

1048058-1048059

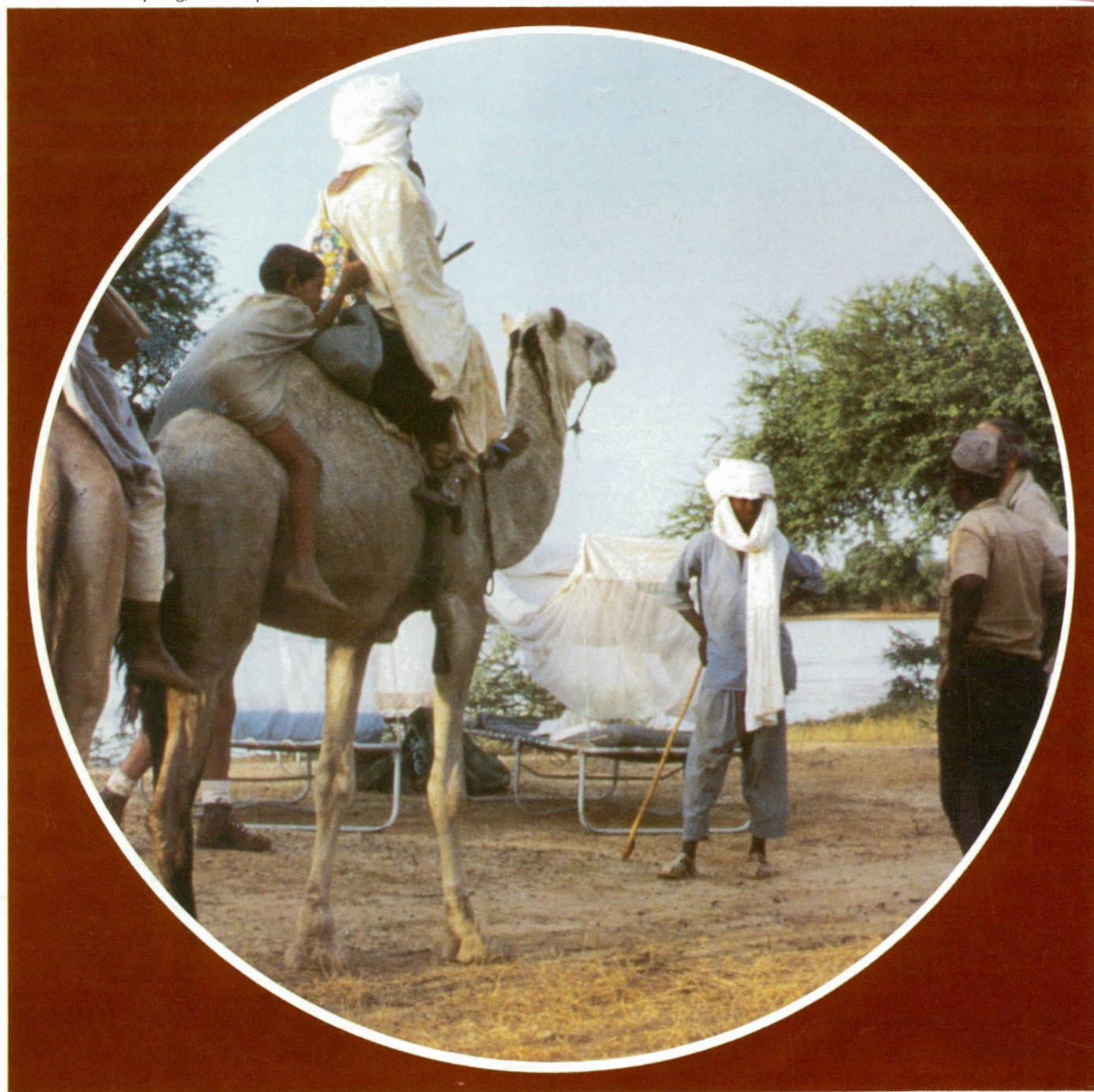
GEOS

This document was produced by scanning the original publication.

Ce document est le produit d'une numérisation par balayage de la publication originale.



Vol. 14 No. 2 Spring/Printemps 1985



GEOS

A quarterly about
the earth's resources

Publication trimestrielle
sur les ressources
de la terre

Vol. 14 No. 2 Spring/Printemps 1985

GEOS is published quarterly by
Energy, Mines and Resources Canada
Minister, The Hon. Pat Carney
Minister of State for Mines,
The Hon. Robert Layton
Deputy Minister, Paul Tellier

GEOS est une publication trimestrielle
d'Énergie, Mines et Ressources Canada
L'hon. Pat Carney, ministre
L'hon. Robert Layton,
ministre d'État aux Mines
Paul Tellier, sous-ministre

*Opinions expressed by contributors from
outside the Department are their own
and not necessarily those of EMR.*

*Le Ministère ne partage pas
nécessairement les opinions des
collaborateurs de GEOS qui ne font pas
partie d'EMR.*

Editor
Jocelyn Marshall

**Associate Editor/
Rédactrice associée**
Annie Beaudoin

**Graphics/
Présentation graphique**
Carisse Graphic Design Ltd.

GEOS is distributed without charge on
request. If you would like a copy of any
article in the other official language
please write to: Distribution, GEOS,
Energy, Mines and Resources, 580 Booth
Street, Ottawa, Ontario K1A 0E4.

Indexed in the Canadian Periodical Index

GEOS est distribué gratuitement sur
demande. Si vous désirez recevoir le
texte d'un article dans l'autre langue
officielle, veuillez écrire à: Distribution,
GEOS, Énergie, Mines et Ressources,
580, rue Booth, Ottawa (Ontario) K1A 0E4.

Cité dans l'Index des périodiques
canadiens

ISSN 0374-3268



Energy, Mines and
Resources Canada

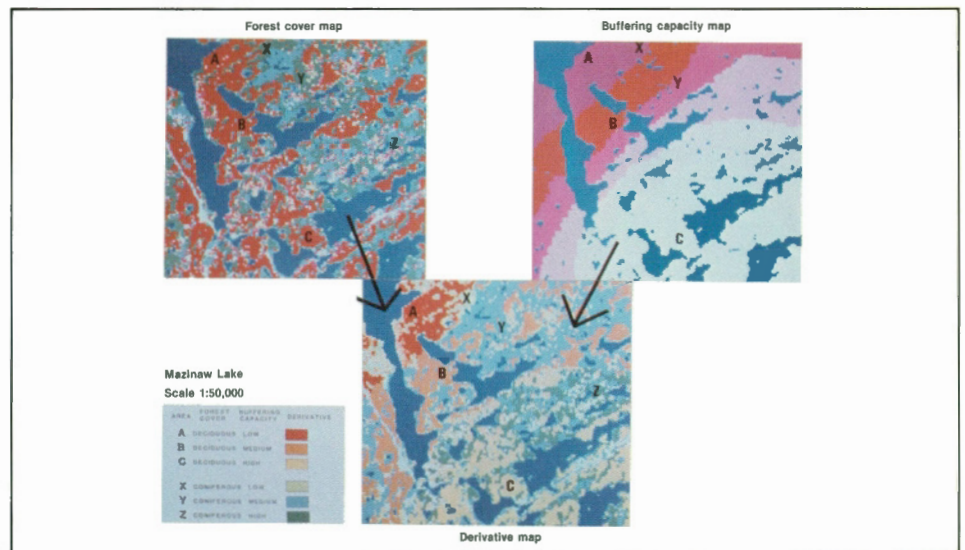
Énergie, Mines et
Ressources Canada

Contents/Sommaire

- 1 Fail-Safe Diving Bell a Canadian First
by Jocelyn Marshall
- 4 Vers une gestion des ressources en eau du Sahel *1048058*
par Christian Prévost et Guy Rochon
- 10 A New Look at the Juan de Fuca Ridge: High-Resolution Bathymetry and Side-
Scan Acoustic Imagery
by E. Davis, R. Currie, R. Riddihough and B. Sawyer
- 16 Seeking Out Our Hidden Resources *1048059*
by Jocelyn Marshall
- 19 Permafrost: Large-Scale Research at Calgary and Caen
by Margo Burgess
- 23 Les formations glacielles des rivages du Saint-Laurent
par Jean-Claude Dionne

Couverture: Des visiteurs nomades du Burkina Faso (Haute-Volta) s'arrêtent au campement où travaille M. Prévost, scientifique à EMR. Dans l'article intitulé « Vers une gestion des ressources en eau du Sahel », dans ce numéro, MM. Prévost et Rochon ont interprété les données LANDSAT, obtenues au cours de l'année passée au Burkina Faso, en vue de l'inventaire et de la surveillance des ressources en eau au Sahel.

Cover: Local residents of Burkina Faso (Upper Volta) visit the campsite of EMR scientist, Christian Prévost. As discussed in the article "Vers la Gestion des Ressources en eau du Sahel" in this issue, Prévost and Rochon interpreted Landsat data obtained during a year spent in Burkina Faso to evaluate and monitor water resources in the Sahel.



Correction

Figure 7 referred to on page 25 of the Winter 1985 issue of GEOS was omitted.

The caption should read:

Subscene of Mazinaw Lake area showing the two data sets and the effect of data integration. A, B and C are deciduous forests while X, Y and Z are coniferous forests.

La figure 7 qui se référait à la page 25 du numéro de GEOS, Hiver 1985, a été omise.

La légende devait se lire comme suit:

Sous-scène de la région de Mazinaw montrant les trois ensembles de données et le résultat de l'intégration des données. Les forêts à feuilles caduques sont désignées par les lettres A, B et C et les forêts de conifères par les lettres X, Y et Z.

Fail-Safe Diving Bell a Canadian First

by Jocelyn Marshall

A new diving bell recently designed, manufactured and tested in Canada appears to be the answer to the long-recognized need for safer transportation of deep-sea construction workers. If so, the high incidence of diving fatalities in 'the world's most dangerous profession' will be considerably lowered.

At the same time, Canada will have the production lead on an expensive commodity much in demand around the world.

"We have not in the history of diving yet recorded a successful emergency ascent," admits Dr. Jan Merta, chief inspector of diving with COGLA (Canada Oil and Gas Lands Administration). A former deep-sea diver who was himself involved in an accident that proved fatal to his partner, Merta was determined when he joined EMR in 1981 to reduce the fatalities caused, among other reasons, by equipment that malfunctioned in emergencies.

It wasn't that attempts had not been made to do so, he observed recently in his Ottawa office as he displayed a stack of copyrights all aimed at designing a fail-safe diving bell. Throughout the industry the high incidence of fatalities has been both recognized and lamented, but because of complex safety and mechanical considerations, the problems appeared to be insoluble.

According to Merta, attempts have also been piecemeal. "Divers have been used extensively for construction projects in

Diver attaching cable to the bell in the specially constructed testing tank

Plongeur fixant un câble à la cloche dans un bassin d'essai spécialement conçu à cet effet



the 20 or so years since the North Sea oil industry really took off," he noted. "But diving technology has developed by trial and error. There was never any concerted attempt to design a Rolls Royce."

"Accidents involving loss of diving bells in the North Sea and the subsequent loss of divers' lives have prompted urgent rethinking of the bells' design and the need to in-build greater safety margins," wrote Command S.A. Warner, Chief Diving Inspector, Petroleum Engineering Division, U.S. Department of Energy, in the April/May 1981 issue of *Underwater Systems*.

"The problems are many and considerable," Warner continued. "Equipment designers are only too well aware of them but their solution needs a unified approach, particularly as one of the essential issues is that of standardization and compatibility of components when it comes to rescue procedures. . . . However, unless action is taken at some date aimed at the long-term future, nothing will ever happen."

Merta *did* take action by writing into the new Canadian diving regulations specifications for a diving bell that was not only fail-safe but at the time nonexistent. He believed that only by such legislation, forcing research and development solutions, could such a vessel become a reality prior to Canadian offshore development. And Merta took the further step of applying for (and receiving) a National Energy Research and Development Panel grant of half a million dollars to develop a bell that could be counted on to perform effectively.

Why has it been so difficult to design such a vessel? The spherical shape of the bell is in itself perfect for a pressure vessel intended to transport divers to a work site 50 metres or more below the surface. So, says Merta, there has been no reason to change *that* part of the design since the bell was first invented in 1928.

Inside, because the space is of necessity limited — the diameter is only about 1.5 metres — valves and fittings and panels must be minimized to keep everything as simple as possible. Simplicity has also been important from the standpoint of the divers operating the controls, since the men drawn to this trade as construction workers have traditionally been trained to do heavy jobs such as welding, pipe fitting, cutting, and positioning of structures, but not to be technicians. To the extent that the equipment would become more sophisticated, the danger of not being able to operate it in an emergency could very well increase.



Jan Merta

A still-unresolved question when vessels become entangled or the umbilical cord is severed is whether it is better to remain on the ocean floor, probably without light, heat or communication till rescuers can locate the divers many hours or even days later, or whether they should attempt to surface and hope for delivery there.

Since both divers and bell are pressurized to the exact degree needed to work on a site before they submerge (divers remain pressurized, even during rest periods on the ship for the whole time they are working on a job — up to a month), the 'bends' as a result of having to surface quickly are not a problem for men ascending in a diving bell.

The primary danger to divers when the umbilical cord is severed is the loss of body heat. Helium, one of the gasses in the saturation mixture used within the bell, is very conductive. So if the temperature inside drops to below 20°C, the body starts losing more heat than it can generate. Even heavy clothing can't prevent such heat loss since helium is a fine gas that penetrates everything.

According to Merta, even if there *is* sufficient breathing mixture inside the bell to last for a day or so, a diver may be unconscious within two hours and dead after ten hours from hypothermia — much too short a time for a rescue team to be alerted, find the bell and hope to effect a rescue.

And it is exactly the shape, so perfect from the standpoint of pressure, that poses certain other problems. In the past, diving bells carried heavy ballast, usually weights distributed on each side in such a way that if they were disconnected, the

sphere would rise to the surface. Unfortunately, the connection between bell and weight tended to corrode. On one occasion, for example, the weight fell off, the bell popped to the surface, and both the diver outside and his partner inside were killed.

"That sort of thing has happened on quite a few occasions," says Dr. Merta. "Every time divers tried to release the weight, the mechanism failed and they were lost."

If the occupants have chosen to release the weights and surface, there have been other problems. To date, there has been no means of controlling the ascent to the surface and, as a pressure vessel, the diving bell can explode on contact like a mine. Carried by ocean currents, there is no guarantee *where* it will surface — under the oil rig or at a distance where it may bob up and down on the surface of a high sea, undiscovered and dangerous. Up to now, no means had been found to secure it in such seas and raise it onto the ship without danger to the occupants, the bell and the ship itself.

"In Canada," Merta points out, "because of the winds and currents and waves, diving conditions are worse than in many other countries. Also, because we have the longest coastline in the world, one can't count on immediate help from outside sources — unlike the situation in the North Sea where there is a high density of diving operations."

"Many times I thought about a solution," he recalls. "I decided that the bell must be capable of controlled emergency ascent, of stopping completely and of going either upward or downward. It should also be easy to signal to rescuers from below the surface."

Despite many problems, such a solution was found last year by Can Ocean of New Westminster, B.C., nine months after they won the contract to design a bell that could meet Merta's specifications. In fact the company designed not one, but three variations. Two of these were approved by Merta and were constructed and rigorously tested in a specially built tank. Controlled emergency ascent was successfully carried out by both bells on January 18 of this year.

In both cases, the weight is distributed equally around the bottom of the flange rather than on either side, and the bell can fall only bottom down. All attachments, such as lifting and umbilical cables can be disconnected manually by an operator inside the sphere.

