

1049085-1049086

# GEOS

RESORS

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. 3 Summer/Été 1985







A quarterly about  
the earth's resources

Publication trimestrielle  
sur les ressources  
de la Terre

Vol. 14 No. 3 Summer/Été 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-in-Chief**  
**Rédactrice en chef**  
Jocelyn Marshall

**Associate Editor/**  
**Rédactrice associée**  
Annie Beaudoin

**Scientific Editor/**  
**Rédacteur scientifique**  
Attilio Barcados

**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 au: Centre de diffusion,  
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 ODP in the High Latitudes  
by Jocelyn Marshall
- 6 Où s'arrête le rivage lacustre?  
par Pierre Mailhot, Jean-Marie Dubois et Léo Provencher
- 12 Lithoprobe Maps Subduction Zone  
by Jocelyn Marshall
- ✓ 16 Un satellite à l'affût des oiseaux  
par Gilles Daoust et André Cyr 1049085
- ✓ 22 Subsidence Monitoring  
by Joan Beshai 1049086

---

Cover: Racks and drill cores on the pipe rack of the drilling vessel *JOIDES Resolution*  
(SEDCO/BP 471).

Couverture: Rampes et carottes de sondage sur le parc à tiges du bateau de forage *JOIDES Resolution* (SEDCO/BP 471)

# ODP in the High Latitudes

by Jocelyn Marshall

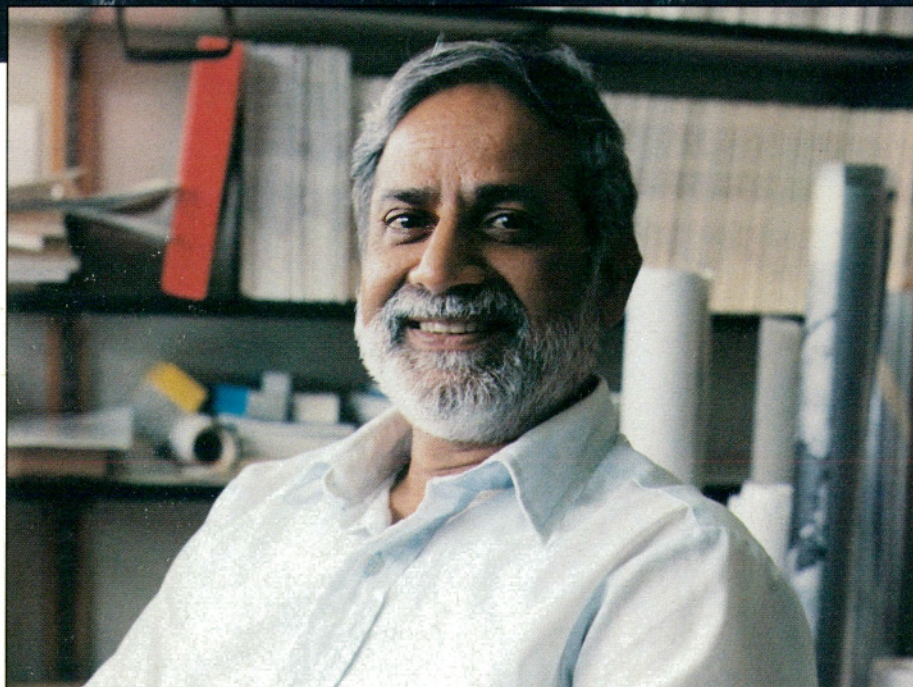


*The drillship JOIDES Resolution*

*Le bateau de forage, JOIDES Resolution*

"Each discovery we make on this trip will be one more apple in the basket to support or refute the theories we now hold," Dr. Shiri Srivastava, a research scientist, commented recently at the Bedford Institute of Oceanography. Srivastava was discussing plans for the cruise he and 25 other world-calibre scientists will be taking on the drillship *JOIDES Resolution* this month into Baffin Bay and the Labrador Sea.

