth century but, as far as is known, did not actually build a working model. This came to light when Peter South and Raj Rangi of NRC's Low Speed Aerodynamics Laboratory "re-invented" this kind of windmill. This time however, a working model was built and the device has developed from the three-foot (0.9 m) diameter model shown here (perhaps the first ever working model of this type of machine) to the 200 kW machine being erected in the Magdalen Islands.

L'inventeur français Darrieus a pris un brevet au 19<sup>ème</sup> siècle pour protéger son éolienne à axe vertical mais, dans la mesure où l'on a pu le savoir, il n'en a jamais construit la maquette. C'est ce qui est apparu lorsque Peter South et Raj Rangi, du Laboratoire de l'aérodynamique des faibles vitesses du CNRC, ont "réinventé" cette sorte d'éolienne. Toutefois, une maquette de 3 pieds (0,9 m) a été construite et son extrapolation a conduit à la machine de 200 kW que l'on construit aux Iles de la Madeleine.

# 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 m<sup>2</sup>) 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.)

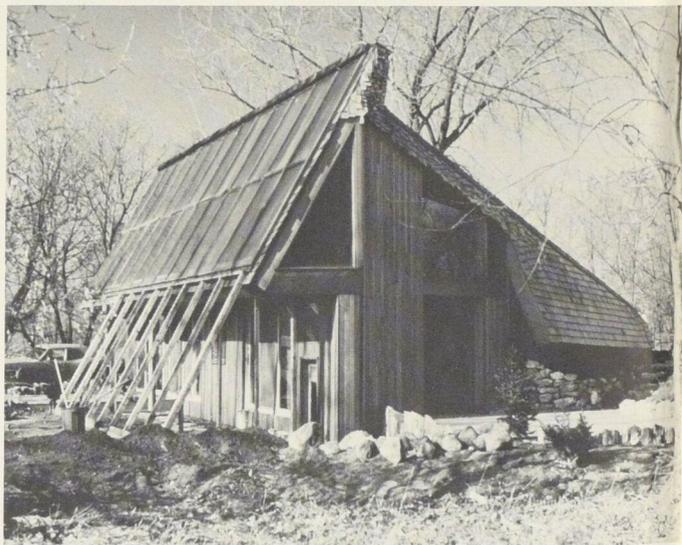
Does this mean then that solar heating is just not economically competitive? Certainly, using current cost figures there appears to be little immediate economic inducement to install solar heating systems, but it must be remembered that, first, conventional energy costs are increasing and can be expected 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 m<sup>2</sup>) 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 com-

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 un étage, 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.

posantes 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 présentant 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 comparativement 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 change-

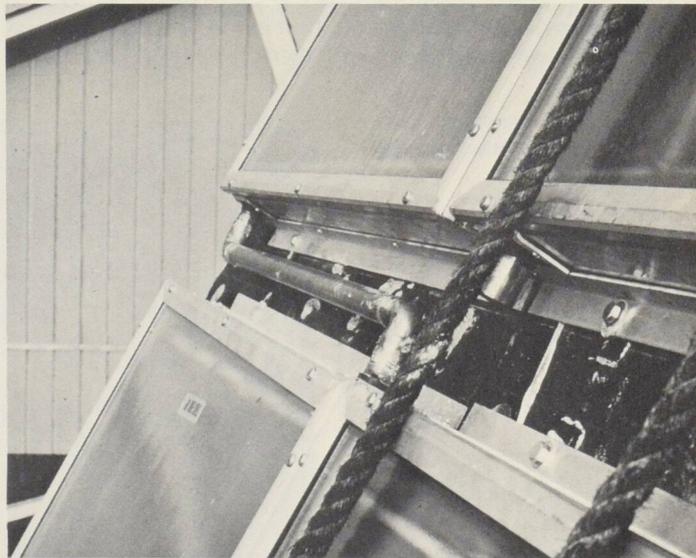
ments de phase (de l'état solide à l'état liquide, par exemple) dans la gamme de températures utilisée pour chauffer les maisons. Lorsque ces matériaux changent de phase, ils absorbent ou libèrent une quantité considérable de chaleur latente laissant ainsi entrevoir la perspective d'éléments d'accumulation 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 Lorrman, 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.

# 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).

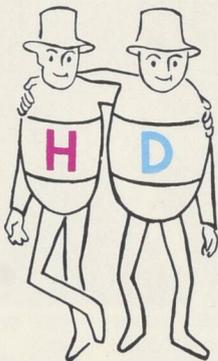
At the heart of the laser separation technique is the so-called isotope shift found in the spectra of such materials. Because of their different masses, hydrogen and deuterium cause the two species to absorb energy at slightly different frequencies. Certain absorption peaks for DF are shifted to positions 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.

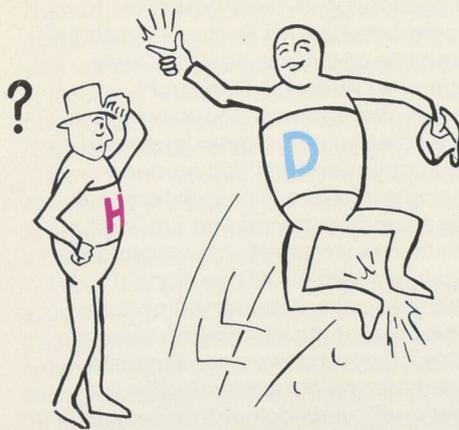
"The HF example seems fine in theory," notes co-researcher Dr. Clive Willis, "but in practice, it is a highly corrosive and toxic material to work with. What we are

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.



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 accueilleront 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.