On the first bell, when the weight is cut off by hydraulic cutters and drops to the



ocean floor, the now positively buoyant bell is suspended on a control cable attached to the weight. A simple dual hydraulic system allows the diver to control rate of ascent and to stop where he wishes below the surface of the waves. A buoy is then released to identify for rescuers where the bell is located, and the pilot line with recovery cable attached to the buoy can be connected to a ship's crane even in rough seas.

The second method utilizes the concept of buoyancy control. When the weight is jettisoned in this design, the bell remains negatively buoyant and is raised from the bottom by controlling the water displacement in two glass-fibre variable buoyancy tanks on the sides of the sphere. Control of these tanks allows the diver to make adjustments for neutral buoyancy and rate of ascent and descent, or to make a full stop. Again, the bell can be stopped below the wave zone and the lightweight buoy with attached pilot line released. Should the tanks become damaged or inoperable, the divers can cut off secondary drop weights, allowing the bell's uncontrolled buoyant ascent to the surface.

Merta prefers the second concept because the bell is not attached to the sea bottom by cable and because a greater variety of functions is possible.

Dr. Merta has been adamant that no copyright should be taken out on the new

designs. "I wanted it to be truly a new generation of diving bells that would increase the safety of divers, not only in Canada, but around the world," he points out. "I knew that once I showed this design to the international community, it would be accepted. And I didn't want people to avoid a patent at the expense of the divers' safety."

As a result of the specifications Merta wrote into the diving regulations promulgated for 1985, no one in Canada can use a bell less safe than the Can Ocean model. Merta foresees that international companies, especially those aiming at Canadian markets, will incorporate the same sort of safety features into their design.

The emergency ascent system has been approved and accepted by the two certifying authorities responsible for diving systems — American Bureau of Shipping and Det Norske Veritas — so manufacturers who build bells to the same standards will be certified to operate practically anywhere.

The new bell is also likely to bring in a considerable influx of foreign dollars. Though the system is expensive, Can Ocean has already had inquiries about it. "I feel," reasons Merta, "that with this type of technology we can secure orders and start building whole diving systems in Canada."

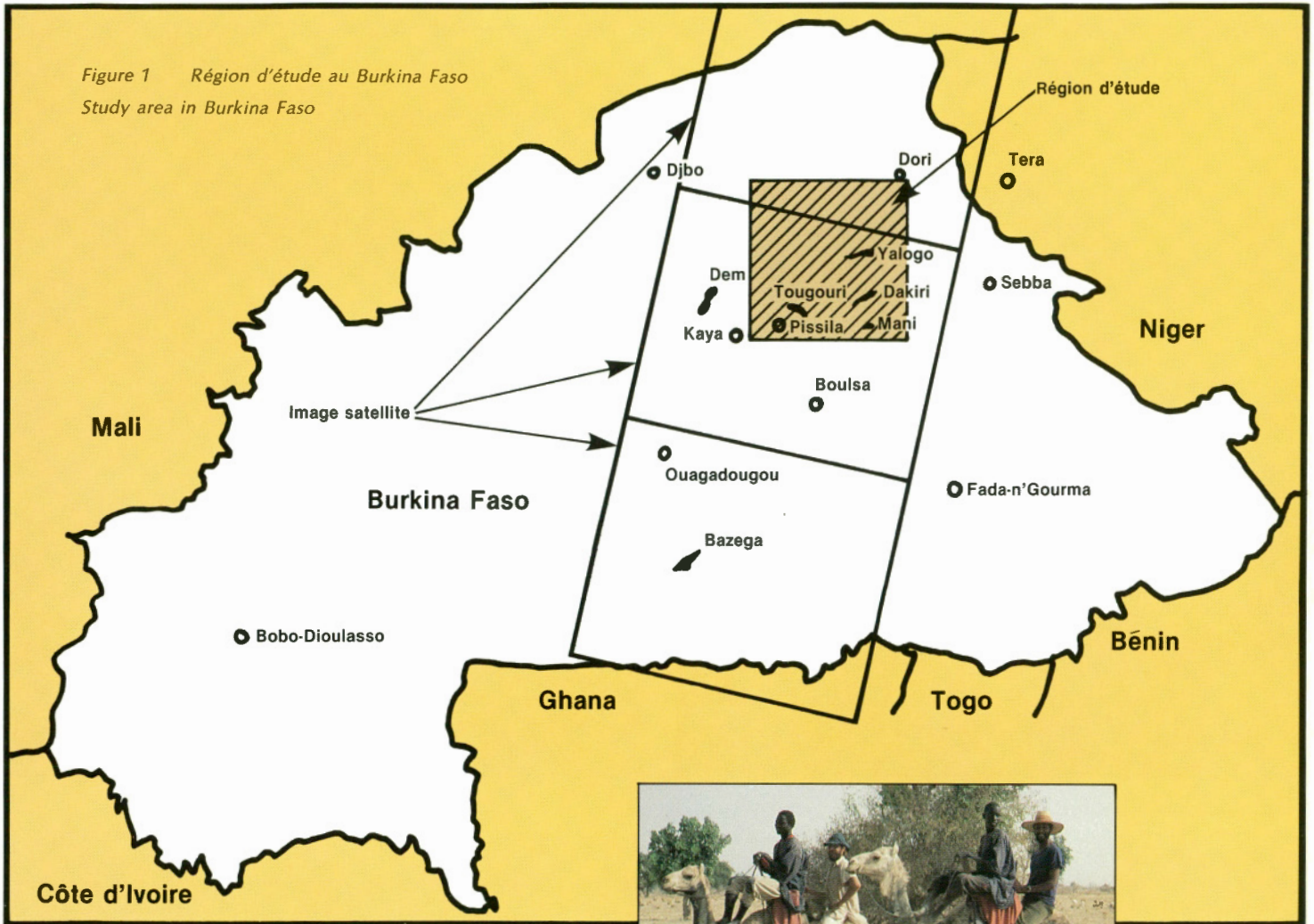
Not satisfied to rest on his laurels, Dr. Merta is now developing a device that submersibles and diving bells will eventually carry routinely during diving operations. This instrument will automatically record all critical information concerning the atmosphere and all communication within the sphere. "At the moment, when we retrieve a diving bell," he observes, "we don't know what has happened from the time the cables snapped till the vessel is retrieved."

The new 'black box', much like that used on airplanes, should go even further to improve both diving technology and the safety of our deep-sea construction workers.

Jocelyn Marshall is editor of GEOS.

Le danger plane constamment sur les travaux de construction en haute mer. La situation devient désespérée quand les liens entre la capsule de plongée et le bateau se brisent. Aussi, une cloche sûre, conçue et fabriquée au Canada, permettra, grâce à une remontée contrôlée, d'éviter des pertes de vie.

Cet article est aussi disponible en français.



M. Prévost avec trois stagiaires

Vers une gestion des ressources en eau du Sahel

L'expertise canadienne en matière d'utilisation des images satellite ouvre la voie à des transferts de technologie vers les pays en développement

par Christian Prévost et Guy Rochon

Ingénieur civil, M. Guy Rochon est président de la firme Photosur Inc. (groupe Lavallin). M. Rochon est un spécialiste du traitement informatique et des applications des images acquises par satellite. En 1980, M. Rochon était professeur agrégé à l'Université Laval et responsable du projet de transfert de technologie dont il est question dans cet article.

M. Christian Prévost est un scientifique de la Division des applications, Centre canadien de télédétection, où il est rattaché au projet de suivi des récoltes. M. Prévost a été nommé responsable des applications de la télédétection en agropastoralisme et hydrologie au Centre régional de télédétection de Ouagadougou au Burkina Faso, de juin 1980 à septembre 1981.

L'article publié dans ce numéro ne couvre qu'un des aspects du projet mené par les auteurs. Une version plus détaillée a été présentée au 8e Symposium canadien sur la télédétection, tenu à Montréal, en mai 1983.

* Le nom Haute-Volta a été récemment changé pour Burkina Faso.

Pour les pays du Sahel, la perspective de l'autosuffisance alimentaire commence par une gestion efficace de leurs ressources en eau. Comment favoriser les cultures de saison sèche, si l'on ne peut gérer rationnellement les puits et plans d'eau existants et améliorer la capacité de stockage d'eau pour les cultures irriguées?

L'exemple du Burkina Faso* (Haute-Volta), au cœur du Sahel, est très significatif. Ce pays, continuellement aux prises avec des problèmes sérieux d'approvisionnement et de gestion de l'eau, possède pourtant des plans d'eau permanents mais aucun document ne permet de les localiser ni de suivre leur dynamique avec précision. Dans de telles conditions, la gestion de la ressource hydrique doit

Figure 2 *Contraste saisonnier de la végétation sahélienne. 2a: Mi-saison sèche et 2b: Fin de la saison des pluies*

Seasonal contrasts in Sahelian vegetation.
2a: The dry season. 2b: End of the rainy season



débuter par un inventaire et la mise en place d'une méthode de suivi hydrologique ou de surveillance de la ressource. Encore faut-il avoir les instruments pour gérer cette ressource . . .

L'imagerie satellite, par sa répétitivité et sa large couverture, constitue un outil tout indiqué pour ce genre d'inventaire. D'autre part, depuis 1972, année de lancement du premier satellite LANDSAT, le Canada a acquis une expertise enviable dans l'utilisation de l'imagerie satellite pour la gestion des ressources naturelles, y compris les ressources en eau. On peut donc utiliser cette expertise au bénéfice des pays en voie de développement afin de leur donner, non pas un remède à court terme, mais plutôt un instrument leur permettant de prendre en main la gestion à long terme de leurs ressources.

C'est donc dans cette optique que le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources du Canada, par l'intermédiaire du Centre canadien de télédétection, organisme dont les mandats sont strictement canadiens, s'est efforcé, de concert avec l'Agence canadienne de développement international et l'Université Laval, de réaliser un projet de démonstration visant à évaluer le potentiel d'application des données spatiales au Sahel dans les domaines de l'eau et des pâturages, deux domaines pour lesquels la télédétection a prouvé son efficacité au Canada. Ce projet humanitaire a eu comme second effet de favoriser un élargissement de l'expérience canadienne, qu'elle soit privée ou publique, dans le domaine de la télédétection et du transfert de technologie sur la scène internationale.

De façon plus spécifique, ce projet visait à mettre en place, d'une part, une méthode d'inventaire et de surveillance des pâturages et de la désertification et, d'autre part, une méthode d'inventaire et de surveillance des ressources en eau de surface. Ce dernier thème fait l'objet du présent article et présente les résultats obtenus pour la cartographie du réseau hydrographique, la surveillance des plans d'eau et l'établissement du bilan hydrique des réservoirs. La méthode décrite est applicable aux autres régions du Sahel.

La région

L'analyse des images satellites acquises au-dessus du Sahel doit se plier à plusieurs contraintes environnementales. La région d'étude que nous avons choisie, située à 115 km au nord-est de Ouaga-

dougou au Burkina Faso (fig. 1), est soumise au régime de la mousson. De juin à septembre, des averses intenses, brusques, totalisant jusqu'à 550 mm de pluie, empêchent toute acquisition d'images pendant cette période. Du mois d'octobre à la fin novembre, l'atmosphère est chargée d'humidité tandis que de janvier à mai souffle un vent chaud, chargé de poussière. En conséquence, quelle que soit la période de l'année, la qualité des images sera toujours plus ou moins altérée par le filtre atmosphérique.

Le paysage apparaît comme un relief de pénéplaine agrémenté de buttes-témoins latéritiques (fig. 2).

La cartographie du réseau hydrographique

Il est relativement facile au Sahel d'extraire un portrait du réseau hydrographique à partir des images LANDSAT. Le faible couvert végétal de cette savane arbustive engendre un important ruissellement des eaux contribuant au décapage de la carapace latéritique. À la fin de la saison des pluies, la savane s'assèche dans les hautes terres, alors que la végétation des bas-fonds persiste jusqu'en décembre. La prise de vue doit donc être

effectuée à une période où l'activité végétale persiste dans le fond des vallées humides (fig. 4).

Au Centre régional de télédétection de Ouagadougou, les seules références récentes et précises de la région sont des cartes topographiques à l'échelle de 1/200 000, prises à partir de photographies aériennes datant de 1956. Ces sources d'information présentent cependant plusieurs lacunes au niveau de l'identification des cours d'eau et de la localisation des chenaux de diversion à la saison des pluies. La position des chenaux est, en effet, un élément important à considérer pour les calculs de localisation et de dimension des radiers (pont-barrage) et barrages. Avec l'image satellite, la cartographie du réseau hydrographique devient une importante source indépendante d'information qui, couplée à l'inventaire des bassins versants, permet d'extraire des informations sur la dynamique des nappes d'eau.

L'inventaire et le suivi des nappes d'eau

Au Canada, l'une des applications les plus simples et les plus efficaces des données LANDSAT réside dans l'évaluation de la morphométrie des plans d'eau.

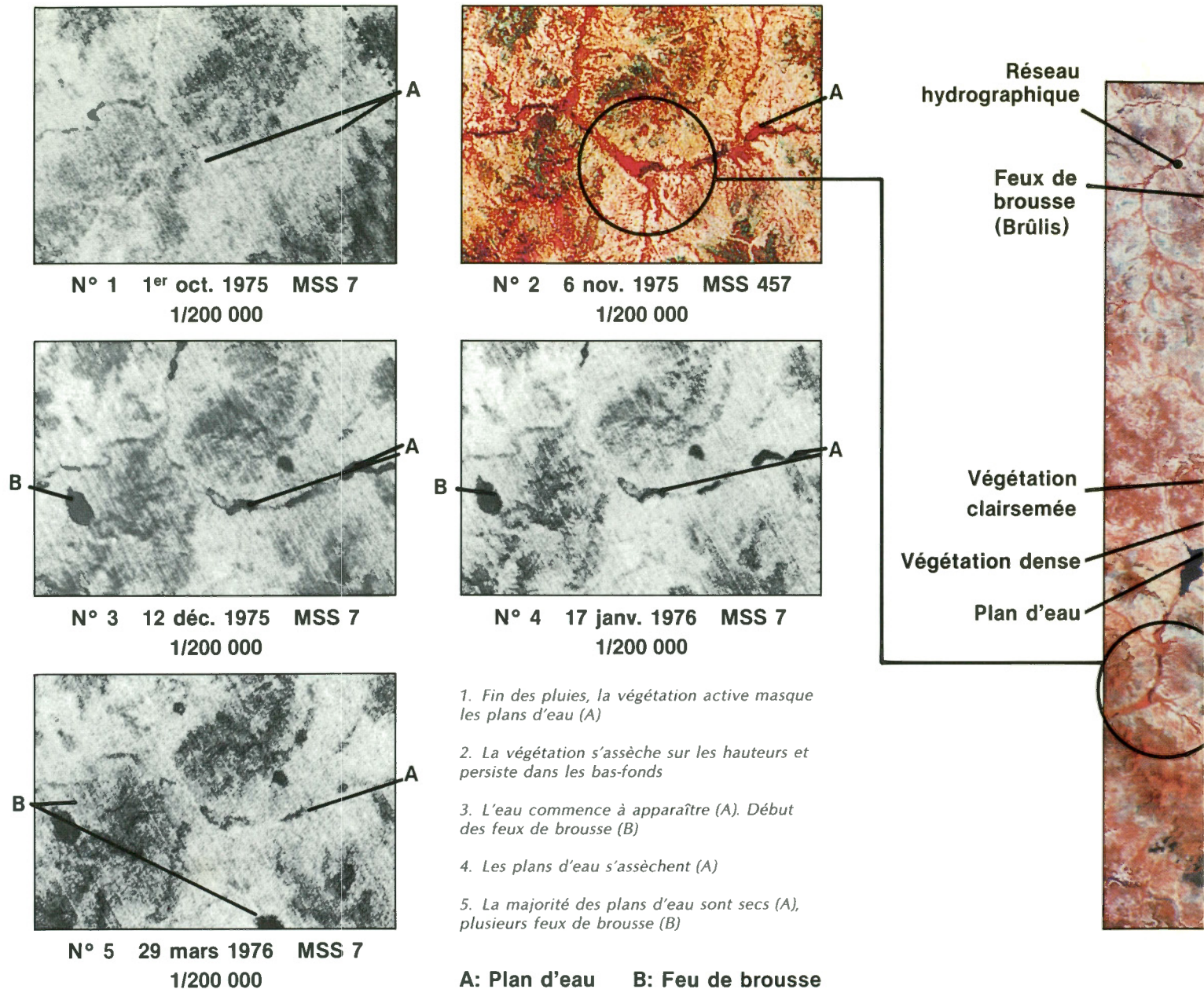


Figure 3 Suivi diachronique de plans d'eau sahéliens. La végétation apparaît en clair (ou en rouge) et l'eau en noir

Landsat images demonstrate seasonal pond changes. Vegetation appears as red, while water is black.