Object of the eight-week odyssey, which starts from Stavanger in southern Norway, is to drill deeply beneath the ocean floor at three preselected locations, to study the cores that are brought up, and, by so doing, to add to the present knowledge of the evolutionary history of these two small ocean basins.



*Shiri Srivastava*



Drill cores are tested in one of the ship's 12 laboratories.

Les carottes de sondage sont analysées dans un des douze laboratoires du bateau

The particular cruise (Leg 105), which Srivastava will lead jointly with Dr. Mike Arthur of the University of Rhode Island, is only one of a series of such multidisciplinary scientific voyages planned under the Ocean Drilling Program (ODP), a cooperative nine-year effort by scientists, technicians, engineers and governments around the world to gain better understanding of the geological evolution of

Roughnecks handling drill pipe on the rig-floor

Mœuvres de sondage utilisant la tige de forage sur le derrick



the world's ocean basins. The Joint Oceanographic Institutions for Deep Earth Sampling (JOIDES), an international group of scientists, provides planning and program advice, while the Joint Oceanographic Institutions (JOI), a U.S. organization, serves as manager of the project.

The launching of the ODP earlier this year is, in fact, only the latest chapter in a scientific quest that began more than a century ago in 1872 when the British research vessel HMS *Challenger* sailed more than 109 400 km (68 000 miles) over four years gathering and analyzing samples from the seafloor.

Nearly one hundred years later, the modern era of deep-ocean geological study was launched when scientists on the U.S. drillship *Glomar Challenger* revolutionized geological theory by providing

the first proof in support of the contentious continental drift theory postulated early in the century by Alfred Wegener.

In the 1960s, Wegener's hypothesis had been resurrected and expanded upon by Harry Hess, who proposed that the rocky ocean floors act like conveyor belts, moving a few centimetres a year away from the volcanic ridges out of which they erupt, and by Canada's Tuzo Wilson, who conceived the idea of 'transform faults' to explain the abrupt offsets observed in ocean ridge axes. But their ideas were strictly hypothetical until scientists on the *Glomar Challenger* demonstrated that rocks became progressively older the farther they were away from mid-ocean ridges.

They also discovered that none of the rock and sediment in any of the oceans was more than 200 million years old and that in those 200 million years, less than a twentieth of the earth's age, sections of the seafloor had travelled thousands of kilometres.

As Srivastava explains it, "For a long time it was debated whether the continents had or had not moved apart. If they had, some new material must have been formed. And the only way you could test this hypothesis was to sample and date the material between."

Once you've accepted that the continents are slowly moving apart — and today, says Srivastava, most scientists do — there are many unanswered questions about paleocirculation and paleoclimate

Re-entry cone on main deck

Trépan conique à répétition sur le pont principal



that demand answers. "Naturally," he points out, "if the size of the ocean changed with time, the whole current pattern in the ocean had to change. Was the flow from the Arctic to the Atlantic or was it from the Atlantic to the Arctic? Did it come from the Norwegian Sea side or from the Labrador - Baffin Bay side? And in those times of changing currents and climate, what sort of marine flora and fauna were extant at a given period?"