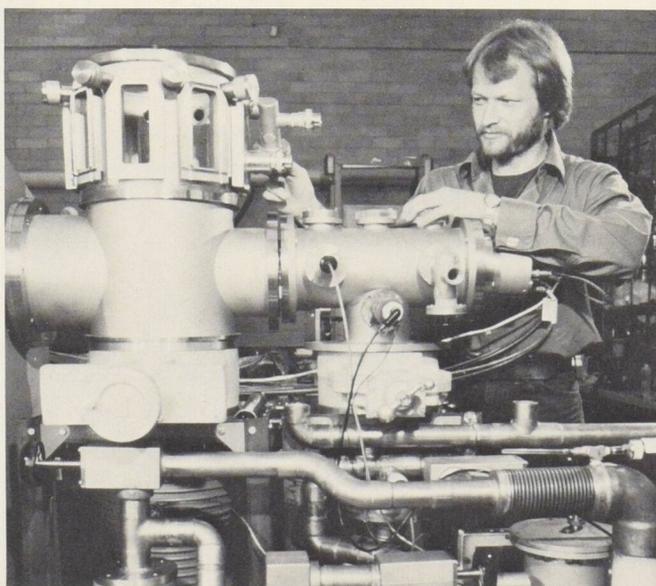
"A présent, nous travaillons sur les aspects fondamentaux de la technique," nous a expliqué le Dr Back. "A plus grande échelle les processus photochimiques sont encore plutôt coûteux quoique les coûts descendront probablement à l'avenir à mesure que les lasers seront perfectionnés."

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.

# isotope shifts

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.

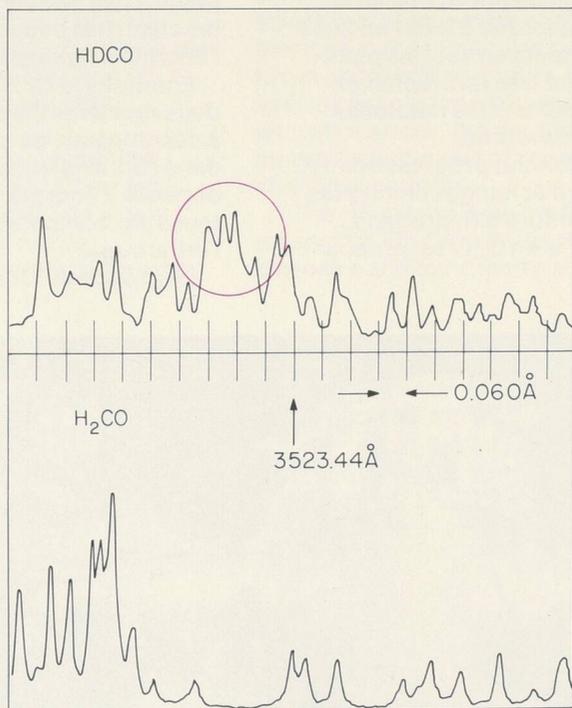
But while separation of such relatively light elements may pose problems, these difficulties are multiplied further for heavy elements like uranium.

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.

Absorption Frequency  
Fréquence d'absorption  
Miss/Mlle C.W. Clyde, NRC/CNRC

# déplacements isotopiques

“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 de 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 basant 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 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.

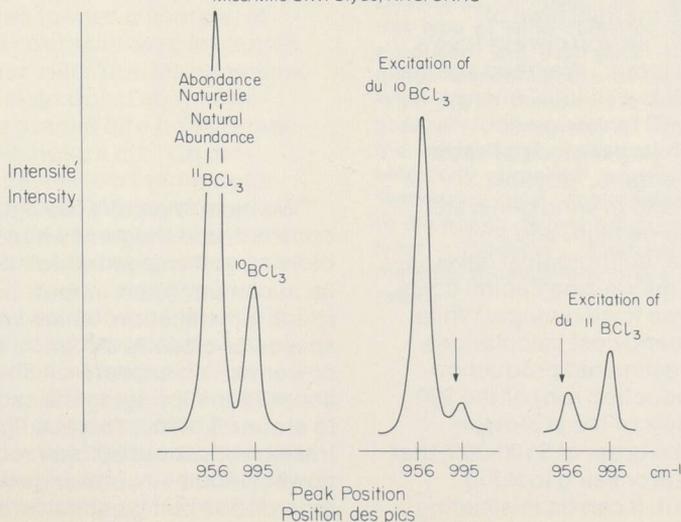
L'uranium naturel, composé principalement de  $^{238}U$ , contient moins de 1% de l'isotope  $^{235}U$  qui se prête à la fission. Les méthodes courantes de séparation basées sur la diffusion gazeuse ou sur les techniques de centrifugation à l'état gazeux dépendent directement de la petite différence 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**

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



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 11-B que de 10-B; après l'irradiation à la fréquence d'absorption de  $^{10}BCl_3$ , une grande partie du  $^{10}B$  réagit et est récupérée; après l'irradiation à la fréquence d'absorption de  $^{11}BCl_3$ , une grande partie du 11-B réagit et est récupérée.

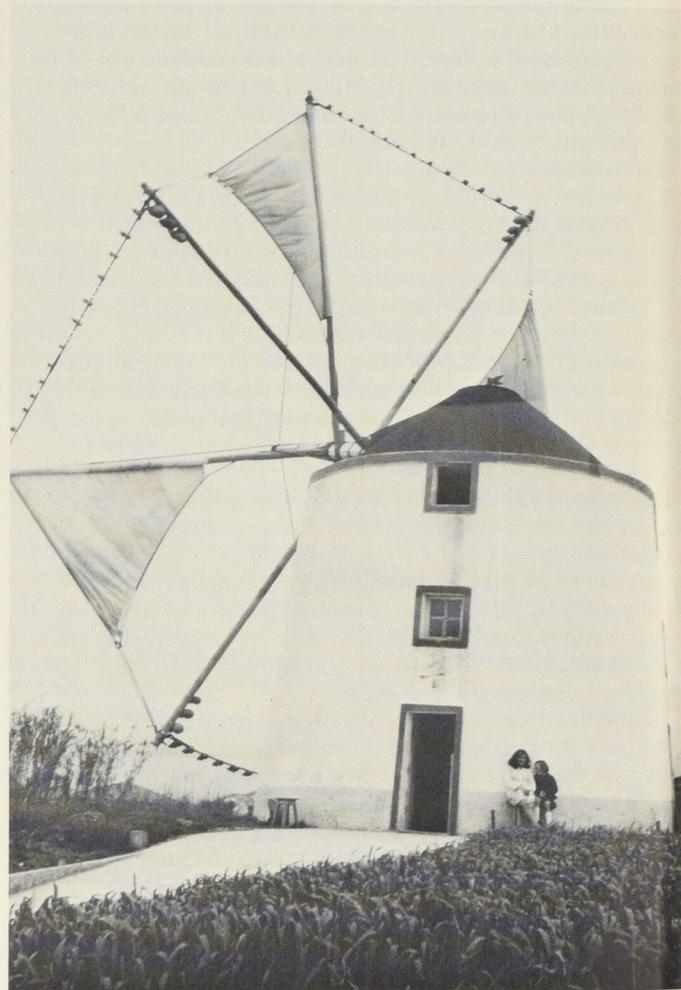
# Power from Hyperion's grandchildren

**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 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.



Jack Templin, NRC/CNRC

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

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

"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 Island's 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.