En Afrique de l'Ouest, la réalité est toute autre. L'alternance des saisons sèches et humides entraîne un remplissage rapide des réservoirs, de juin à septembre, et une baisse graduelle de ceux-ci, d'octobre à mai, due à l'évaporation, à l'irrigation et aux besoins humains et pastoraux. D'autre part, le relief de pénéplaine favorise la création d'une multitude de mares dont le rapport de la surface au volume est très élevé. Très peu d'entre elles survivront au 2,5 m d'évaporation lors de la saison sèche (fig. 3). À titre indicatif, signalons que tous les plans d'eau que nous avons étudiés ont une

profondeur maximale inférieure à 7 m, pour des surfaces en eau qui s'étendent jusqu'à une dizaine de kilomètres carrés.

Lorsqu'une nappe d'eau est entourée d'un sol nu, la démarcation entre l'eau et le sol apparaît très nettement sur les images satellite. Il en est tout autrement dans le cas des lacs qui font l'objet de notre étude. En effet, de la fin des pluies, en septembre, jusqu'au mois de décembre, le pourtour et l'entrée des réservoirs sont recouverts d'une végétation herbacée très dense attribuable à la grande quantité de nutriments à ces endroits. Masqués par la végétation, certains plans d'eau sont parfois même totalement imperceptibles, de la fin des pluies jusqu'en novembre. Cette situation crée une forte erreur d'estimation des surfaces en eau pendant cette période. À partir de décembre, le couvert végétal commence à disparaître sous l'effet de la fin du cycle végétatif et

de l'assèchement des rives. Il est alors beaucoup plus aisé d'identifier la position des lacs, même s'ils ont perdu plus de 15 % de leur surface (fig. 3, 6 lacs).

Ainsi, si la seule position des plans d'eau nous intéresse, il est donc recommandé d'effectuer la prise de vue au mois de décembre, après le flétrissement de la végétation.

Par contre, si le but visé est un suivi des plans d'eau, il est nécessaire de recourir aux interprétations séquentielles. Nous avons donc commencé notre recherche à partir de l'image acquise en mai, au moment où les lacs sont à leur niveau le plus bas et où le sol environnant est nu. Du fait que la surface des plans d'eau va en décroissant, d'octobre à mai, nous avons donc supposé que tout pixel ou point d'image d'eau visible en mai devait également apparaître au cours des six

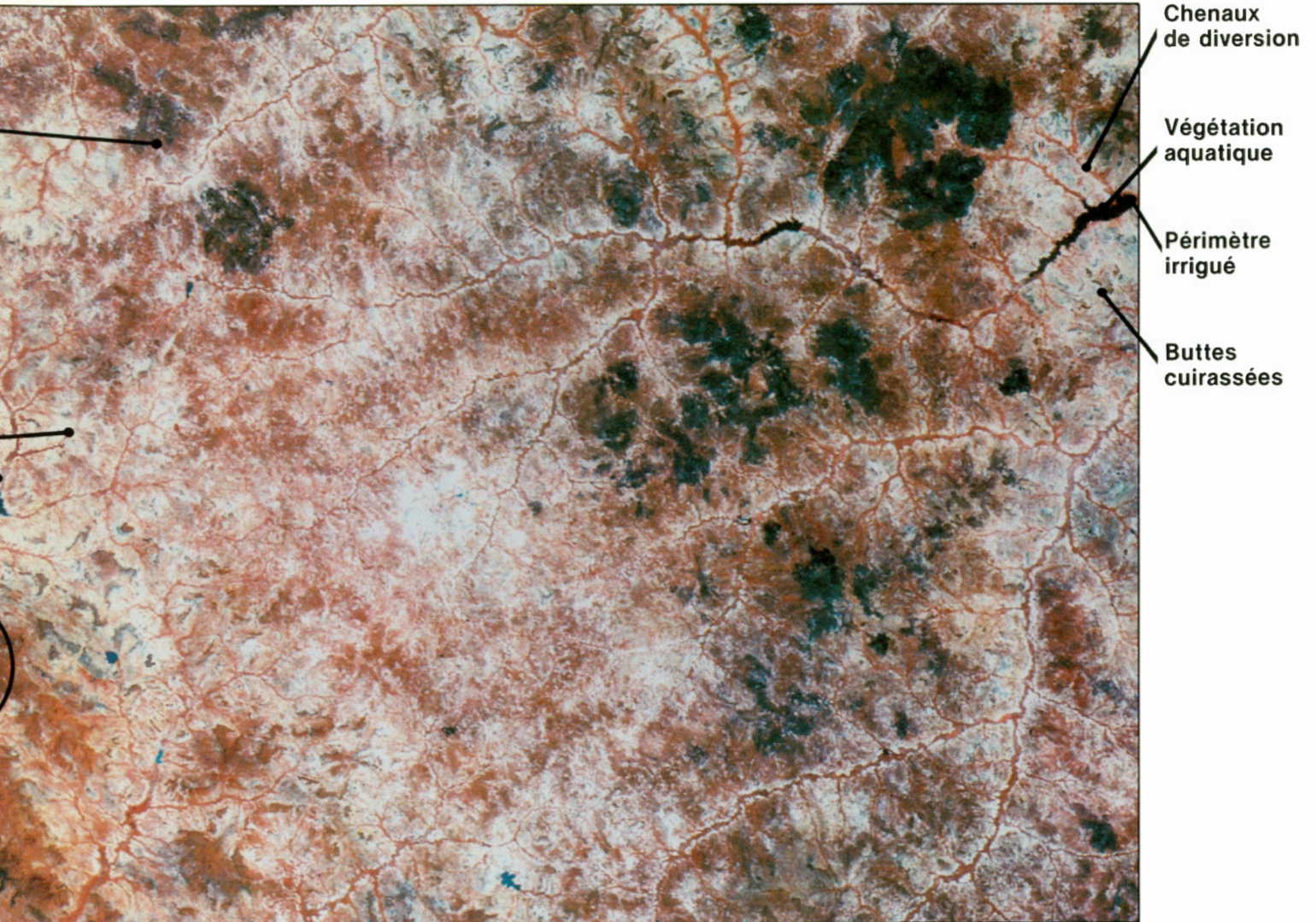


Image satellite de début de saison sèche acquise par LANDSAT, au-dessus du Burkina Faso, et traitée au Centre canadien de télédétection, EMR.

Landsat image taken over Burkina Faso at the beginning of the dry season and processed at the Canada Centre for Remote Sensing, EMR.

mois précédents. Ainsi, nous avons interprété en rétrospection six différentes images LANDSAT, de mai à octobre; la figure 5 représente le résultat de l'interprétation du secteur du lac Dakiri, situé à 125 km au nord-est de Ouagadougou. À partir de ces résultats, nous avons étendu le suivi à un secteur couvrant 10 000 km² du territoire du Burkina Faso. Ce relevé nous a permis de constater qu'en novembre, après la fin des pluies, plus de 91 mares irriguent la région, soit une surface d'eau de plus de 6 323 ha.

Seules 13 d'entre elles vont survivre à la saison sèche, soit une surface d'eau de 1 066 ha.

L'approvisionnement en eau

En ce qui a trait à la satisfaction des besoins en eau, nous pouvons, à partir des 13 mares permanentes, apporter un élément de réponse aux interrogations formulées dans l'introduction de cet article. Au Sahel, la seule restriction d'approvisionnement aux mares permanentes est la distance parcourue à pied pour s'y rendre, ce qui constitue leur aire d'influence. Le service de l'hydraulique et d'équipement rural du Burkina Faso estime que la distance maximale quotidienne que peuvent parcourir les humains pour atteindre un point d'eau est de 2 km; elle est de 10 km pour les animaux. Le relevé de l'aire d'influence des 13 mares totalise 433 km² en aire humaine et 3 222 km² en

aire pastorale. Ce qui signifie que les populations et le bétail présents dans ces aires d'influence peuvent subvenir à leurs besoins en eau. Ces résultats montrent le potentiel des images satellite comme outil d'information hydrologique. Associée à des données provenant d'autres sources, la télédétection permet d'entrevoir une gestion efficace de l'approvisionnement en eau une fois l'emplacement des mares permanentes repéré.

De plus, ces chiffres nous permettent de comprendre l'importance des nappes d'eau dans les régions pastorales où l'effort physique de l'exhaure manuelle d'un puits profond est trop grand pour combler les besoins d'un cheptel important.

Bien que les besoins en eau puissent être comblés aux alentours d'un réservoir, il n'en demeure pas moins que les plans



Septembre 1980



Décembre 1980



Janvier 1981



Mars 1981



Juillet 1981



Août 1981

d'eau ont un potentiel beaucoup plus considérable surtout si l'on songe aux cultures irriguées. Pour identifier ce potentiel en regard de différentes utilisations, il est nécessaire de comptabiliser le bilan hydrique du réservoir. Encore ici la télédétection par satellite peut être utile.

Analyse du bilan hydrique d'une retenue

Ce volet de la recherche vise à démontrer l'interrelation de la télédétection, des données de terrain et des renseignements provenant d'autres sources (courbes d'évaporation, tables de consommation d'eau, etc.) dans l'établissement du bilan hydrique d'une retenue d'eau en région sahélienne.

Pour ce faire, nous avons analysé la retenue de Dakiri dont la variation de la surface en eau a été établie précédemment. Ce réservoir, d'une profondeur maximale de 3,5 m, couvre une superficie de près de 7 km². À l'aval du barrage, environ 60 ha sont utilisés pour la production de riz en saison humide et de cultures maraîchères en saison sèche. Lors de nos travaux sur le terrain, en mars 1981, nous avons pu enregistrer une différence de hauteur de 1,42 m entre la crête du déversoir et le niveau des eaux.

L'eau contenue dans un réservoir (ΔV) peut être perdue par évaporation (E) ou être utilisée pour l'irrigation (I), l'abreuvement des troupeaux (A) et les besoins domestiques (D). Une certaine quantité peut aussi être de l'eau perdue par infiltration ou récupérée par recharge souterraine (R). De façon générale, après

Figure 4 Dynamique annuelle d'un plan d'eau sahélien caractéristique

Seasonal changes in a typical Sahelian pond

la fin des pluies, ce bilan hydrique peut s'exprimer ainsi:

$$\Delta V = E + I + D + A \pm R$$

La solution de cette équation nous conduit aux résultats suivants:

Les besoins domestiques en eau (D):

En milieu rural, le rayon humain à l'intérieur duquel s'exerce l'influence d'un point d'eau est de 2 km. Les besoins domestiques en eau se situent autour de 15 L/d/hab. Par ailleurs, la densité de population est de 19 hab./km².

Le volume d'eau utilisé s'élève donc à 14,2 m³/d d'eau puisée autour et en aval du barrage. La consommation domestique en eau ne représente en fait qu'un volume négligeable du bilan hydrique total.

L'abreuvement des troupeaux (A):

Pour le bétail transhumant, le rayon d'influence du plan d'eau est de 10 km. Au Sahel, la densité de population animale est évaluée à une unité de bétail tropical par 5,6 ha; et la consommation est d'environ 30 L/d/tête. Le volume d'eau utilisé pour l'abreuvement des troupeaux s'élève donc à 279 m³/d.

L'irrigation (I):

À partir des données de terrain recueillies, nous avons évalué la zone maraî-

chère à 60 ha. Selon l'Office national des barrages et de l'irrigation du Burkina Faso, les cultures maraîchères de saison sèche nécessitent 15 000 m³/ha, ce qui équivaut à une consommation de $0,728 \times 10^6$ m³

L'infiltration (R):

Nous n'avons aucune donnée concernant la quantité d'eau perdue par infiltration ou récupérée par recharge souterraine. Cependant, nos travaux sur le terrain nous ont permis de constater que le barrage de Dakiri est relativement peu affecté par ces pertes. L'aval du barrage est totalement sec en mars alors que la plupart des barrages visités alimentent en permanence de petites mares en aval.

L'évaporation (E):

Il est possible d'estimer la perte d'eau par évaporation en intégrant sur une base mensuelle la surface du plan d'eau établie par télédétection et la hauteur d'évaporation de cette surface. Ce calcul permet d'estimer à $7,52 \times 10^6$ m³ le volume d'eau perdu par évaporation.

Le volume d'eau (V) (prélevé en saison sèche):

Nous pouvons obtenir une estimation réaliste du volume d'eau retenu en prenant les lectures du niveau des eaux à intervalles réguliers et en les intégrant dans une équation où intervient la surface du plan d'eau relevé par télédétection. Ce calcul permet d'estimer à $8,73 \times 10^6$ m³ la différence de volume d'eau dans le réservoir entre octobre et mars.

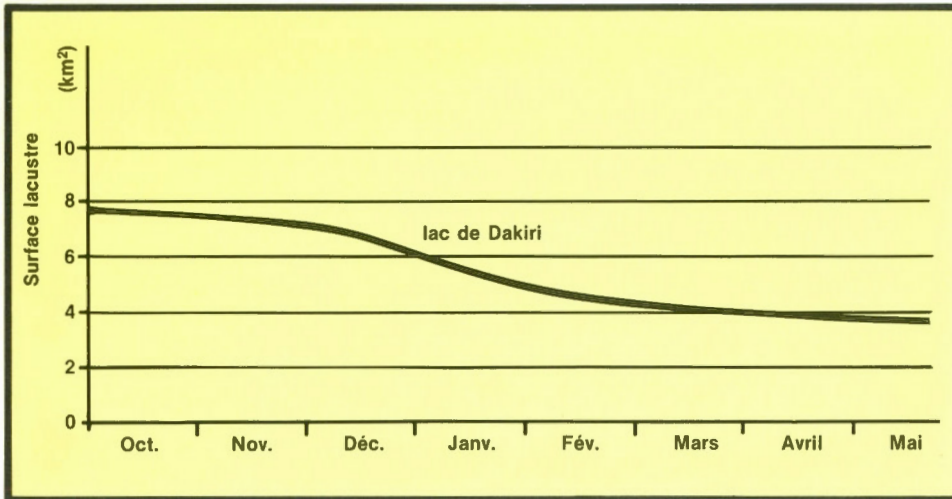


Figure 5 Surface d'un plan d'eau estimée par télédétection

Water level graph derived through Landsat information

qui consiste, dans certains cas, à donner un aperçu de l'ampleur d'un désastre, tel le cas éthiopien, en comparant l'état de la végétation visible sur des images acquises au cours des années.

En effet, ce projet de démonstration a permis aux autorités sahéniennes de constater l'impact de la télédétection quant à l'inventaire et au suivi de leurs ressources, et donc d'envisager la perspective à long terme d'une prise en main de leur gestion. Ce projet a contribué, en outre, à élargir l'expérience canadienne dans le domaine du transfert de technologie vers les pays en voie de développement et à assurer que le Canada maintienne sa position sur la scène internationale en matière de télédétection.