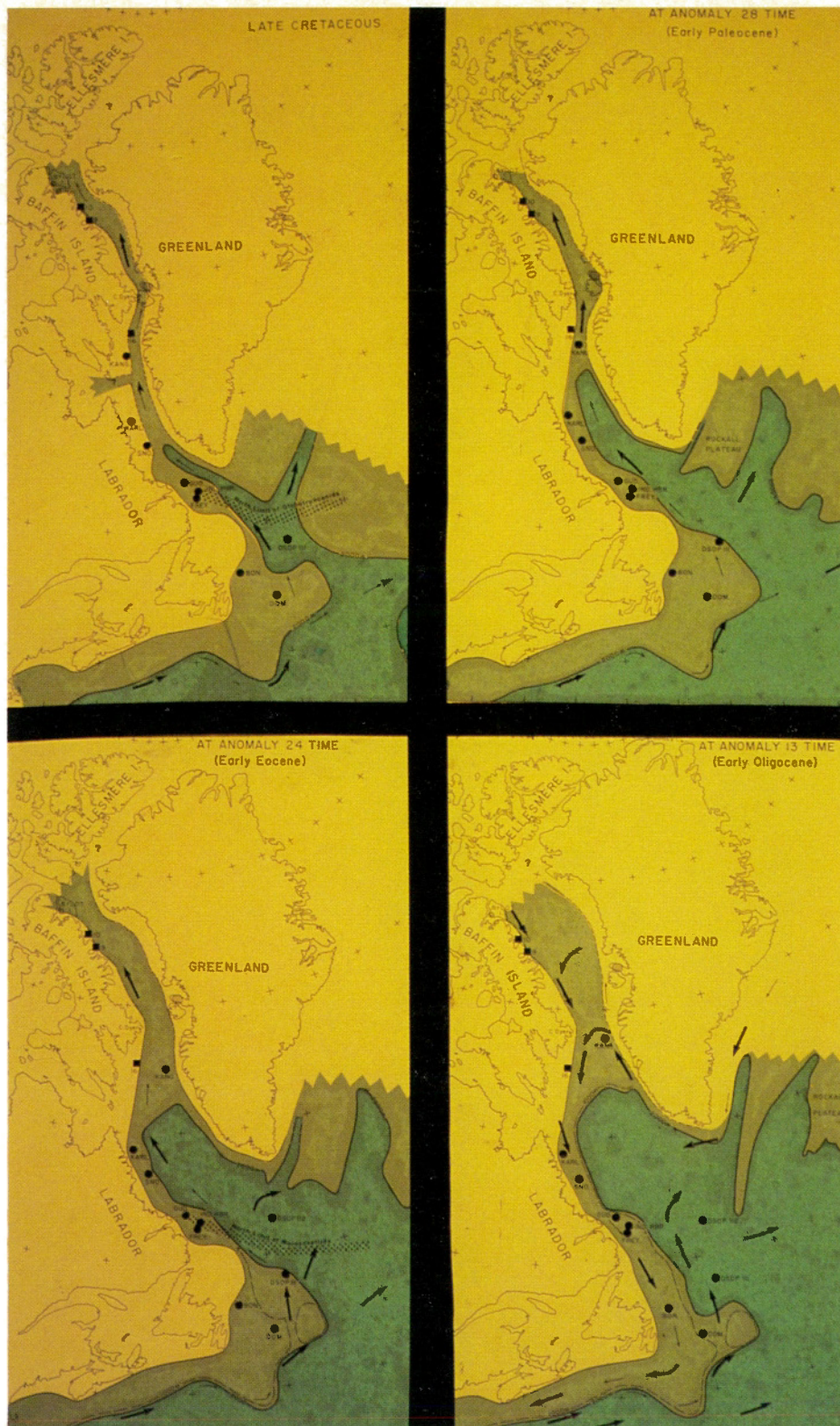
It's now known that the Norwegian Sea started to open up about 60 million years ago and that the Labrador Sea had opened sometime before that. It's also fair to assume that it takes a while for the region to subside, to cool down and to make a passage for water to circulate. We know that there was little direct circulation from the Norwegian Sea into the Atlantic even as late as the Middle Miocene epoch (15 million years ago), so there *must* have been some other passage.

"What we believe," contends Srivastava, "is that the Atlantic warm water was going into the Labrador Sea and Baffin Bay — and this is one of the things we're hoping to find out from the drilling. We want to sample the sediments, to find out their ages and what paleoenvironment existed in that place at that time. Then we'll build up our scenario, see if our idea of the warm water going from the Atlantic into the Arctic is correct, and combine that with what we already know from the shelf and slope to complete the story."