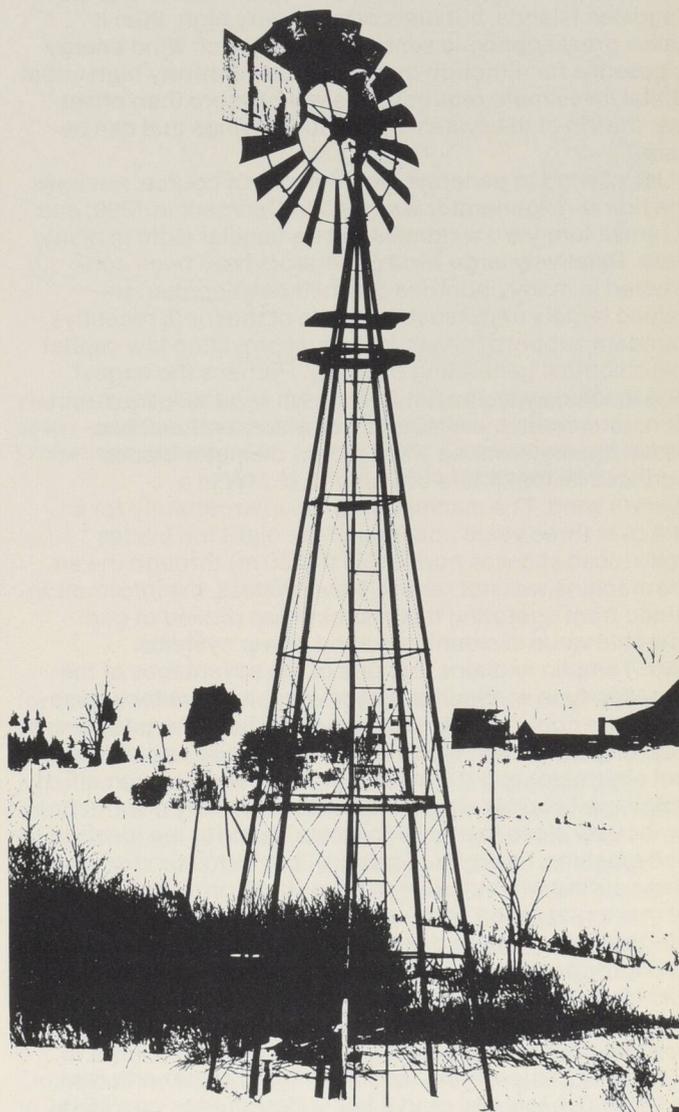
# La puissance des petits-enfants d'Hypérion

**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 électricité. 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 implique un investissement élevé. C'est pourquoi le développement technique des éoliennes doit s'accompagner d'un souci constant d'en minimiser le coût. A ce point de vue, l'éolienne à axe vertical a des avantages. Son coût



Ian Hornby, Ottawa

Developed in 1840, by 1890 this type of wind collector had produced an estimated 1.04 billion kilowatt hours of work. Wind-driven pumps have been gradually disappearing from the agricultural landscape as electricity supplies have extended to rural communities. In the not so distant future, the wind machine (somewhat metamorphosed) may make its return.

Développé en 1840, ce type d'éolienne avait produit en 1890 un total estimé de 1,04 milliard de kW/h. Les pompes entraînées par ces éoliennes ont progressivement disparu du paysage agricole au fur et à mesure que l'électrification des campagnes gagnait du terrain. Dans un avenir pas très lointain, les éoliennes (quelque peu métamorphosées) pourraient bien réapparaître.

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 propeller-type windmill is that of using a propeller 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 propeller-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 propeller types."

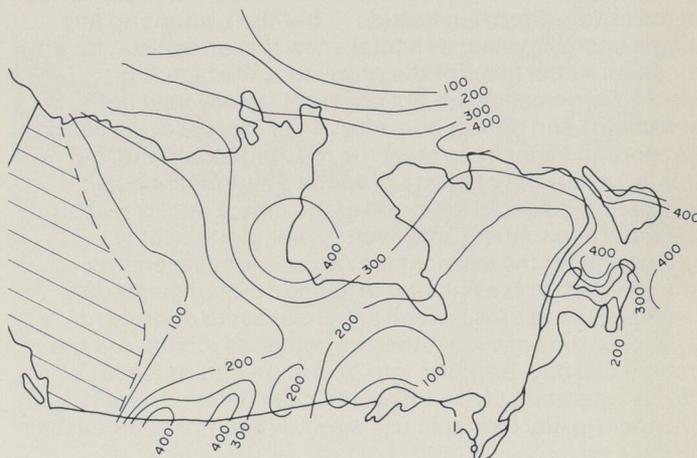
exact est difficile à établir, à ce stade peu avancé de la mise au point, mais on estime que le coût de production d'un petit nombre d'exemplaires de l'éolienne de 200 kW, dont le prototype est installé aux Iles de la Madeleine, serait de l'ordre de 100 000 dollars, soit 500 dollars par kilowatt disponible. 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 Iles 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 Iles 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 Iles 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 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



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

**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.**

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 Iles 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 Iles 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 Iles de la Madeleine, car il est impossible de trouver un système unique qui satisfasse à tous les besoins d'une localité.