La solution de l'équation générale (1) sera donc, pour la période d'octobre à mars:

$$8,73 = 7,52 + 0,728 + 0,043 + (D \pm R) \times 10^6 \text{ m}^3$$

où l'évaporation représente 86,1 % du volume d'eau retenu, l'irrigation 8,3 %, l'abreuvement des troupeaux 0,5 %, le complexe d'inconnus regroupant l'infiltration, la recharge et les besoins humains 5,1 %.

On constate que la quantité d'eau évaporée représente près de 86 % du volume d'eau retenu. En conséquence, l'identification par télédétection de sites potentiels de retenue sera caractérisée par la recherche de sites où l'encaissement du cours d'eau est à son maximum; ceci permettant de réduire les coûts de remblais et d'améliorer le rapport entre la surface et le volume du réservoir.

Nous avons tenté d'évaluer la fiabilité de notre estimation du volume d'eau en

comparant nos données satellite à la courbe de hauteur et volume du lac Dakiri que l'Office national des barrages et d'irrigation du Burkina Faso a établie à partir de relevés topographiques. En se référant au relevé au sol, cette analyse démontre que les données LANDSAT sont exactes à 93,5 %.

Grâce à la méthodologie décrite ci-dessus, il est possible de réduire considérablement le temps consacré aux levés de terrain. En effet, il suffit d'enregistrer, à intervalles réguliers, le niveau des eaux au déversoir, afin d'extraire une courbe complète faisant apparaître le rapport entre la hauteur, la surface et le volume. Selon nos propres expériences, la précision du relevé est optimale aux hautes et moyennes eaux, tandis qu'en fin de saison sèche nous devons nous attendre à des écarts importants par suite de la formation d'îles et de chapelets de mares dans le réservoir.

Cette recherche dépasse donc une utilisation à court terme des images satellite

Burkina Faso (Upper Volta), in the heart of the Sahel, faces a continuing problem with its water supply. Monitoring and evaluation of this resource is therefore essential, and this can most appropriately be done by satellite sensing. Canada has developed an enviable expertise in using satellite imagery for monitoring natural resources such as water.

To evaluate the water-sensing potential of satellite scanners and to develop a method for transferring Canadian technology, several images covering an area northeast of Ouagadougou, Burkina Faso, have been studied.

Satellite images obtained at different times of the year map the drainage pattern and monitor water bodies. Comparison of data from outer space with data derived from ground sampling suggests that a water body with a 10 km² surface will lose 86 per cent of its water through evaporation during the dry season. Eight per cent will be used for irrigation and 0.5 per cent for watering cattle.

Landsat data evaluated water levels retained between the wet and dry seasons with a 93.5 per cent precision, when compared with ground data

This remote sensing method can be applied to other semiarid regions of Africa.

This article is also available in English.

A New Look at the Juan de Fuca Ridge:

High-Resolution Bathymetry and Side-Scan Acoustic Imagery

by E.E. Davis, R.G. Currie, R.P. Riddihough and B.S. Sawyer

Earl Davis graduated in geophysics from the University of Washington. He spent two years as a postdoctoral fellow at the Department of Earth and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology, before joining the Pacific Geoscience Centre in 1977. His research interests include marine heat flow in very young and very old basin areas and ridge crest tectonics and hydrothermal processes.

Ralph Currie graduated in geophysics from the University of British Columbia and worked as mining geophysicist for a number of companies in Canada and Australia. Since joining GSC in 1972, his primary responsibility has been the collection, compilation and interpretation of magnetic data in the northeast Pacific.

Robin Riddihough took degrees in geology and geophysics at the University of London and spent the next 20 years in research agencies in England, Ireland, Italy and Canada. He is currently a research scientist in EMR's Earth Physics Branch at the Pacific Geoscience Centre where he concentrates on plate tectonic models of the northeast Pacific.

Brian Sawyer holds a Bachelor of Fine Arts degree from the University of Victoria. He was a private consultant as a graphic specialist and has been an illustrator and cartographer at the Pacific Geoscience Centre for five years.

The outermost layer of the earth is now known to consist of rigid lithospheric plates that move slowly but steadily with respect to each other. Boundaries between the plates are of three general types: at converging-plate boundaries where plates move toward one another, motion is taken up by subduction or compressional mountain building; at transform boundaries where plates move in parallel but opposite directions, motion is concentrated along extensive strike-slip faults; and at diverging-plate boundaries where plates move away from each other, new material wells up from within the earth's interior to form new lithosphere in

Ralph Currie (in red jacket), Earl Davis and Don Hussong, coinvestigator from University of Hawaii, deploying SeaMARC II.

Ralph Currie (en veste rouge), Earl Davis et Don Hussong, cochercheurs de l'Université d'Hawaï, larguant le SeaMARC II.



the gap between the two continuously diverging plates. In most cases the third process takes place in ocean basins and is known as seafloor spreading.

An excellent example of the third process can be found only a few hundred kilometres off the west coast of North America on the Juan de Fuca Ridge (Fig. 1), where new seafloor is being produced at a rate of about 6 cm a year. Extensive study of this feature began 25 years ago with the observation and analysis of magnetic anomalies over the crest and flanks of the ridge. It was, in fact, these anomalies that helped estab-

lish the fundamental concepts of seafloor spreading and plate tectonics. Since then, the Juan de Fuca Ridge has been the subject of a host of marine geophysical studies and, as a result, has become one of the best studied ridge systems in the world.

In spite of the quantity of data collected, details of the complex morphology of the ridge were until recently poorly known because it lies beneath 3 km of water. Observations were limited to those that could be made directly beneath ships' tracklines. Recently, two new tools have been providing a continuous view of the

seafloor, much as an aerial photograph does on land. These are the SEABEAM multibeam echo-sounding system, and the SeaMARC side-scan imaging system.

SEABEAM is a sophisticated, hull-mounted echo-sounding system that periodically transmits a narrow-beam swath of sound energy towards the seafloor and calculates the depth at 16 discrete points across the swath on the basis of the travel times of returning echoes (Fig. 3). At typical survey speeds (12 knots) and transmission repetition rates (10 seconds), a measurement is recorded every 100 to 150 metres along and across the ship's track, a swath about 2 km wide.

A systemic grid survey was completed in 1983 and 1984 by the U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ship *Surveyor* over the northern Juan de Fuca Ridge with a trackline spacing adjusted to achieve complete coverage of the seafloor. An example of the data collected and compiled is presented here as a simulated relief contour map (Fig. 2b). The gain in resolution provided by this bathymetric mapping tool is clearly evident when that map is compared with one compiled from conventional echo-sounding data (Fig. 2a).

The second tool from which data are presented is a recently developed medium-range and medium-frequency acoustic side-scan system dubbed SeaMARC. Examples from two versions of this system are included. SeaMARC I, developed by International Submarine Technology (IST) and operated by Lamont-Doherty Geological Observatory, is a deep-towed imaging tool that operates at frequencies near 30 kHz (port and starboard frequencies differ to avoid 'cross-talk'). It is towed between 300 and 500 m above the seafloor and has a working range of between 0.5 and 2.5 km on each side of the 'fish' (Fig. 3). SeaMARC II, also developed by IST but operated by Hawaii Institute of Geophysics, is towed only 100 m below the sea surface and operates at somewhat lower frequencies (12 kHz). It has a greater working range (5 km on each side).

Data from both instruments are digitally processed to produce a geometrically correct acoustic image of the seafloor. The spatial resolution or 'size' of the object these devices can see is a function of tow speed, distance to the object and

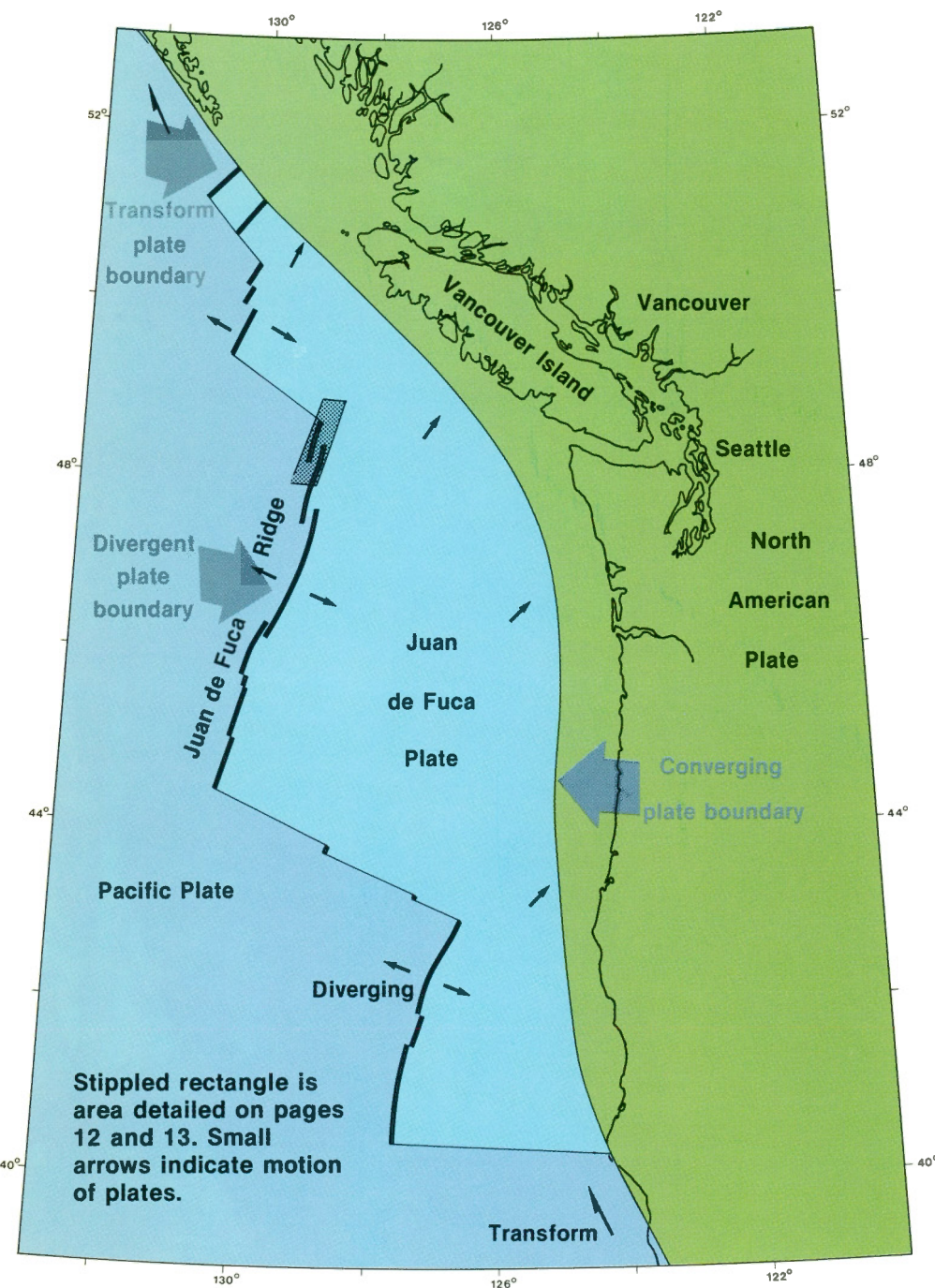


Figure 1 Principal tectonic plates of the Juan de Fuca Ridge system showing examples of the three types of plate boundaries

Principales plaques tectoniques du système de la dorsale Juan de Fuca, montrant trois types de limites de plaque

Figure 2a Bathymetric contour map of the northern Juan de Fuca Ridge interpreted from conventional echo-sounding data. The contour interval is 100 m.

Carte des courbes bathymétriques du nord de la dorsale Juan de Fuca tirée à partir des données ultra-sons conventionnelles. L'écart d'altitude est de 100 m.

Figure 2b Bathymetric contour map of the same area compiled from high-resolution SEABEAM bathymetric data. The contour interval is 20 m. The illusion of relief is accomplished by drawing contours in black or white depending upon orientation of the local slope with respect to a western 'light source'. Colour shading has been added to neutral grey background to emphasize regional relief.

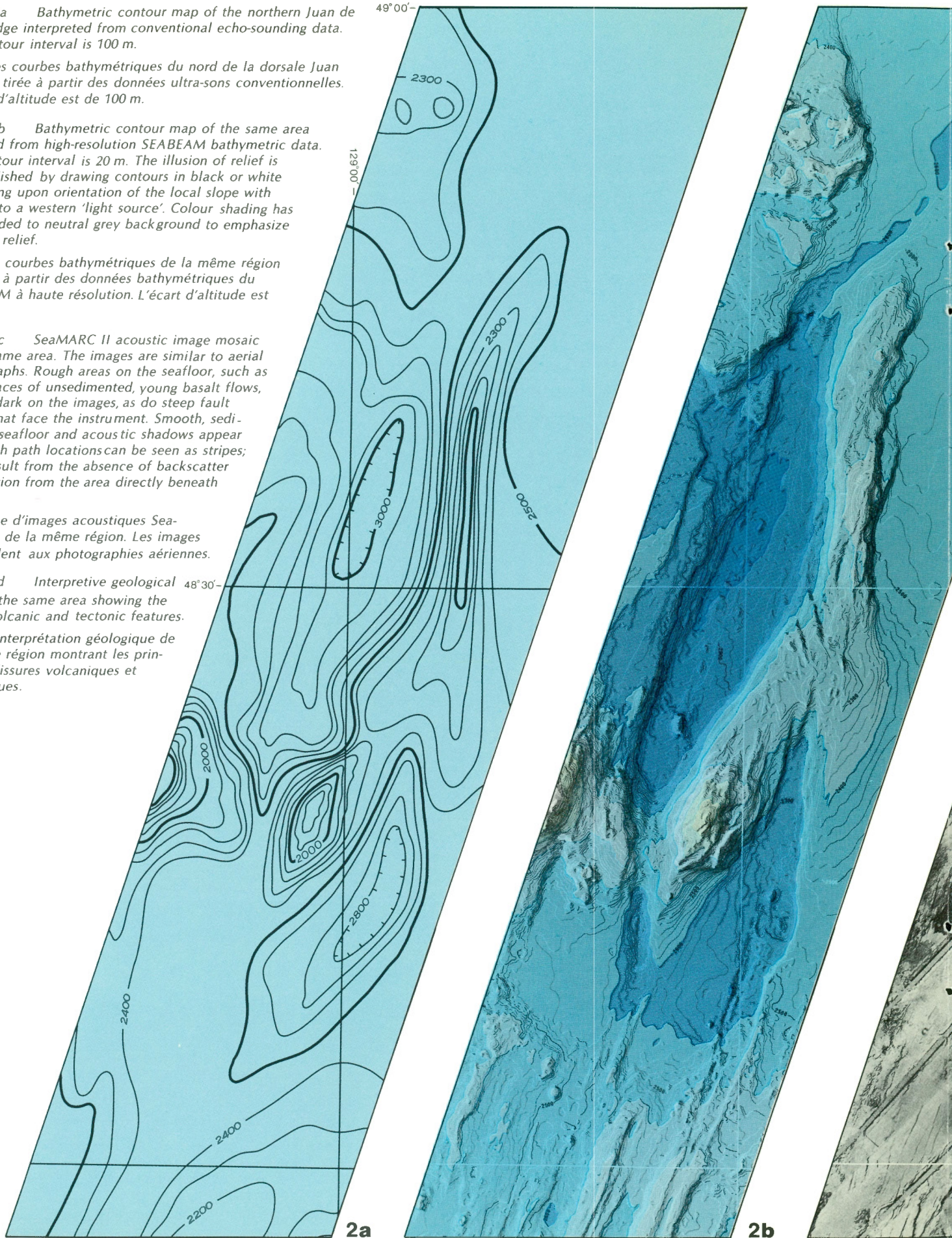
Carte de courbes bathymétriques de la même région obtenue à partir des données bathymétriques du SEABEAM à haute résolution. L'écart d'altitude est de 20 m.