One of the challenging features of these two areas is the enormous thickness of the sediment overlying the basement (or hardrock). "Everywhere the seafloor appears smooth. You don't see big mountains," claims Srivastava, "because they are completely covered by sediment. That's why for many years it wasn't understood that the seafloor here was formed by a spreading mechanism. It's only when you do the seismic reflection profiling (towing a sound source that sends out a pulse to penetrate through the sediment) that you see mountains buried beneath."

The *JOIDES Resolution* drillship (registered SEDCO/BP 471), on which the team will be conducting its research, is quite literally a floating laboratory — it has 12 state-of-the-art labs — with the capability of drilling down in water depths of 8235 metres to get below the layers of sediment.

Once they arrive at a chosen location, the crew will take 28 days to drill a 2 km deep hole. But the scientists will not be sitting idly by. As each 9.7 m core section is brought up into the ship, it will be sampled and examined by members of the



team. The core itself will be split in half. One half will be archived, and from the other portion samples will be taken and examined for type of sediment and microfossils. In this way, age of the sediment can be determined.

A gas analysis will be done immediately because if there is any gas or oil, the drilling must be stopped and the hole closed. The *Resolution* doesn't have a

*Paleocirculation pattern in the Labrador Sea and Baffin Bay*

*Structure de paléocirculation dans la mer du Labrador et la baie de Baffin*

'blowout preventor' and even though an international panel of experts has long ago assessed the likelihood of gas in the chosen holes as low, mistakes can occur.



"This particular part of the ocean," says Srivastava, "is very exciting from a paleocirculation and paleoclimatic point of view since three major glaciers have existed in the regions — on Greenland, on the Labrador - Baffin Island side and in the Arctic. In the past, these glaciers have oscillated in cycles, each of which has lasted some 100 000 years."

So what happens climatically when the glaciers change cycles? How rapidly did change take place? Both questions Srivastava

and his team will be trying to answer as they synthesize the evidence they gather. Hopefully, ice conditions will be good by the time the crew arrives in Baffin Bay and will remain so until the end of October. But the schedule must be flexible and they'll move if necessary to where ice conditions are acceptable. The *Resolution*, unlike the *Glomar Challenger*, is ice reinforced and can go into ice-infested waters.

What can be done if, 20 days into a hole, an iceberg decides to drift down on the

*Anomalies in the vicinities of sites LA-5 and LA-9 in the Labrador Sea were generated by seafloor spreading.*

*Anomalies dans le voisinage des sites LA-5 et LA-9 dans la mer du Labrador provoquées par l'expansion du fond marin*



ship? Blasting, it appears, is *not* a good idea. But it *is* quite possible to be out of a hole in half an hour, move the ship, and later relocate the 13.9 cm diameter hole precisely by means of a re-entry cone equipped with sound sources.

And difficult as it may be to conceive, the ship, while not anchored, remains absolutely stationary above the hole, dynamically positioned by information constantly being fed into its computers from sound sources at the bottom of the ocean.

Because this part of the ridge became extinct some 36 million years ago — it's

*Location of proposed Labrador Sea and Baffin Bay ODP sites*

*Emplacement des sites du programme de forage en mer dans la mer du Labrador et la baie de Baffin*

much older than the Pacific Ridge — mineral deposits of the sort being found on the west coast are unlikely. Further oil discoveries are a possibility, however, and more knowledge is needed to plan exploration activity.

"If you're looking for hydrocarbons," points out Srivastava, "you must know what geological conditions existed in the

past. If you're sure, for instance, that warm water was coming from the Atlantic or from the Arctic, such knowledge tells the oil companies that hydrocarbons can possibly be found in these areas. In order to explore our margin and our shelf for hydrocarbons and minerals, we really must have a broad geological background on which to base our explorations."

The resource industries stand to gain a good deal from the access they will have to new technological information, core samples, seismic surveys and deep water drilling experience. The *Resolution* itself, while American owned, was built in Halifax, and through an interim secretariat, located at Dalhousie University, Canadian industry will be invited to tender on other contracts ranging from drill pipe to supplying ice observers to scout for icebergs.