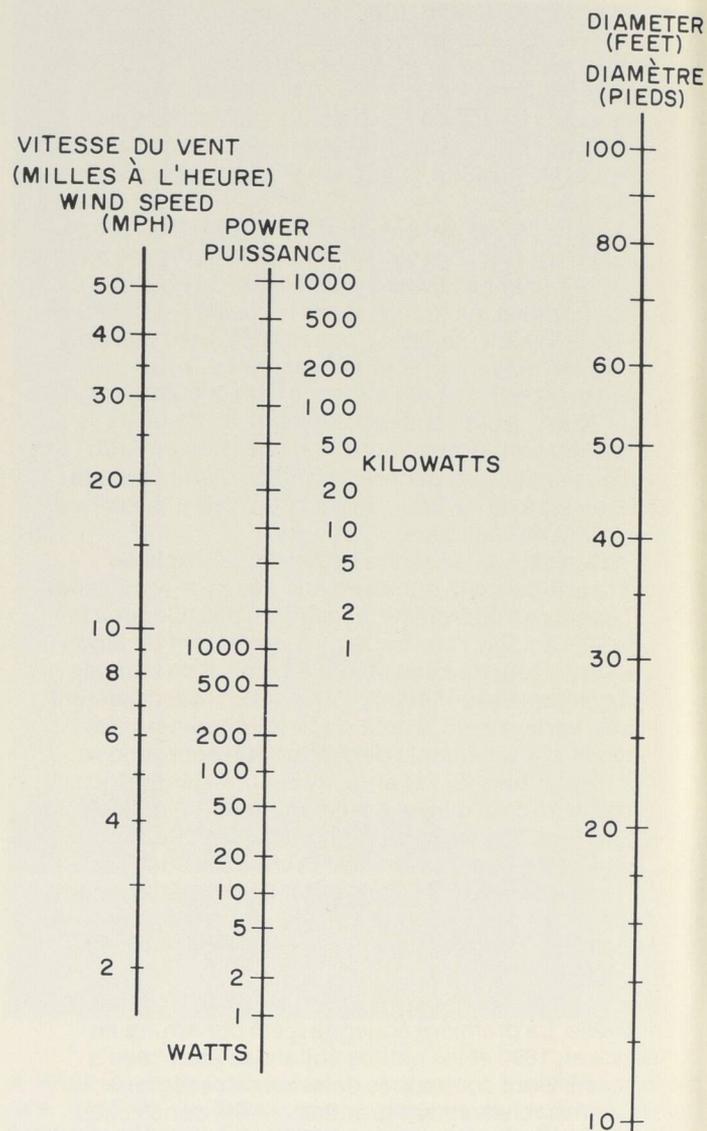
# wind energy

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.

# l'énergie éolienne

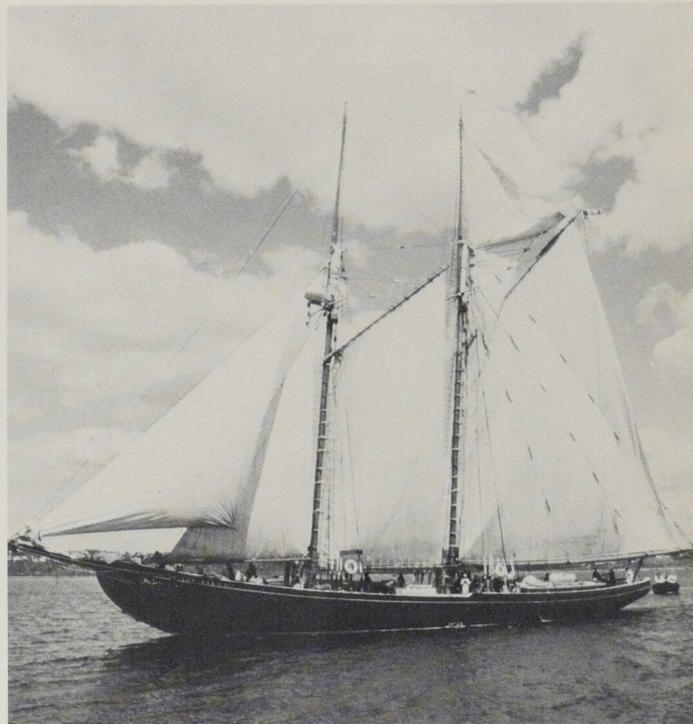
Le noeud du problème, c'est que la demande en électricité n'est pas constante. Elle varie avec la saison et l'heure de sorte qu'une installation doit fournir assez d'électricité pour satisfaire à la demande maximum, ce qui signifie une sous-utilisation de l'installation pendant une grande partie du temps. 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-