Figure 2c SeaMARC II acoustic image mosaic of the same area. The images are similar to aerial photographs. Rough areas on the seafloor, such as the surfaces of unsedimented, young basalt flows, appear dark on the images, as do steep fault scarps that face the instrument. Smooth, sedimented seafloor and acoustic shadows appear light. Fish path locations can be seen as stripes; these result from the absence of backscatter information from the area directly beneath the fish.

Mosaïque d'images acoustiques SeaMARC II de la même région. Les images ressemblent aux photographies aériennes.

Figure 2d Interpretive geological map of the same area showing the major volcanic and tectonic features.

Carte d'interprétation géologique de la même région montrant les principales fissures volcaniques et tectoniques.



2a

2b

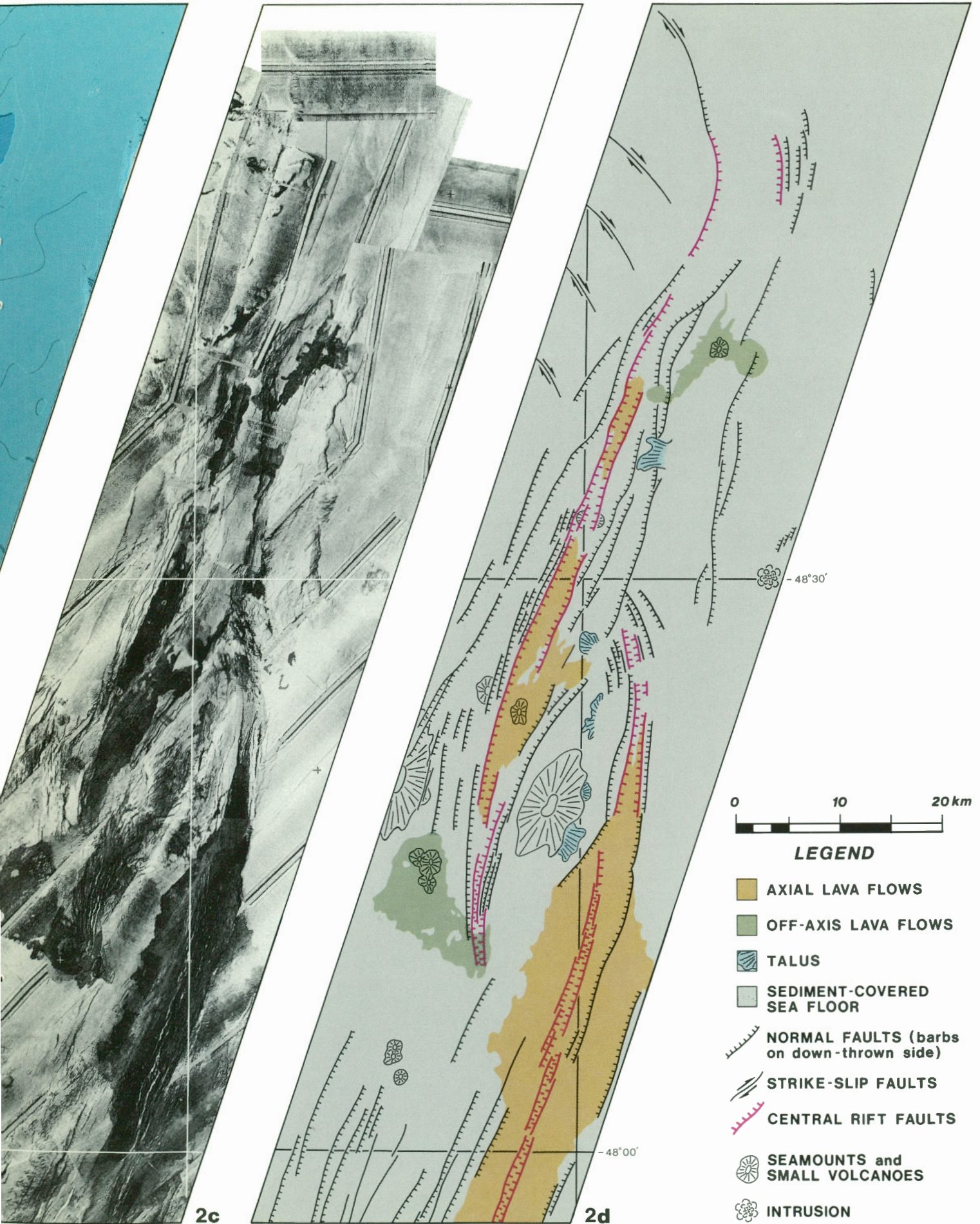


Figure 3 The SeaMARC and SEABEAM swath-mapping tools

Les instruments de cartographie SeaMARC et SEABEAM

instrument frequency. The resulting images are made up of pixels (digital picture elements) typically 5 m by 40 m for SeaMARC II and 1 m by 5 m for SeaMARC I. Dark or black pixels indicate strong echoes due to either a rough bottom (backscatter) or an inclined surface facing the instrument (specular reflection), whereas light pixels indicate a smooth bottom or acoustical shadows.

A mosaic of SeaMARC II side-scan images over the same area covered by the bathymetry map is presented in Figure 2c. Mosaics such as this one allow us to view the seafloor without the usual blinders imposed by conventional track-line data. Many features that previously could not be observed are visible; the combination of continuous, high-resolution bathymetric and side-scan image data now provides us with maps comparable in quality to those available to geologists and geophysicists working on land. These are excellent base maps for planning and executing subsequent detailed geophysical and geological studies and they yield a wealth of information about seafloor tectonic, volcanic and sedimentary processes.

A geological interpretation of the images from this portion of Juan de Fuca Ridge is given in Figure 2d. The morphology of the spreading axis varies greatly along this ridge segment. At about 48°N, rifting or active spreading is confined to a narrow (750 m), shallow (150 m) graben at the summit of a linear volcanic ridge. A seismic reflection profile at this location shows this rift and ridge, and the local symmetry of the topographic features (Fig. 4a). These characteristics of the ridge are clearly evident in both the high-resolution bathymetry and the backscatter imagery.

In addition, the new data show many previously undetected features. The degree of continuity and linearity of the central volcanic ridge and rift graben, for example, can be seen; individual normal faults bounding the rift graben are seen

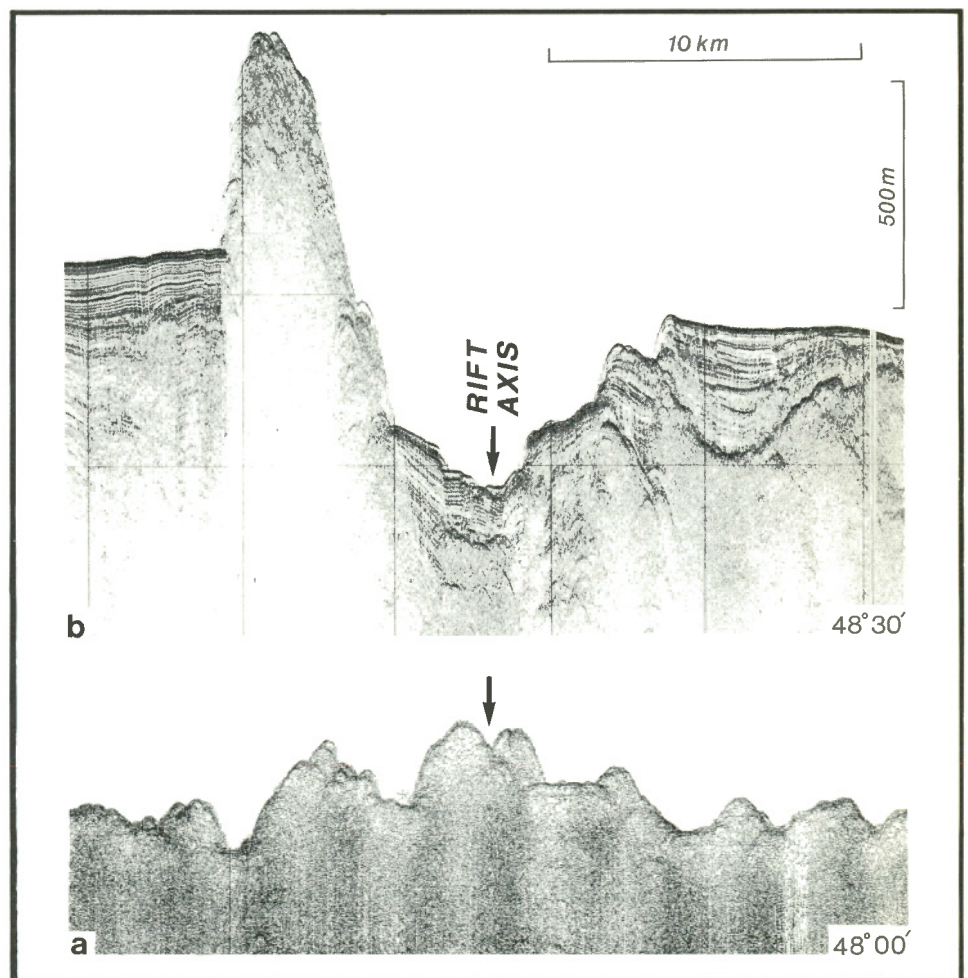
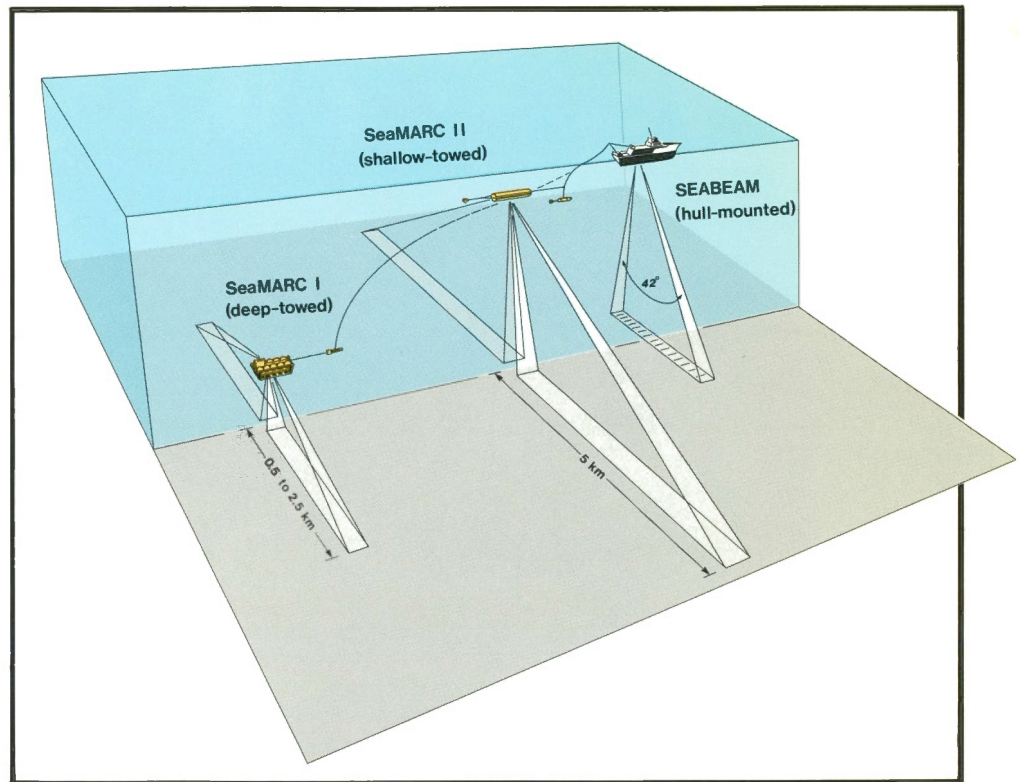


Figure 4 Seismic reflection profiles across the northern Juan de Fuca Ridge at 48°N, and West Valley 50 km at 48°30'N. Extreme variability of morphology illustrates the need for continuous imaging.

Profils de sismique-réflexion au nord de la dorsale Juan de Fuca au 48°N et West Valley à 50 km plus loin au 48°30'N. Une prise de vue continue est nécessaire en raison de la morphologie très variée.

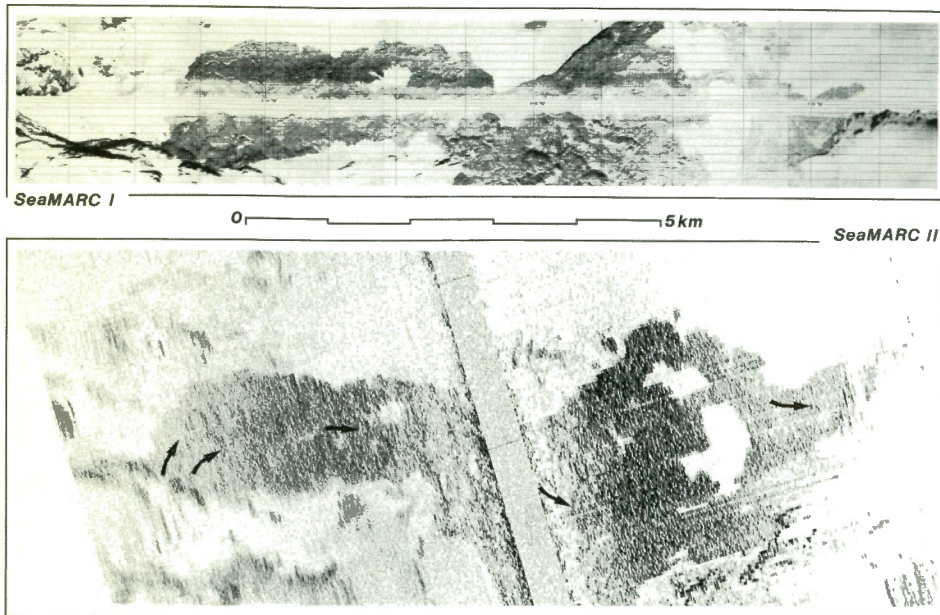


Figure 5 Single basalt flow, issuing from a ridge crest fissure, as viewed from high altitude by the SeaMARC II system, and from low altitude by SeaMARC I. Location of the source and direction of flow is illustrated. Cost of the high resolution is simply time: the flow was imaged in about 10 minutes of SeaMARC II transit compared with about 3 hours of SeaMARC I towing.

Coulée simple de basalte, provenant d'une fissure de la crête de la dorsale, perçue en remorquage peu profond par le système SeaMARC II et en remorquage profond par le SeaMARC I.

as shadows and strong reflections in the side-scan imagery; relative ages of volcanic terrains can be estimated from the strength of the backscattered energy by assuming that young flows produce stronger reflections; and the presence of low-relief normal fault scarps is made clear in the side-scan imagery, often where there is no evidence for faulting in either the seismic data or the SEABEAM bathymetry.

Further north the ridge crest becomes considerably more complex, making the regional structures particularly difficult to understand through standard geophysical techniques. North of 48° to the Sovanco fracture zone at 49° , the morphology of the ridge crest is not a volcanic ridge with a small axial graben; instead, spreading takes place in two deep (up to 3000 m water depth), broad (up to 15 km) axial valleys (Fig. 4b).