As well, thorough understanding of the processes of ocean basin formation, formation of ore deposits on the seafloor, and movements of the continents will all play valuable roles in developing the geological framework needed for further exploitation of our mineral resources.

Leg 105 du programme de forage en mer. Il s'agit d'un projet qui sera dirigé conjointement ce mois-ci par MM. Shiri Srivastava, de l'Institut de Bedford, et Mike Arthur, de l'Université du Rhode Island. Le projet fait suite à neuf années de travail commun; il a réuni des scientifiques, des techniciens, des ingénieurs et des gouvernements du monde entier.

L'objectif du voyage de huit semaines à bord du *JOIDES Resolution* consiste à recueillir des échantillons de sédiments à trois endroits différents dans la baie de Baffin et dans la mer du Labrador afin d'approfondir nos connaissances sur leur formation géologique.

Les scientifiques à bord du bateau analyseront des échantillons afin de maximiser l'expertise internationale conjointe et de reconstituer les conditions qui prévalaient dans le passé.

Cet article est aussi disponible en français.

Jocelyn Marshall is the editor of GEOS





# Où s'arrête le rivage lacustre?

par Pierre Mailhot, Jean-Marie Dubois et Léo Provencher

Les auteurs éclairent la question controversée de la délimitation du rivage lacustre et préconisent l'approche géomorphologique, utile en aménagement et en droit de l'environnement

« Où s'arrête le rivage lacustre? » La question semble simple a priori mais il en est tout autrement de la réponse. En fait, la difficulté ne réside pas dans le manque d'information, mais, au contraire, dans la multitude d'avis discordants.

Si l'on questionne le propriétaire d'un lot riverain, il répondra : « là où débute l'eau ». Selon l'avis du biologiste : « là où la végétation aquatique passe à une prédominance de végétation terrestre ». Pour l'ingénieur : « là où se situe la crue

annuelle ». L'inspecteur en environnement précisera : « la limite dictée par le Règlement de contrôle intérimaire de la MRC ». Du point de vue de l'avocat : « la limite dictée par la Loi sur le régime des eaux pour les lacs non concédés ». Enfin, l'aménagiste confirmera : « la limite de propriété foncière »...

Ainsi, selon les utilisateurs, il existe plusieurs règles pour fins de délimitation d'un rivage lacustre. Jusqu'à maintenant, on a toujours eu recours aux particuli-

*Figure 1 Plage de la rivière Petits Escoumins, parsemée de blocs glaciels alignés selon les variations du niveau d'eau. La ligne de rivage s'arrête au pied des arbres.*

*Ice-rafted boulders, aligned according to variations in water level, dot the shore of the Petits Escoumins River. Shoreline ends at the base of the trees.*

---

Monsieur Pierre Mailhot est consultant en environnement et chargé de cours aux cégeps de Saint-Hyacinthe et de Drummondville. Il est géographe physique, spécialisé en aménagement du territoire.

M. Jean-Marie Dubois est professeur titulaire au Département de géographie et directeur administratif du Centre d'applications et de recherches en télédétection de l'Université de Sherbrooke. Il est spécialisé en géomorphologie et en télédétection.

Monsieur Léo Provencher est chargé de cours au Département de géographie de l'Université de Sherbrooke. Il est spécialisé en télé-interprétation et en géomorphologie ainsi qu'en aménagement récréatif en milieu naturel.