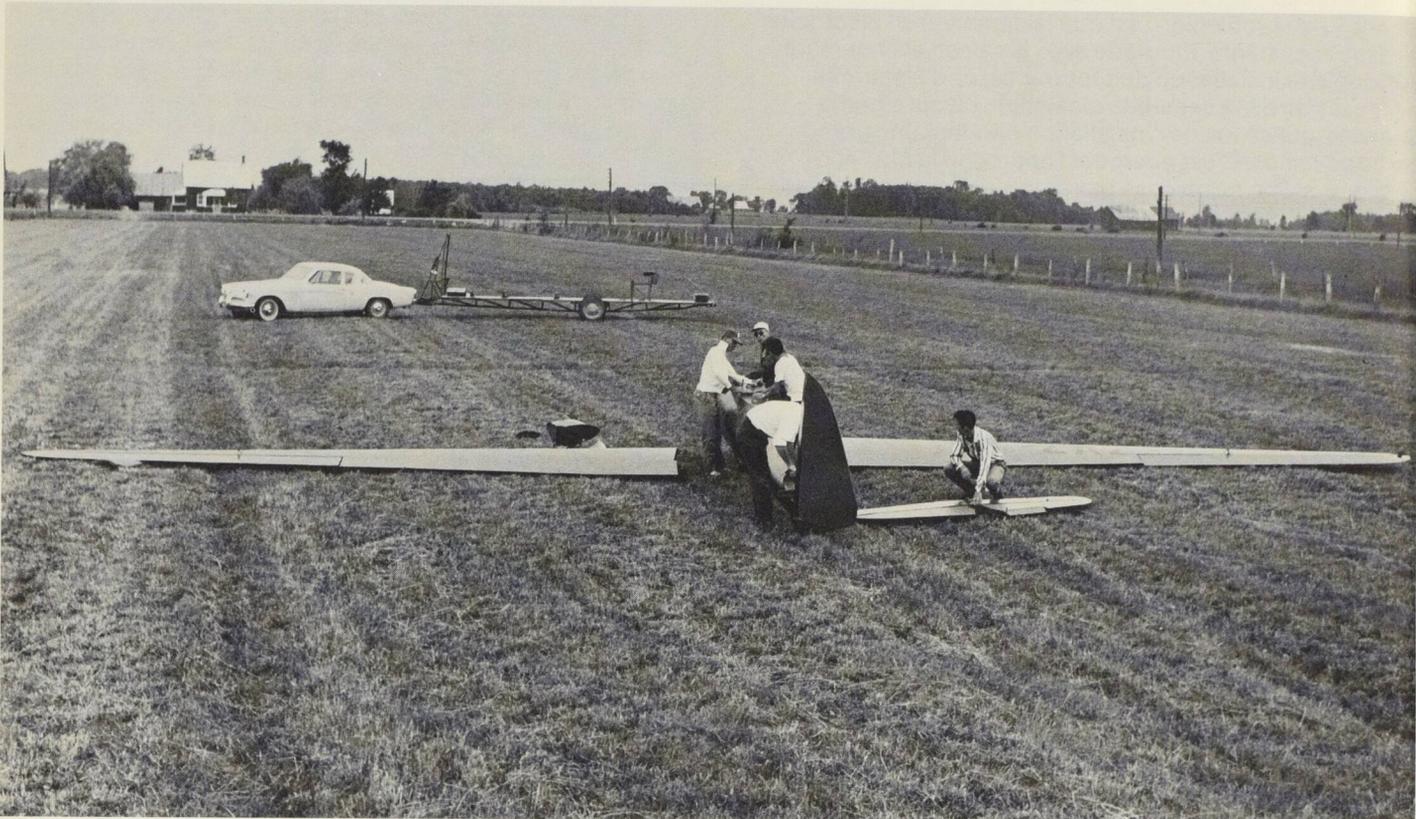


Nova Scotia Communications and Information Centre

The most aesthetically satisfying 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 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 Iles 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 dont le vol ne peut être reproduit 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 Iles 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.

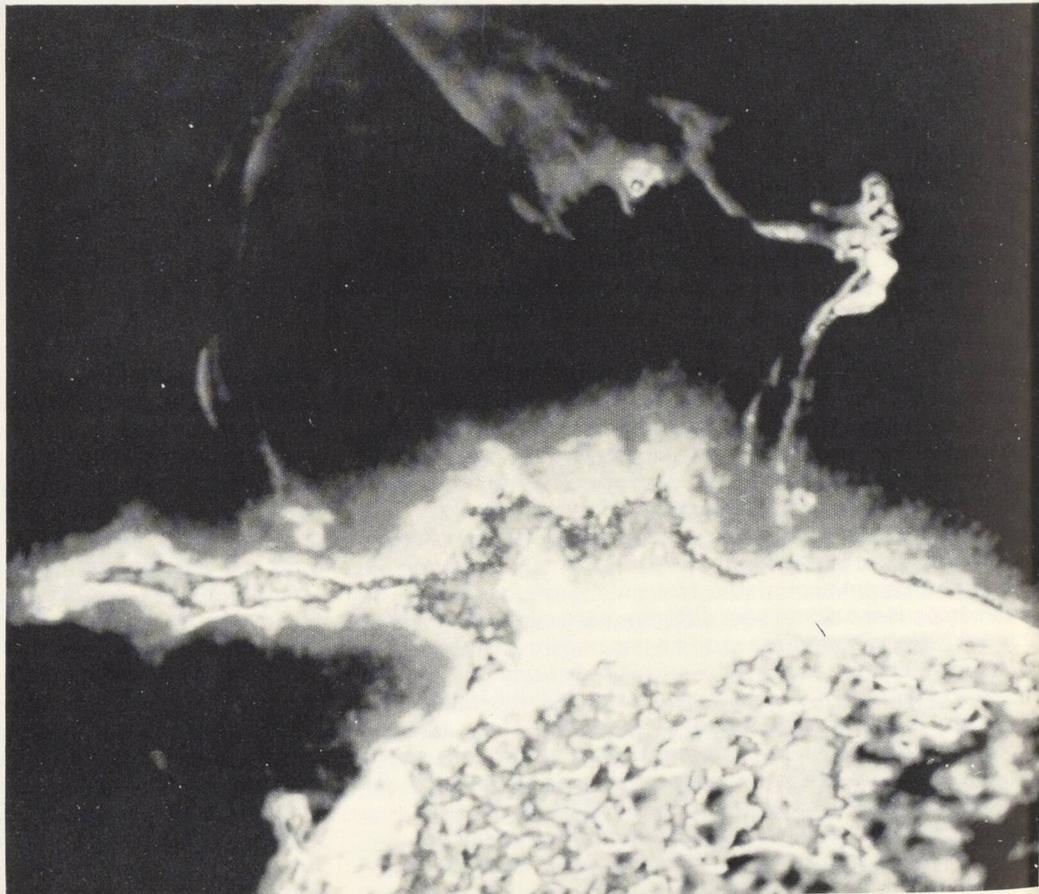
One of the methods being considered at present for achieving controlled nuclear fusion involves blasting a small pellet containing deuterium and tritium with a powerful burst of laser light from several directions to produce a spherically symmetrical implosion with a super compression to ten thousand 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 CO<sub>2</sub> du laboratoire. On peut voir au premier plan deux étages d'amplification du laser.

An overview of the laboratory's powerful CO<sub>2</sub> laser. Two stages in the laser amplification chain can be seen in the foreground.

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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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) CO<sub>2</sub> laser with a 10.6 micron wavelength and probing the plasma with a ruby laser at a wavelength of 0.7 micron.