Why the deep valleys form is not well understood, although it is most likely that they are the result of proximity to the nearby ridge-transform intersection (see Fig. 1), which reduces the ease with which new crustal and lithospheric material can be supplied to the spreading centre. Since

most of the valley floor is covered with sediment, there has evidently been little volcanic supply in this area. Between the latitudes of $48^\circ 10'$, and $48^\circ 30'$, these valleys, which are offset by about 15 km, overlap with their ends curving toward the adjacent rift valley. The cause of the conjugate-pair overlapping rifts is also not well understood, although this pattern is observed at other ridge locations with small axis offsets.

Although the SEABEAM and SeaMARC II data provide a spectacular overview of the regional volcanic and tectonic structure of these seafloor spreading features, much detail is still unresolved. The next step in acoustic resolution is achieved by the deep-towed SeaMARC I system. To illustrate the relative resolving powers of the two side-scan systems, images of the same feature are compared in Figure 5.

These images show a volcanic flow that has covered an area of about 18 km^2 out to a distance of 10 km from its source at the fault scarp in the upper left corner of the image. The strong backscatter from the flow surface contrasts greatly with that from the sedimented surface on which the flow rests. Its shape is very well defined by the SeaMARC II image, including small-scale (c. 50 – 100 m) irregularities of the flow front.

In the SeaMARC I image these irregularities are seen more clearly; in addition, textural details indicate the presence of flow channels, flow units ponding against and covering fault scarps, and younger flow units covering the older ones. It is interesting to note the many similarities between the textural features of this flow and those of a typical subaerial flow surface on Mauna Loa, Hawaii (Fig. 6).

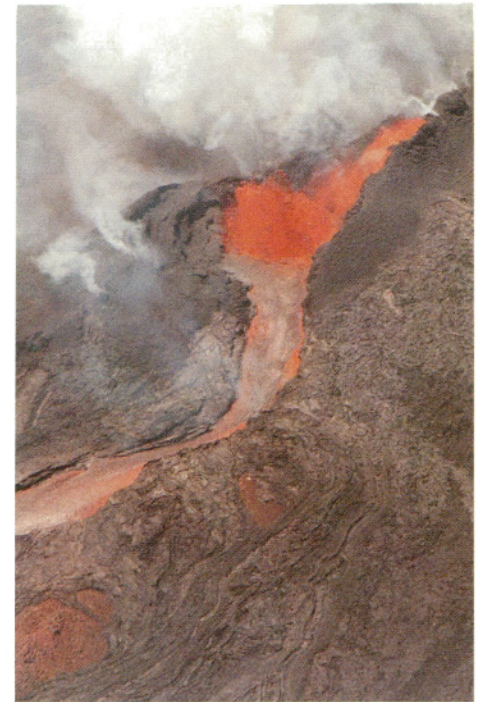


Figure 6 Aerial photograph of recent basalt flow on the flank of Mauna Loa, Hawaii. Comparison with the acoustical images of Figure 5 reveals striking similarities between the subaerial and subaqueous flows.

Photographie aérienne de coulée de basalte récente sur le flanc du Mauna Loa, Hawaï. À comparer avec la figure 5 et remarquer les ressemblances entre les coulées subaériennes et subaquatiques.

From these types of high-resolution acoustical mapping, much is being learned about geological processes taking place at seafloor spreading centres and other locations. The resultant maps and mosaics are also providing invaluable information for planning and executing other geophysical and geological studies, such as heat flow measurements, electrical resistivity soundings, ocean bottom instrument seismology and seismic refraction studies, sediment coring, rock dredging, and submersible operations.

Deux récents instruments de prise de vue acoustique, le SeaMARC et le SEABEAM, ont été conçus pour l'étude du système de la dorsale Juan de Fuca

Ces instruments de cartographie produisent des cartes d'une clarté inégalée jusqu'à présent et dont le détail permet d'avoir un aperçu des processus d'expansion des fonds marins.

Cet article est aussi disponible en français.

Seeking Out Our Hidden Resources

by Jocelyn Marshall



Jack Mollard on Bathurst Island, N.W.T. among the ruins of a summer home constructed of whale bones

Jack Mollard sur l'île de Bathurst, T.N.-O. au milieu des ruines d'une maison d'été construite d'os de baleine

"Can you see the cow?" inquires the instructor.

His audience, a group of 40 engineers, geologists, foresters, agriculturists and planners, see no cow. All they see is a snow scene projected on the screen in front of them.

Only when Jack Mollard flashes to the next slide, the same scene but with a

cow's head outlined, can the audience distinguish the rest of the animal from the black and white of the landscape behind it. Even more striking, when the first slide is returned to the screen, all eyes are now riveted on the cow.

Mollard uses this kind of illustration when he teaches professional groups such as this one *how* to look at aerial photographs. It's like looking at a crowd of people, he tells them. You pick out and are riveted to those familiar faces you recognize.

Canada's leading expert in interpreting aerial photography (and probably the first in Canada to work full-time in his specialty) has earned an international reputa-

tion through his ability to search out familiar geographic faces that indicate where sand, gravel, oil, gas and even gold may be found. And while he's had his share of travel and flying over the years, more often than not these days Dr. Jack Mollard plies his trade seated at a desk in his comfortable downtown Regina office, examining the aerial photographs and space images laid out in front of him, by means of stereoscopic lenses.

The visuals he works with range from photographs taken anywhere from about 1 to 6 miles above the earth to those acquired by satellites orbiting 570 miles out in space. Mollard uses the large-scale aerial photographs to search out telltale

fingerprints leading to commercial sources of gravel and groundwater for industry and towns.

The small-scale Landsat images he analyzes cover vast areas of Canada. They provide a regional perspective, the big picture. And he frequently uses them to select the best corridors for potential highways, pipelines and power transmission lines in northern Canada — routes that later on are further defined and refined using conventional black and white airphotos.

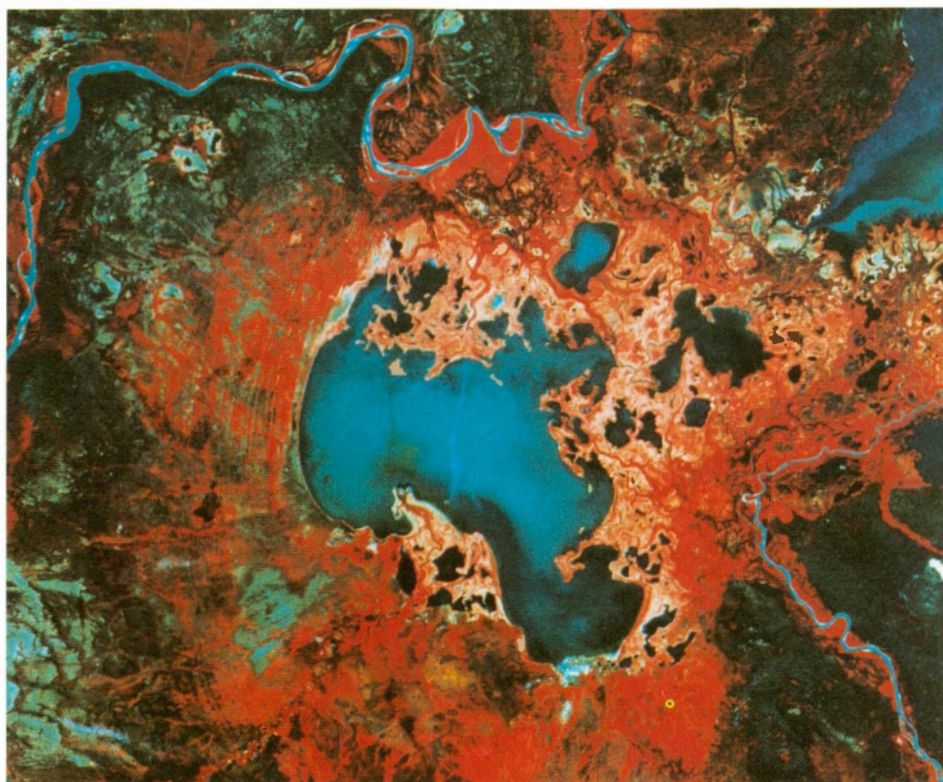
A typical assignment will come from a construction company with a big contract to blacktop a stretch of highway. They have only four frost-free summer months in which to work and the supply of gravel they need to make the blacktop mixture has run out. It's costing them \$5000 a day while they look for a new source. Can Mollard find some gravel *tout de suite*?

"Right away we send for the airphotos we need and within two hours we're looking for a new source," Mollard explains.

One of his more out-of-the-ordinary jobs recently was trying to find a cemetery site in permafrost terrain, one where graves could be dug easily year round. The problem was to find a hill of sand and gravel where water would drain down through the soil instead of filling up the pores and then freezing during the winter into a rock-solid mass of ice. Happily, Mollard's detective skills paid off and a suitable site was found.

Although he interprets aerial photographs for many kinds of jobs requiring detailed detective work, Jack Mollard also analyzes satellite images for certain types of studies — as, for instance, when he wants to know the locations of new roads in the boreal forest, where an excessive amount of sediment is entering a lake or stream, where treacherous muskegs might engulf the unwary bulldozer operator, or where intersecting lineaments in the landscape may give hints to a possible ore deposit.

Recalling some of the work he did in the mid-50s when he first started hunting for gold and oil target sites, Mollard comments "To get the same regional perspective that satellite pictures now provide, I had to match literally hundreds of individual photographs into a huge mosaic, usually so large it had to be assembled on the floor. I'd take off my shoes and walk around in stocking feet trying to find surface features that might indicate subsurface anomalies for follow-up investigation."



In 1957 Mollard drew a white cross on an airphoto for an oil company and recommended that the company run a geophysical traverse across the area. Twenty years later he learned that a different oil company had drilled a well almost exactly on the cross and had found oil approximately 8800 feet below ground surface.

After leaving the search for hidden petroleum and gold resources for nearly 30 years, Mollard is back again on the hunt. "It's exciting," he says, "because we're able to fit together many more pieces in the puzzle. Through advances in remote sensing technology and the discovery of many new oil and gas pools that were unknown in 1957, we are now able to explain quite convincingly what we merely suspected might be true 30 years ago."

Occasionally Mollard recommends that clients have new photographs flown, photographs tailored to very specific job requirements. But for most projects the airphotos he needs are available at a nominal fee from the National Air Photo Library in Ottawa or from one of the several provincial airphoto libraries. Most of Canada has been photographed from the air several times, and all one has to do is pick up the phone to find out what different ages, scales and types of imagery are available.

Landsat satellite image of northeastern corner of Alberta similar to images used in Airphoto Interpretation and the Canadian Landscape.

Cette image LANDSAT de l'extrémité nord-est de l'Alberta est semblable à celles qui sont présentées dans le livre La photo-interprétation et le territoire canadien.

Over the years Jack Mollard has travelled extensively. One of his first assignments overseas in the 50s was for the Colombo Plan, setting up the interpretative machinery for an aerial resource mapping project in West Pakistan and Ceylon. As a leader in the field, and possessing advanced technology recognized by other nations, it was natural that Canada, through people like Mollard, should offer these skills to Third World nations to help them in their agriculture and irrigation projects and in hydro and forestry development.

Mollard's vast experience in aerial photography also made him the obvious choice as author when Ray Moore, then Director General of the Surveys and Mapping Branch, EMR, decided to publish a textbook on photo interpretation and remote sensing for Canadian students and practitioners.

"As acknowledged leaders in the field," says Dr. George Zarzyki, who took on the book when he later became Director General, "and with such a rich resource of images available in the National Air



Photo Library, Canadian engineers and photo interpreters *should* be able to use Canadian material. All existing books used photographs from everywhere *but* Canada."

Airphoto Interpretation and the Canadian Landscape, written by Jack Mollard in collaboration with geologist-teacher-writer Bob Janes, is now a reality, a labour of love that has taken 10 years to complete.

Available from the Canadian Publishing Centre, Supply and Services Canada, the book is about the recognition and mapping of Canadian landforms and the soil and rock materials in them, and how airphotos may assist in this. It is also about Canadian waters, vegetation and land use — the High Arctic as well as the western plains, mountains and other geographical units of Canada. They appear in 240 interpreted stereoscopic airphoto illustrations and 11 colour composite Landsat scenes in turn supplemented by selected examples of colour infrared photography, thermal infrared and radar imagery.

Interpreting this imagery, the authors emphasize the processes that created and continue to shape Canada's surface features. They also acquaint the reader with the kinds of terrain information that may be identified, mapped and evaluated from remotely sensed data.



Mollard with a group of rural people in north-eastern Ceylon

M. Mollard, entouré d'un groupe d'autochtones au nord-est de Ceylan

For over half a century, Canada's development — and indeed much of her contribution internationally — has been linked with aerial photography. It seems only fitting that our most distinguished 'finder' of hidden resources, a man for whom the excitement of the detective game is *still* fresh, should share his knowledge and experience with students and professionals wishing to learn more about the physical nature of their own country.

M. Jack Mollard est le chef de file des interprètes en photographies aériennes du Canada. Il peut trouver pour ses clients des ressources en pétrole, sable, gravier et même de l'or. Spécialisé dans la reconnaissance de la topographie et dans l'interprétation des images LANDSAT, M. Mollard peut également conseiller sur des sites appropriés pour des barrages et identifier les récoltes ou les arbres qui sont en bonne condition.

M. Jack Mollard, en collaboration avec M. Bob James, est l'auteur d'un livre sur les photographies aériennes et les images LANDSAT, intitulé La photo-interprétation et le territoire canadien. Cet ouvrage s'adresse aux étudiants en interprétation de photographies aériennes et a été récemment publié par EMR.

Cet article est aussi disponible en français

Caravan of migratory people of West Pakistan taken by Mollard near the Khyber Pass while he was working for the Columbo Plan

Une caravane de nomades de l'ouest du Pakistan photographiée près de la passe de Khyber par M. Mollard alors qu'il travaillait au plan Colombo

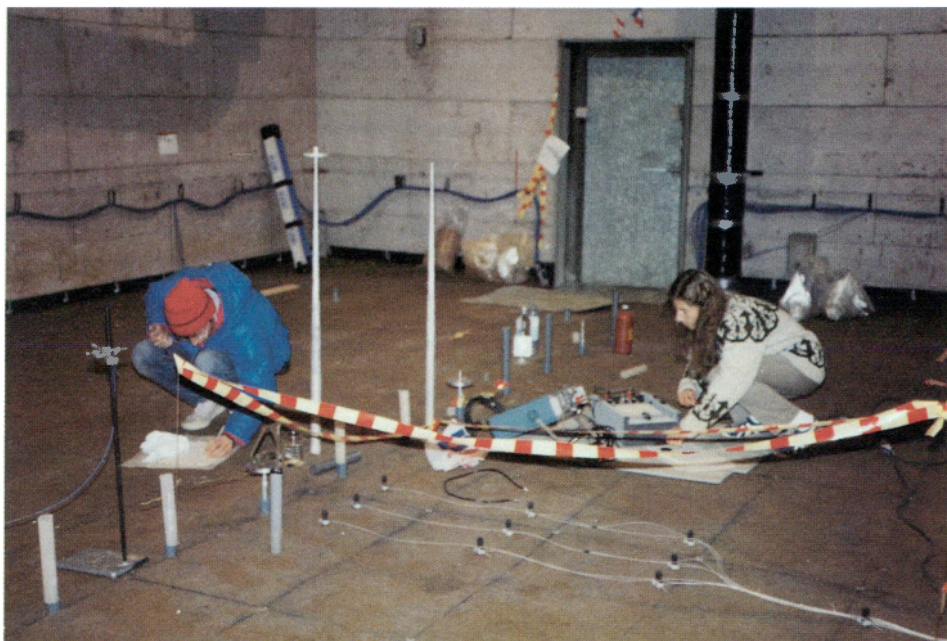


Permafrost

Large-Scale Research at Calgary and Caen

Margo Burgess joined EMR's Earth Physics Branch in 1976 following completion of a BSc in geology at the University of Ottawa and in 1983 completed an MA in physical geography at Carleton University where she was involved with the Caen project.