---

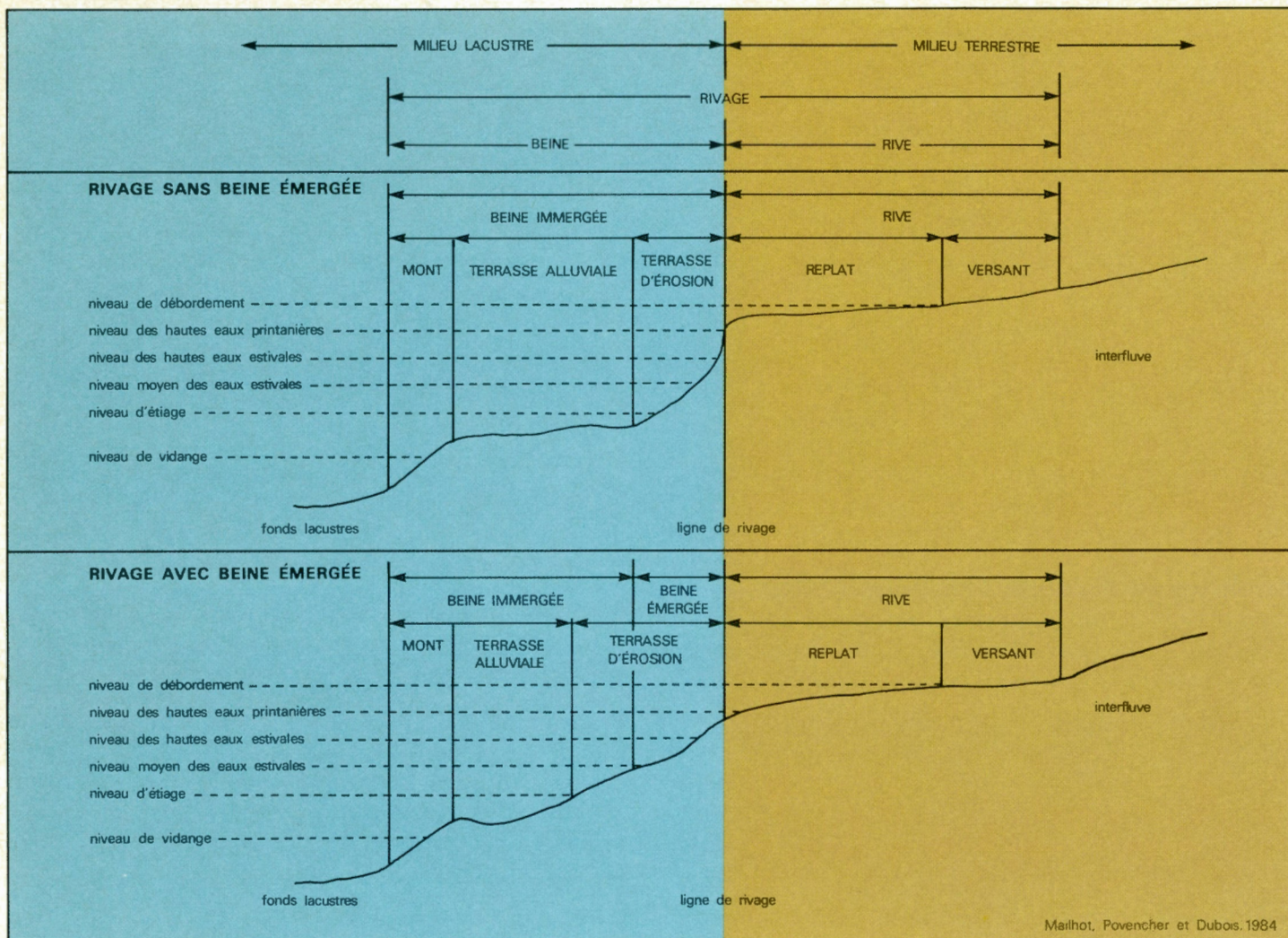


Figure 2 Nomenclature physique du rivage lacustre

Physical nomenclature of lacustral shorelines

tés de la végétation pour appliquer les différents règlements en vigueur.

Cet article a pour but de venir en aide à ceux qui effectuent l'exercice difficile de la délimitation riveraine, en présentant une nomenclature et une définition géomorphologique de la limite de rivage qui peuvent s'appliquer partout au pays. Nous avons cependant constaté que l'utilisation de la végétation à ces fins est limitée, mais qu'il est possible, en revanche, d'avoir recours à la géomorphologie en se fondant sur les sédiments laissés par chaque variation du niveau lacustre (marnage).