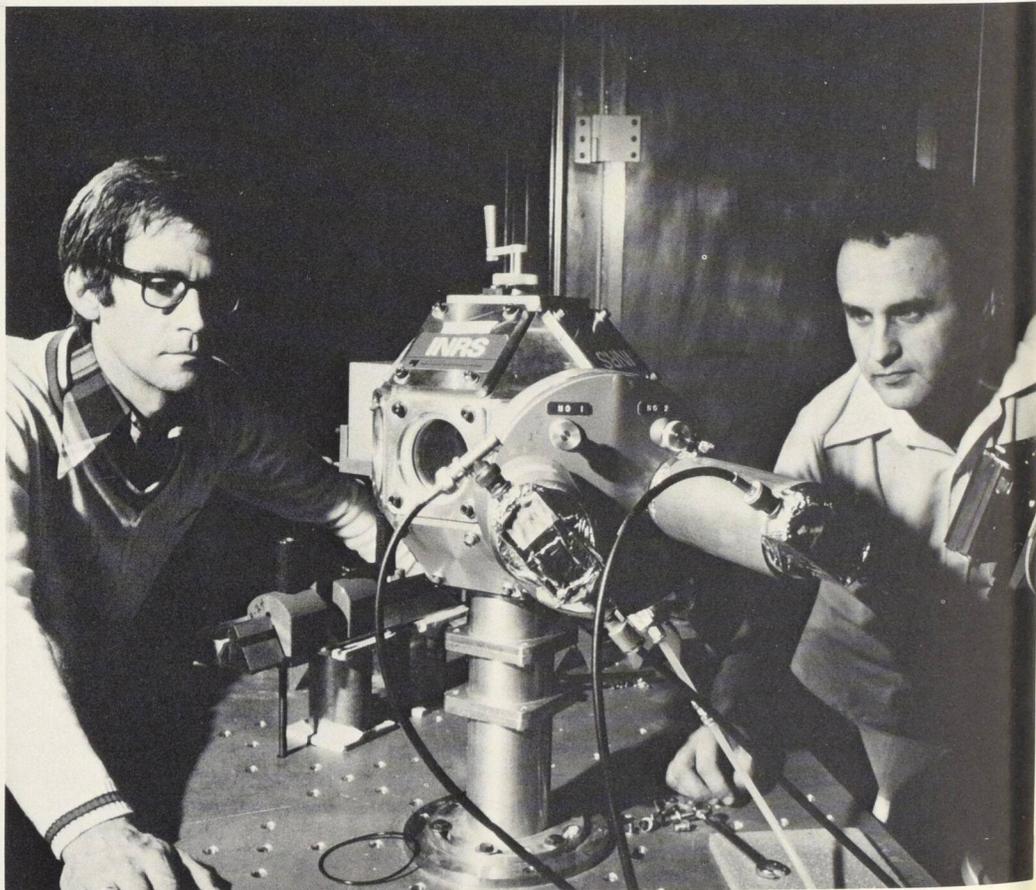
The CO<sub>2</sub> laser and the ruby laser are both mode-locked and synchronized. They thus emit a series of powerful and very short light pulses at relatively long intervals. The CO<sub>2</sub> laser has a one nanosecond (10<sup>-9</sup>s) pulsewidth; the ruby laser pulsewidth is about 10 picoseconds (10<sup>-11</sup>s). The ruby laser pulses, which are 100 times shorter than the CO<sub>2</sub> laser pulses, can be triggered at will to explore phenomena occurring at any point during the CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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.

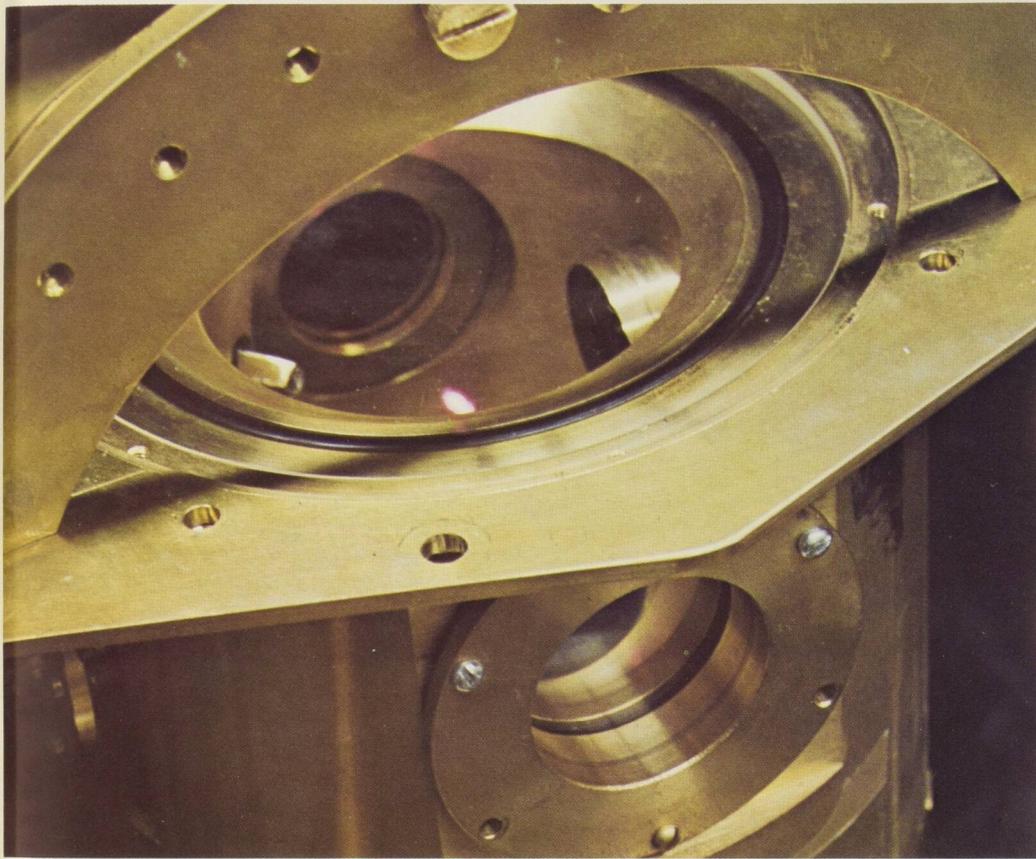
After the technical requirements of controlled thermonuclear fusion are determined, the next step will be to design and build a practical fusion reactor. This will require materials that can tolerate the hostile environment found inside fusion reactors, such as high temperatures and intense bombardment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

**INRS-Énergie scientists study plasmas formed through the interaction of a powerful CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>. 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.