Here, with another student, Miss Burgess is taking measurements at the Caen pipeline site.



by Margo Burgess

Permafrost, perennially frozen ground, exists where ground temperatures have persisted below 0°C over at least two consecutive winters and the intervening summer. More than 50 per cent of the Canadian landmass, and parts of the near offshore, are underlain by permafrost. Mean annual ground temperatures of as low as -20°C in northern Canada have resulted in permafrost to depths of 700 m and probably as much as 1000 m in the Arctic Islands, over 700 m in the Mackenzie Delta and over 500 m on the northern mainland. It is covered with an active layer that freezes and thaws seasonally.

Permafrost thicknesses observed today are, however, not necessarily in equilibrium with present surface conditions. Permafrost beneath the Beaufort Sea was formed thousands of years ago when the Beaufort shelf was exposed during the last glaciation. At present this permafrost, which reaches thicknesses of

more than 600 m, is degrading in response to warmer sea bottom temperatures, whereas, in recently exposed naturally drained lake bottoms in the Mackenzie Delta, permafrost is forming.

Permafrost thickness is thus dynamic, responding to climatic and geomorphic changes, as well as to natural surface disturbances and those resulting from human activities. The existence and behaviour of permafrost present problems to many aspects of living, development and transportation in the north.

In unconsolidated materials in the active layer, ground ice is extensive. Massive ice lenses up to 10 m thick and extending over several hundred metres have been observed in many parts of the north. This ice is believed to form during the freezing of fine-grained soils. The movement of water, under temperature gradients, towards the freezing front causes ice to accumulate and frost to heave the overlying surface. This heave is in addition to

the 9 per cent volume expansion of water as it changes phase to ice. In fine-grained soils, volumetric ice contents of 40 per cent are common.

In the discontinuous permafrost zone, where ground temperatures may be very close to 0°C, natural climate change or change to the ground thermal regime resulting from engineering activities need only be slight (1 to 2 degrees) to have dramatic effects. In ice-rich soils, a small increase in mean temperature may result in an increase in the depth of summer thaw, the release of large volumes of water (more than would be contained normally in the unfrozen soil), loss of soil strength, and ultimately ground settlement. The integrity of overlying structures may be seriously affected. In unfrozen frost-susceptible soils, a slight decrease in mean ground temperatures to below 0°C could create conditions conducive to ice lensing and frost heave, phenomena which could also present serious engineering difficulties.

Frost heave and thaw settlement are indeed major issues to be confronted during northern development, and are of particular concern in the design, construction and operation of northern pipelines. Structures such as pipelines may have a lifespan of more than 30 years, a period over which natural or artificially induced climate changes could occur and profoundly change ground thermal conditions.

The Earth Physics Branch of Energy, Mines and Resources, through in-house and contract research and with financial assistance from the Federal Energy Research and Development Program, is attempting to increase our understanding and knowledge of the thermal and thermodynamic properties of soil material in order to improve analytical models for predicting the effects of soil freezing. Results of this work should help improve the design of major northern engineering structures.

Two natural-scale experiments, at Calgary and at Caen, France, are aimed at studying the behaviour of soil around a buried refrigerated pipeline. These large-scale studies of soil-pipe interaction are unique in that many of the difficulties of laboratory research, such as scaling down the dimension and duration of testing, are overcome.

The first experiment, at the Calgary frost-heave test facility, owned by Foothills Pipeline and now jointly operated with EMR, has been in operation since 1974. The Calgary facility is an outdoor test

site consisting of five full-size (1.2 m diameter) buried and refrigerated pipe sections, representing possible gas pipeline burial modes (Fig. 1). The pipes are buried in the natural surficial material, a silt that is highly frost susceptible. Three pipe sections are not insulated: (1) a deeply buried section with the base of the pipe 2.9 m under the original ground surface, (2) a section in gravel with the base of the pipe at the standard southern 2 m depth and underlain by 0.9 m of gravel, and (3) a restrained section buried 2 m with restraining devices to provide constant hold-down pressure. Two pipe sections installed in 1977 are insulated with 15 mm of polyurethane and buried 2 m deep; one of these sections is underlain and backfilled with gravel.

Refrigerated air circulates at -10°C through the Calgary system. Ground temperatures, depth of frost penetration and shape of the frost bulb (the annular zone of frozen ground around the pipe) are monitored via temperature cables. Rods welded to the pipe and extending above the surface are surveyed to measure the pipe heave. Soil heave is measured by surveying rods attached to plates buried at different levels in the ground.

Since 1974, the pipe has heaved more than 60 cm at the deep burial section, while frost depths have penetrated to 3 m below the pipe (Fig. 2). In the heave curves for the noninsulated sections, shown in Figure 2, slight seasonal fluctuation trends are noticeable, particularly for the gravel section. In the insulated sec-

tions, annual fluctuations in the heave and frost penetration are significant: summer thaw tends to negate winter heave.

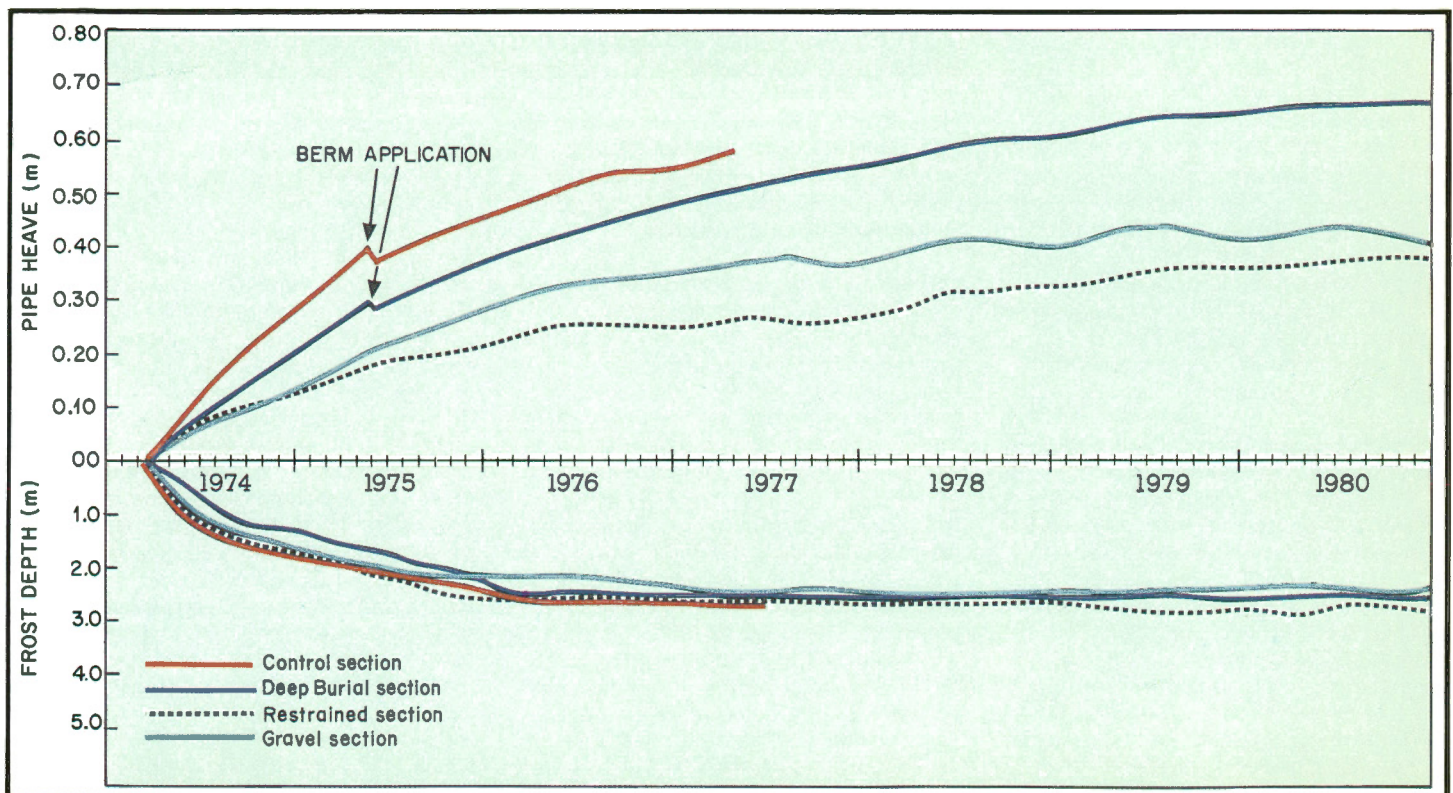
EMR's involvement at the Calgary site, which began in 1982, ensures the continued operation of this longest running field frost heave experiment, and thus the observation of long-term heave rates. The position of the frost bulb around the pipe (e.g., the gravel site in Fig. 2) is well defined by the temperature swings. The site thus provides an excellent opportunity to test the capability of various geophysical techniques to delineate the shape and position of a frost bulb. Ground radar probing techniques, electromagnetic profiling and refraction seismic surveys have been performed through industry contracts. The possible use of microgravity surveys to detect both the frost bulb and year-to-year changes is also under examination.

After several more years of extensive data gathering and laboratory studies of soils, the Calgary experiment will move into a thaw mode. The analysis will then look towards problems associated with pipeline reclamation.

A second large-scale project has been underway since 1981 in a joint Canada-

Figure 1 Observed pipe heave and depth of frost below bottom of pipe at Calgary facility (after Carlson et al.)

Souèvement par le gel d'un tuyau et profondeur du gel sous le tuyau, station de Calgary (d'après Carlson et coll.)



France research effort. EMR, through contracts to Carleton University in Ottawa, is participating in a study of soil freezing around a buried refrigerated pipeline at a controlled environment facility in Caen.

Though France itself has no permafrost other than in the high Alps, the facility at Caen was built in the early 1960s following a severe winter in which seasonal freezing and thawing caused extensive damage to the road network. The Caen test chamber was designed to study the effects of soil freezing on various road-bed materials and resulted in the formulation of guidelines for highway engineers.

The totally enclosed facility, in addition to enabling natural-scale experimentation, provides more rigorous control of climatic, hydrological and soil conditions than the Calgary facility. The protected indoor environment also allows a much more detailed and complex instrumentation setup.

At Caen, a noninsulated pipe 273 mm in diameter is buried in initially unfrozen soil with a lateral transition from a frost-susceptible silt to a non-frost-susceptible sand, simulating a major boundary of soil types common in permafrost terrain. A first freezing experiment, with the pipe refrigeration at -2°C and chamber air temperature at -7°C , ran from September 1982 till June 1983. These conditions simulated the autumn start-up of a chilled gas pipeline in an unfrozen area with simultaneous cooling of soil at the surface and around the pipe. A summer cycle of surface thaw followed during the

summer of 1983. A second freezing cycle with pipe refrigeration lowered to -5°C is now under way (Fig. 3).

The experiment is heavily instrumented to monitor the thermal, heave and hydrological regimes. The network of sensors installed in each soil includes thermocouples, thermistors and frost tubes to monitor the thermal regime; time domain reflectometry probes (measuring volumetric unfrozen water content), tensiometers and piezometers to monitor the hydrological regime; and telescoping heave tubes and glotzl cells (measuring total soil pressure) to monitor the soil heave regime. The study of soil-pipe interactions is complemented by laboratory determinations of the thermal and mechanical properties of the soils.

Several systems enabling calculation of pipe stress are also in place at Caen: (1) 22 strain gauge locations along the length of the pipe, (2) rods welded to the pipe every 50 cm and extending above the surface so that displacements can be accurately measured and used to calculate curvature, and (3) plates, resting on the above rods, whose tilt measurement yields the curvature of the pipe.

During the first freezing experiment, the pipe heaved 11 cm over the 16 m long section. The frost line penetrated to 45 cm beneath the pipe in the sand, and 30 cm beneath the pipe in the silt. In

Permafrost map of Canada
Carte du pergélisol au Canada

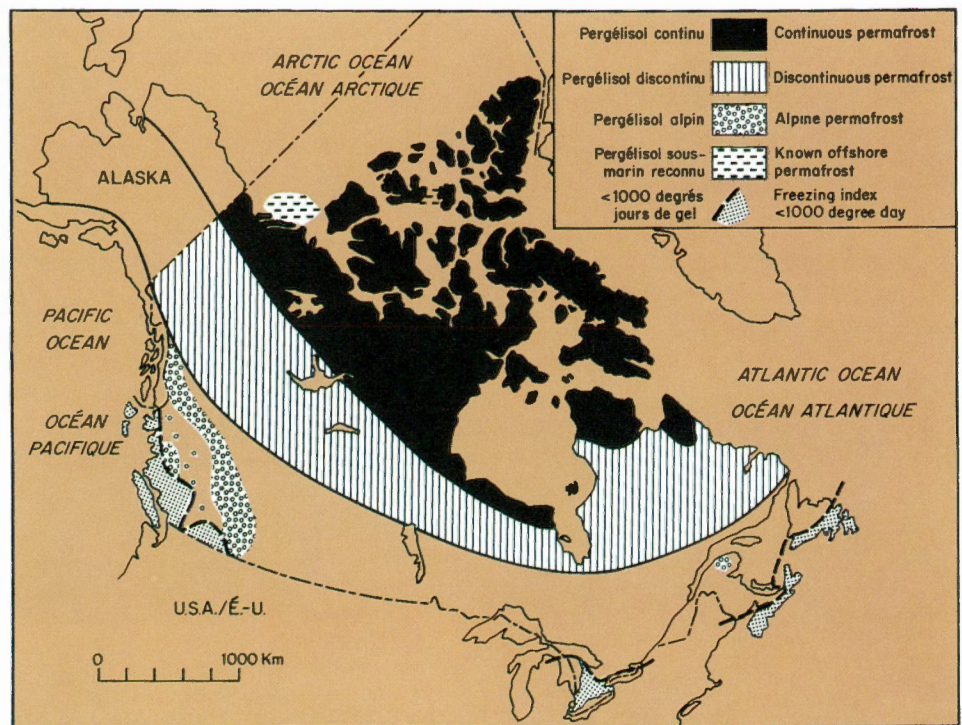


Figure 2 Frost bulb at the gravel section, Calgary facility

Renflement gelé dans la partie graveleuse, station de Calgary

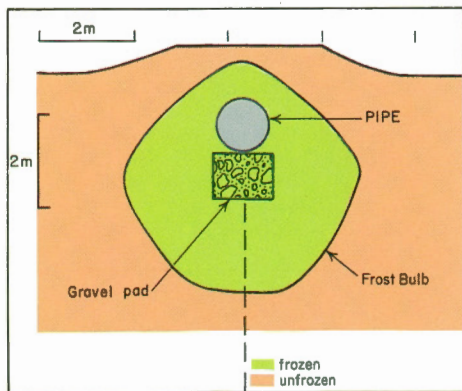
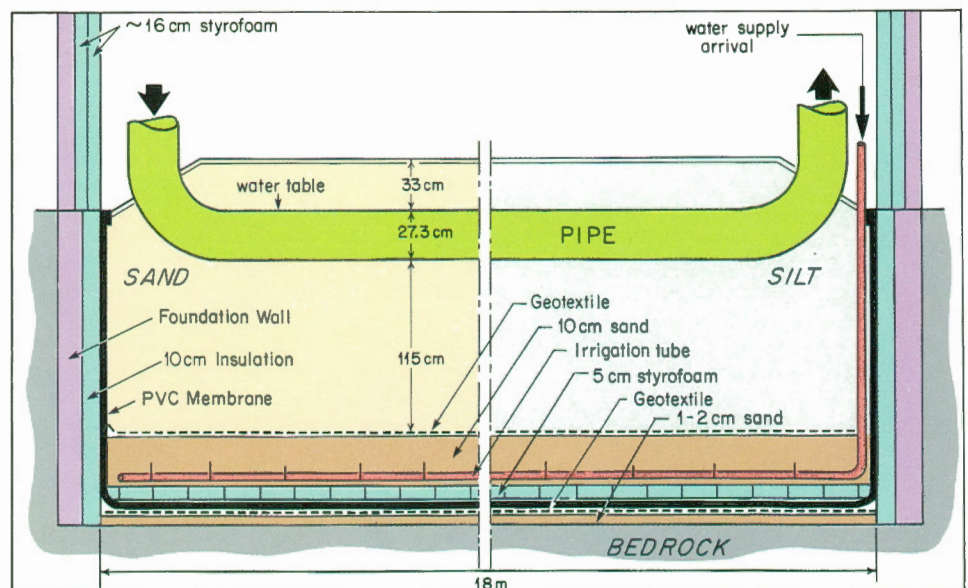


Figure 3 Longitudinal section through test chamber at Caen outlining basal layers involved in pit preparation and general experimental layout

Section longitudinale de la chambre d'essai à Caen montrant le rôle des couches inférieures dans l'excavation et le procédé expérimental général





Massive ground ice exposed in a thaw slide near Mayo in the Yukon. Platy texture seen in the bank is actually ice.