### La nomenclature

La nomenclature que nous proposons ici est le résultat de trois années d'étude effectuées à l'Université de Sherbrooke sur les lacs des Cantons de l'Est. Il s'y rattache également l'examen critique de

plusieurs dizaines d'ouvrages portant sur la détermination physique, biologique et juridique de la ligne de rivage.

Au niveau physique, *le rivage lacustre* représente la zone de contact entre les milieux terrestre et lacustre. Cette zone comprend la rive, soit le secteur transitoire entre l'interfluve (hauteur qui sépare les vallées) et le plan d'eau, et la beine, soit le secteur d'intervention mécanique et dynamique des eaux ripariennes. Ces deux éléments sont séparés par la ligne de rivage (figure 2).

À titre de comparaison, *la rive* correspond aux hautes et arrière-plages que l'on retrouve dans la nomenclature littorale marine et à la berge dans la nomenclature fluviale. Quant à *la beine*, elle renvoie aux plages au sens strict, et sous-marine dans la nomenclature littorale marine, et au lit dans la nomenclature fluviale (figures 3 et 6).

### Les limites physiques

*La limite de la rive* sur l'interfluve apparaît rarement de façon nette car elle

reflète plutôt la perception significative que l'on peut avoir du profil géomorphologique en termes de replat ou de versant. *La limite de la beine* dans le plan d'eau correspond à l'extrémité du mont. Qu'elle soit en partie émergée ou complètement immergée, la beine se présente sous forme de terrasses d'érosion et d'accumulation se terminant par un talus sous-lacustre, le mont. *La limite entre les beines immergée et émergée* est établie par le niveau moyen des eaux estivales. Par contre, *les limites internes des terrasses* varient, selon les régions, sous l'influence des vents, des vagues ou des courants. Ces distinctions peuvent parfois paraître très subtiles, surtout dans le cas des rivages rocheux ou des rivages jeunes lorsque intervient le relèvement d'un plan d'eau par un barrage (figure 2).

### La ligne de rivage

C'est à propos de la ligne de rivage que les interventions légales sont nombreuses et que l'on fait face à plusieurs interprétations. Nous avons étudié plus particulièrement cette question et nous présentons ces quelques applications, en espérant qu'elles seront utiles à tous les utilisateurs.