INRS - Énergie



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  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  ont une durée d'environ une nanoseconde ( $10^{-9}\text{s}$ ); les impulsions du laser à rubis de sonde ont une durée de 10 picosecondes ( $10^{-11}\text{s}$ ). Ces impulsions, 100 fois plus courtes que celle du laser à  $\text{CO}_2$ , sont ajustables dans le temps et peuvent servir à explorer des phénomènes à des moments quelconques de l'impulsion du laser à  $\text{CO}_2$ . 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  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$ ,

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 5,3 $\mu$ ) 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 3,5 $\mu$ ) indique que le laser à  $\text{CO}_2$ , malgré sa longueur d'onde de 10,6 micron, trente fois plus grande que la valeur désirable (0,3 $\mu$ ), 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 Terrault, 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.

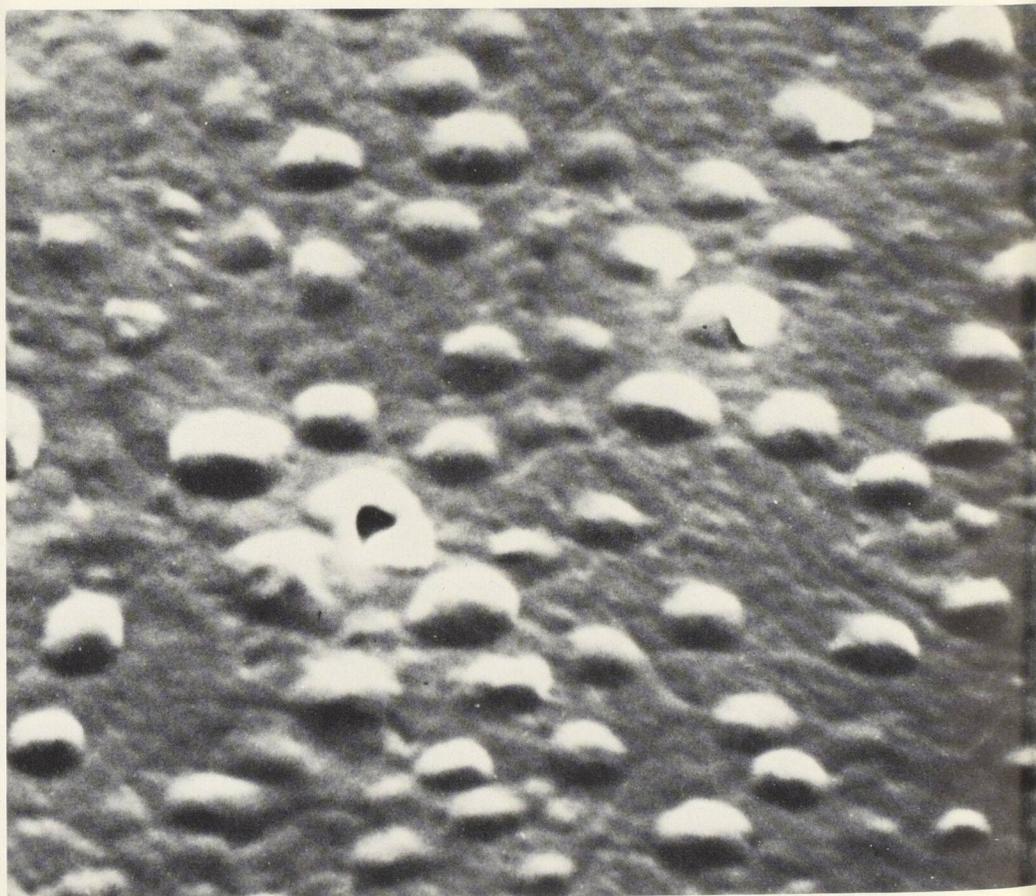
An unexpected application of this method may be in the study of meteorites which are thought to have a chemical memory of their peregrinations in space and clues to the history of the universe, thanks to ions implanted beneath their surface. Professor Terreault also foresees the application of this profiling 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. □

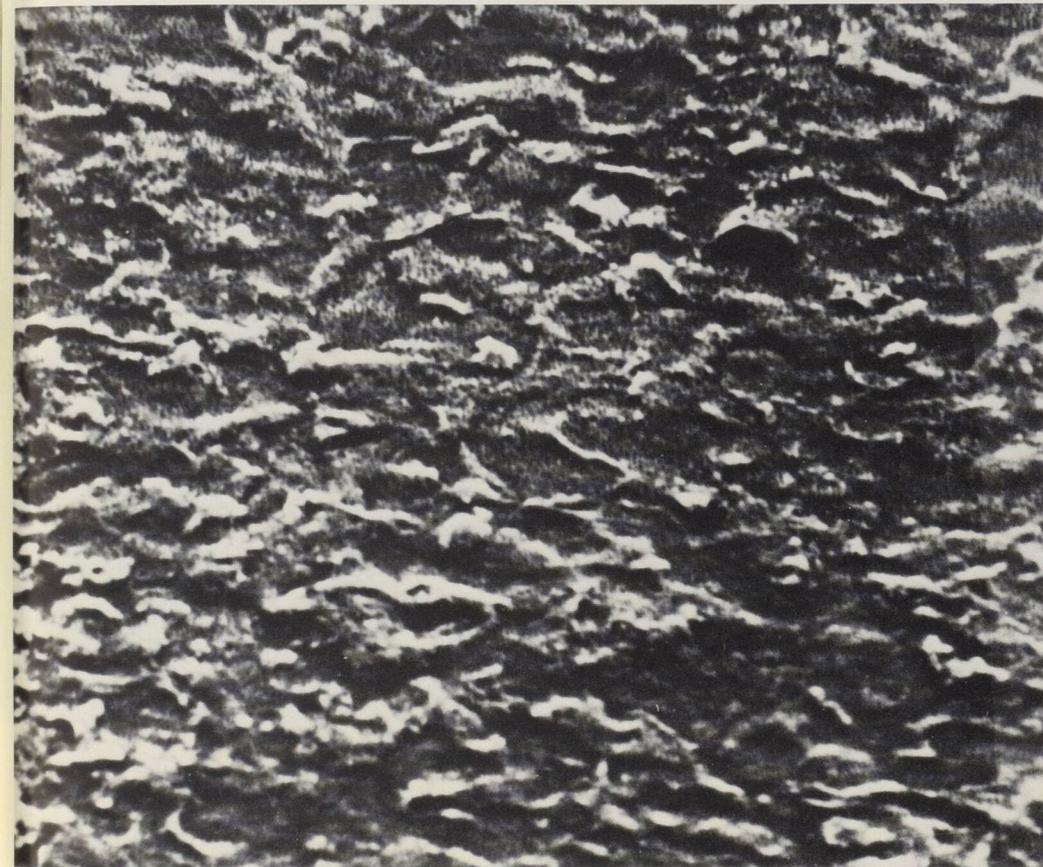
**Michel Brochu**

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.