Glace échanée qui apparaît lors du dégel, près de Mayo, T.N.-O. La glace produit la texture dans le banc.

the transition zone between the two soils, the gradient of heave was 1.2 cm per metre. The maximum observed pipe stress of 115 MPa is equivalent to 50 per cent of the yield stress.

During the 1983 summer thaw cycle, the zone of frozen soil around the pipe all but disappeared. A residual heave of 10 to 20 mm in the silt and 6 to 10 mm in the sand remained at the end of the thaw period. The residual pipe bending stress also reversed slightly. The second freeze period (with pipe temperature lowered to -5°C), created, in less than 60 days, a frost penetration deeper than that achieved during the entire 250 days of the first freeze cycle. Rates of heaving and buildup of pipe stress were also greater.

Both the Calgary and Caen experiments will provide insight on the behaviour of freezing soils and information necessary

to the development of predictive models of soil-pipe interaction. Such well documented field case histories provide foundations for and enable tests of theoretical prediction of frost heave. The concept of frost heave developed by Konrad and Morgenstern, for example, bases frost heave predictions on laboratory tests to measure the segregation potential (SP) parameter, namely the ratio of water intake flux to temperature gradient across the frozen fringe (the partly frozen zone between the base of the ice lens and the 0°C isotherm) at the formation of the final ice lens during the freezing test. Laboratory frost heave tests to determine the SP values of Calgary and Caen silt are also under way, for different test pressures and freezing conditions. A comparison between observed pipe behaviour and predictions using SP theory will then be possible.

The Calgary and Caen experiments will provide Canadians with hands-on experience in the design, installation, operation and analysis of large-scale freezing experiments and controlled environment facilities. Such experience will be invaluable to EMR should Canada decide to build its own controlled environment facility.

La mise en valeur du Nord canadien se heurte, sous plusieurs aspects, à la présence du pergélisol. La poussée de gel verticale et le tassement par le dégel, par exemple, représentent des obstacles pour la conception, la construction et le fonctionnement des oléoducs.

Afin d'évaluer les effets du pergélisol, les scientifiques de la Direction de la physique du globe, EMR, étudient les propriétés thermiques et thermodynamiques du sol le long des pipe-lines expérimentaux, enfouis sous la terre et réfrigérés, tels qu'on les retrouve à Calgary et à Caen (France).

Cet article est aussi disponible en français.



Les formations glacielles des rivages du Saint-Laurent

par Jean-Claude Dionne

En hiver, les rivages du Saint-Laurent sont curieusement agrémentés de reliefs glaciels d'une grande variété et d'une beauté surprenante. Dès la mi-décembre et jusqu'au début avril, une couverture de glace d'environ 1 m d'épaisseur et de plusieurs centaines de mètres de largeur recouvre les estrans et les protège, en grande partie, de l'action directe des vagues et des courants. Cette nappe de glace, qui est attachée au rivage et qui s'échoue à marée basse, est appelée pied de glace ou plus couramment glace de batture. Dans le cas du Saint-Laurent, on retrouve deux types de pied de glace: celui de haut estran, généralement étroit, et celui de bas estran, beaucoup plus étendu, excédant parfois 2 km de largeur. Toutefois, dans le moyen estuaire du Saint-Laurent, les marées de forte amplitude (4 à 6 m) provoquent le soulèvement quotidien du pied de glace de bas estran; de ce mouvement vertical de la nappe émergent des formes de pression diverses dont des crêtes linéaires de plusieurs dizaines de mètres de longueur et des crêtes circulaires de plusieurs mètres de diamètre appelées pustules de pied de glace. Ces apparitions saisonnières composent parfois des paysages exceptionnels. À La Petite-Rivière-Saint-François, au pied des collines de Charlevoix, les quelques centaines de pustules de pied de

M. Jean-Claude Dionne est professeur de géomorphologie à l'Université Laval (Québec). Il a œuvré comme chercheur scientifique pendant 15 ans à Environnement Canada, en poste à Québec. Auteur de nombreux travaux sur la géomorphologie et le Quaternaire, il est surtout connu pour sa contribution dans le domaine du glaciél.

glace évoquent de vastes agglomérations d'igloos, comme il en existait avant les années 60 dans le Grand Nord canadien (figure 1).

Les crêtes glacielles linéaires et circulaires sont fréquentes sur les deux rives du Saint-Laurent, en amont et en aval de Québec. On les retrouve, en particulier, dans les rentrants ou sur les battures excédant parfois 1 km de largeur comme



Figure 2 Pustule de forme simple, Neuville
Ice pustule, Neuville

Figure 1 Ensemble de pustules de pied de glace, La Petite-Rivière-Saint-François

Ice pustules, La Petite-Rivière-Saint-François

à Cap-Tourmente, Montmagny et La Pocatière dans le moyen estuaire du Saint-Laurent, ou encore dans les baies ou les rades de Métis, à Pointe-au-Père, Rimouski et Bic dans l'estuaire maritime.

Les pustules de pied de glace

Les pustules de pied de glace sont des monticules circulaires, en forme de cônes, qui émergent au-dessus de la couverture de glace en milieu littoral. Elles mesurent généralement de 1 à 3 m de hauteur et peuvent atteindre de 5 à 10 m de diamètre; on peut trouver cependant des pustules qui dépassent 4 m de hauteur et 20 m de diamètre. Elles sont constituées de fragments anguleux ou arrondis, parfois les deux, qui sont empilés les uns sur les autres ou les uns contre les autres. Il en existe plusieurs variétés allant des formes simples, soit de larges fragments simplement retroussés vers le haut avec une dépression centrale (figure 2), aux formes composites et massives caractérisées par un amoncellement de plusieurs dizaines de blocs de glace de dimensions variées (figure 3).

Les pustules de pied de glace se forment habituellement mais non exclusivement

au droit de blocs erratiques dispersés sur l'estran. Leur mécanisme de formation est lié aux mouvements et aux pressions engendrés par la marée. Lors du jusant, le retrait de l'eau sous la couverture de glace provoque un abaissement de la nappe de glace et son échouage sur le fond. Au droit des blocs, la glace restée perchée se fragmente et bascule légèrement pour former un cône ou un monticule caractérisé par une ouverture centrale. Sous l'impulsion du flot suivant, l'ensemble de la nappe glacielle se soulève de nouveau. L'eau introduite autour du bloc regèle et tend à refermer l'ouverture. Les fragments produits antérieurement et demeurés en surface esquissent alors un monticule. La répétition du phénomène au cours de l'hiver conduit à la formation d'une pustule.

Il arrive aussi que, par brassage, il se forme des boules de glace ou des blocs arrondis au voisinage des cailloux erratiques. Ces boules sont rejetées progressivement à la surface par la pression de l'eau qui s'exerce sous la nappe glacielle; en s'amoncelant autour des cailloux, elles finissent par former des pustules (figure 4).

Un autre type de pustules de pied de glace résulte de la formation d'une masse de glace sur les très gros blocs erratiques des estrans du Saint-Laurent qui atteignent de 2 à 4 m de diamètre. En effet, l'eau qui est projetée par le déferlement des vagues gèle sur le bloc et construit progressivement une carapace pouvant atteindre jusqu'à 1 m d'épaisseur et parfois même davantage au sommet. À marée basse, ces immenses blocs semblent porter des « chapeaux » (figure 5). Emprisonnés dans une masse de glace, ils peuvent être alors déplacés facilement lors du déglacement. Il est courant d'observer le long des rives du Saint-Laurent le déplacement de blocs rocheux de 1 à 2 m de diamètre sur des distances pouvant atteindre de 30 à 50 m; ce phénomène a été constaté à plusieurs endroits.

Quel que soit le type de pustules, ces formes curieuses sont caractérisées par des fissures circulaires à leur base et par un système de fissures radiales allant du sommet vers la base. Au cours de l'hiver, la neige recouvre les pustules et fait ainsi disparaître leurs anfractuosités. Néanmoins, la majorité des édifices, soit de 90 à 95 %, sont constitués de glace pure.

Au printemps et, en particulier, lors des premières pluies, on remarque que la plupart des pustules de pied de glace du moyen estuaire contiennent beaucoup de sédiments. En fait, dans cette zone de forte turbulence des courants, les pustules sont très souvent aspergées de sédiments vaseux.

Les pustules de pied de glace ont été observées dans d'autres régions, notamment dans l'Arctique canadien (Baffin), en



Figure 3 Pustule de forme composite, La Petite-Rivière-Saint-François

Composite ice pustule, La Petite-Rivière-Saint-François



Figure 4 Détail de cette formation

Detail of composite pustule

Figure 5 Bloc à chapeau, La Petite-Rivière-Saint-François

Ice-capped boulder, La Petite-Rivière-Saint-François



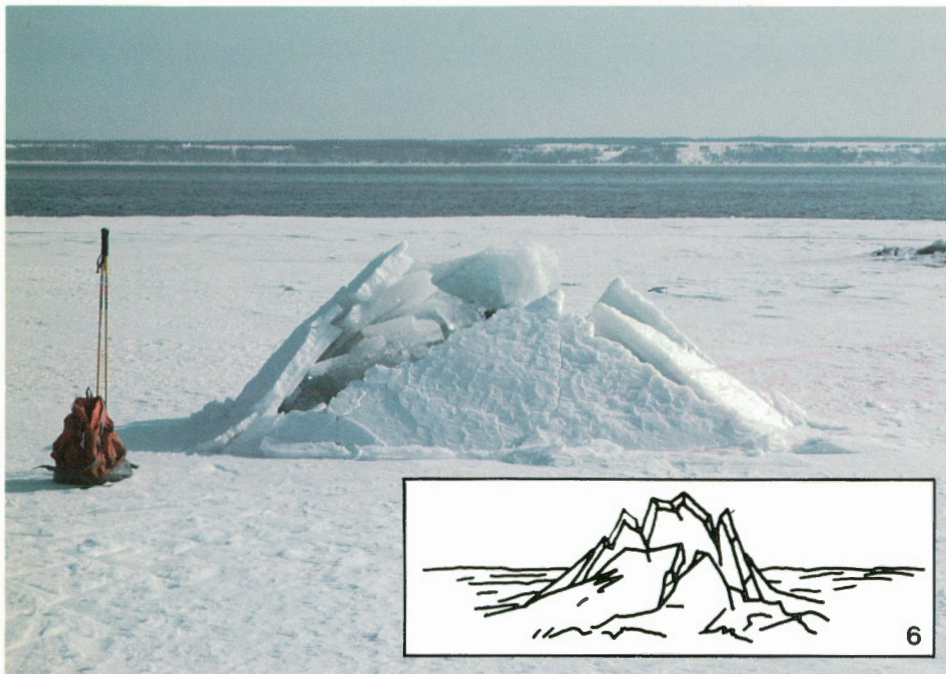


Figure 6 Pustule de pied de glace dans l'Antarctique, d'après les travaux de Wright et Priestly (1922)

Ice pustule in Antarctic, from Wright and Priestly (1922)

Hudsonie, dans l'Ungava, dans l'Antarctique et au Labrador. À ce dernier endroit, on les désigne sous le nom de « ballycat-ter ». La première mention de ce phénomène remonterait au siècle dernier. En 1825, le géologue américain J. Adams a, en effet, signalé la présence de pustules au droit de blocs erratiques le long des rivages lacustres des États-Unis. En 1922, sur les côtes de l'Antarctique, les géologues anglais C. S. Wright et R. E. Priestly ont décrit une forme similaire dont ils ont attribué l'origine à l'échappement d'air emprisonné sous la couverture glacielle (figures 6 et 7).

Les crêtes de pression

Les crêtes de pression se révèlent tout aussi originales que les pustules. Elles « courent » dans diverses directions, sillonnant les estrans englacés aux endroits où les pressions sont les plus fortes (figure 8).

En général, elles se forment au droit des fissures, à l'endroit où le mouvement vertical de la marée est le plus prononcé. Les deux lèvres des fissures butant l'une contre l'autre se soulèvent progressivement au rythme de l'expansion de la surface glacielle et peuvent parfois basculer. La morphologie et la dimension des crêtes glacielles varient d'un site à l'autre allant des crêtes simples de chevauchement aux crêtes composites, caractérisées par des fragments rejetés de part et d'autre de la fissure centrale (figure 9). La plupart des crêtes mesurent de 1 à 2 m de hauteur et de largeur sur plusieurs dizaines de mètres de longueur. En comparaison des crêtes connues de l'océan Arctique (mer de Beaufort), qui résultent surtout de poussées glacielles, celles des rivages de Saint-Laurent, qui sont plutôt des crêtes de pression, demeurent modestes. Quoi qu'il en soit, les crêtes de pression et les pustules de pied de glace confèrent aux rivages englacés du Saint-Laurent un attrait particulier, digne de mention.

Figure 7 Pustule conique élémentaire, Neuville

Young conical pustule, Neuville

Figure 8 Crête de pression, Montmagny

Pressure ridge, Montmagny

Figure 9 Crête de pression monoclinale, Montmagny

Hogback-like pressure ridge, Montmagny



Fantastic ice forms, often many metres long, are thrust up through the frozen surface of the St. Lawrence estuary.

These conical ice pustules and pressure ridges, explains author Dionne, appear as a result of the movement and pressure of strong tides at this particular point in the river.

This article is also available in English.

RESORS

DATE RECEIVED JUN - 5 1985
JUN
JUIN

DATE CHECKED JUN - 5 1985
JUN
JUIN

DATE ISSUED 25/06/85

The objective of the Department of Energy, Mines and Resources (EMR) is to enhance the discovery, development and use of the country's mineral and energy resources and broaden our knowledge of Canada's landmass for the benefit of all Canadians. To attain this objective the department devises and fosters national policies based on research and data collection in the earth, mineral and metal sciences, and on social and economic analyses.

Le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources (EMR) a pour objectif d'accroître la découverte, la mise en valeur et l'utilisation des ressources minérales et énergétiques canadiennes. Il se propose également d'étendre nos connaissances relatives à la masse continentale du Canada, au bénéfice de tous les Canadiens. Pour réaliser cet objectif, le Ministère conçoit et favorise des politiques nationales fondées sur la recherche et la compilation de données dans le domaine des sciences de la Terre, des minéraux et des métaux, de même que sur des analyses sociales et économiques.