INRS - Énergie



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**

# 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

**The power of ocean waves is awe-inspiring — can it be harnessed?**

**La puissance des vagues océanes est impressionnante; peut-on en tirer parti?**

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 océanes 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 élevés.

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, de "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.

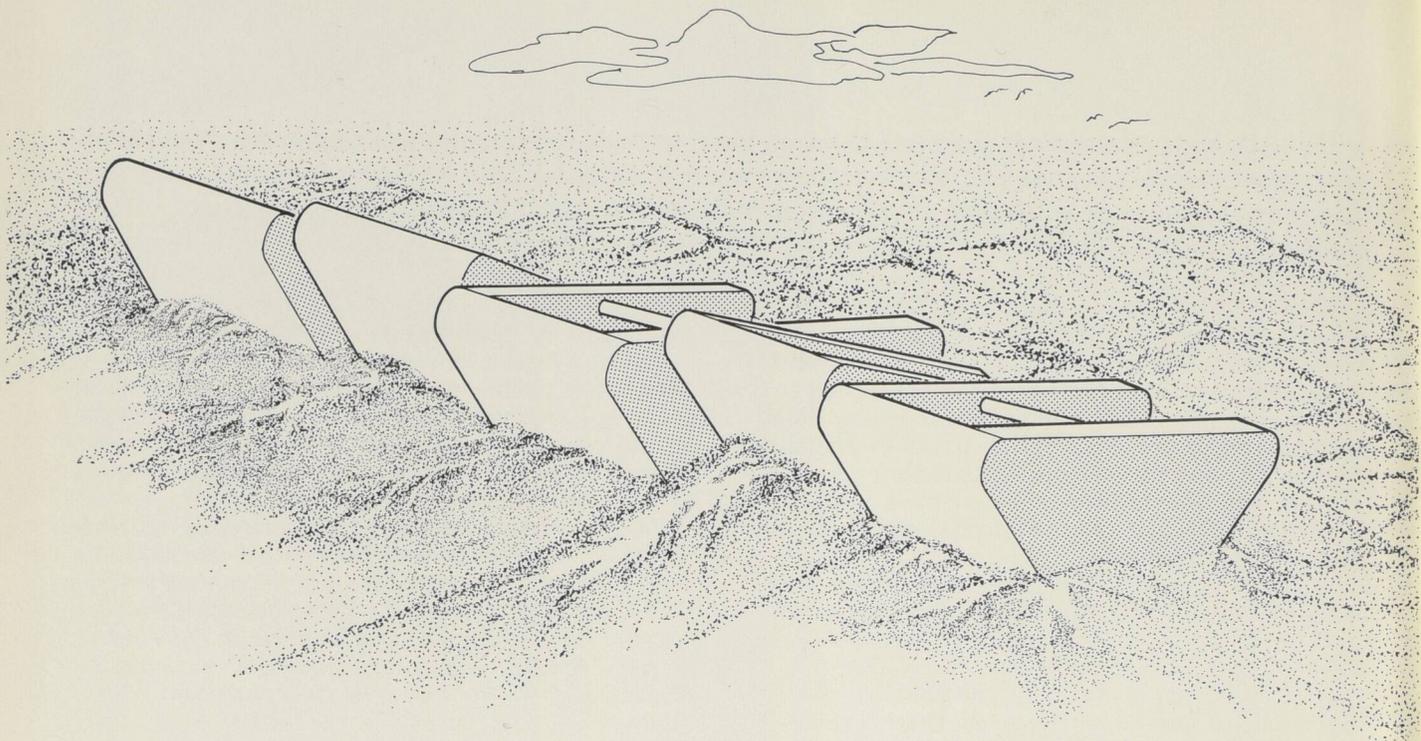
La construction de systèmes mécaniques de très haut rendement pour exploiter l'énergie des vagues ne présente aucune difficulté, le seul problème étant que de tels systèmes ne travailleront au maximum de leur capacité que sur une bande étroite des fréquences des vagues. Ceci peut être comparé à la réaction 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/convertor 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**

## l'énergie des vagues

ment dans la gamme des 14 secondes; mais les vagues de cette période ne se produisent 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 Hawaii.

Cover: Nearly 93 million miles from earth, and with a surface temperature of 6000°K, the sun is driven by those fusion reactions that we one day may be able to harness to generate power on earth. Right now, however, the radiant energy from the sun can be tapped to heat our homes. In addition, "indirect" solar power can be obtained from the winds which are in large part derived from the solar heating of the earth's atmosphere. This photograph taken by NASA's Skylab-4, shows one of the most spectacular solar flares ever recorded, spanning 367,000 miles (588,000 km) across the solar surface. (Story page 6).

Notre couverture: A près de 93 millions de milles de la Terre et avec une température de surface de 6,000°K, le Soleil est le siège de ces réactions thermonucléaires que nous pourrions peut-être un jour dompter ici sur Terre pour en tirer de l'énergie. Cependant, nous pouvons d'ores et déjà utiliser le rayonnement solaire pour chauffer nos maisons. Il est par ailleurs possible d'exploiter l'énergie solaire "indirecte" des vents résultant en majeure partie de l'échauffement de l'atmosphère terrestre par cet astre. Cette photographie prise par Skylab-4, de la NASA, montre l'une des plus spectaculaires éruptions jamais enregistrées, ses émanations s'élançant à très haute altitude pour retomber 367 000 milles (588 000 km) plus loin. (Voir article page 7).