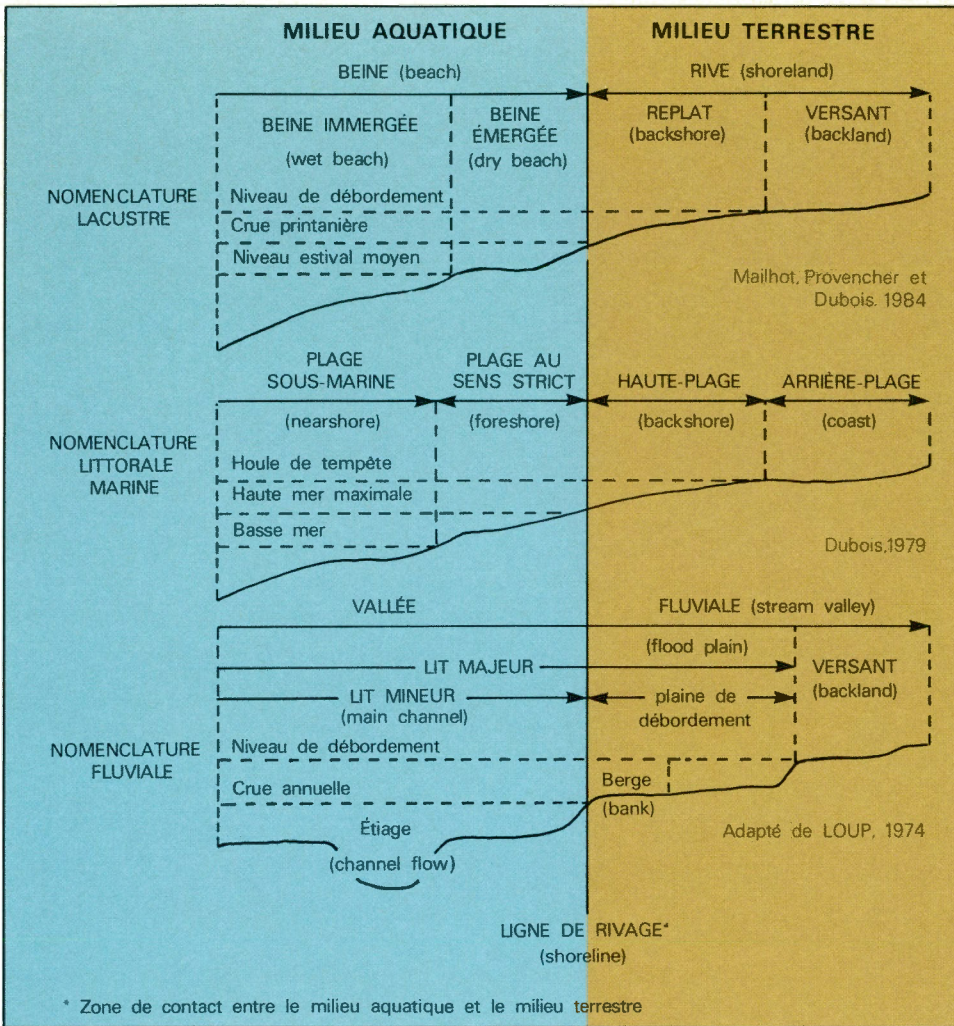


Figure 3 Comparaison des nomenclatures des milieux lacustre, marin et fluvial

Comparison of the nomenclatures of lacustral, marine and fluvial environments



Figure 4 Les bandes de sédiments indiquent les changements du niveau du lac Saint-François. La ligne de rivage s'arrête au talus là où débute la forêt.

Bands of sediment indicate changes in water level of Lake St. Francis. Shoreline ends at the embankment where forest begins.

## 1) La ligne de rivage en géographie physique

Cette ligne correspond à la limite physique où débutent et prennent fin les processus d'érosion et d'accumulation aux confins de la beine et de la rive. Chaque variation du niveau d'eau modifie la granulométrie de la rive; cette modification marque le niveau des hautes eaux (figure 4).

## 2) La ligne de rivage pour fins de délimitation de la propriété foncière

Cette ligne correspond à la ligne des « hautes eaux naturelles, sans débordement » de la Loi sur le régime des eaux (L.R.Q., c.R-13, a.2) qui constitue, dans la majorité des cas, au Québec, le niveau en bas duquel le terrain est propriété du gouvernement, à la périphérie des plans d'eau et le long des cours d'eau (figure 1).

Deux principes fondamentaux, issus de la jurisprudence, régissent cette limite, appliquée par le Service du milieu hydrique du ministère de l'Environnement dans les cas de détermination des limites de propriétés riveraines.

Le premier principe consiste à rechercher la cote d'élévation au niveau des hautes eaux naturelles sans inondation ni débordement (figure 5). Ensuite, il s'agit de déterminer l'endroit où cette élévation vient toucher la rive à l'état naturel, ou l'ancienne rive naturelle située sous un aménagement, ou un remplissage existant. Une cote d'élévation sera la même pour un lac sur tout son pourtour; peu importe où se situent les meilleurs emplacements pour la déterminer. En ce qui concerne les plans d'eau harnachés, la cote varie selon le niveau maximum attribué par le plan de gestion des eaux. Sur une rivière, la cote aura un profil d'élévation diminuant progressivement de l'amont vers l'aval (figure 7).

Le deuxième principe suppose l'établissement de la ligne des hautes eaux naturelles sans débordement, en recherchant l'endroit où la nature a réalisé seule cet équilibre entre la végétation aquatique et la végétation terrestre.

Ces principes étant généraux, ce sont les cas particuliers qui nécessitent des justifications, en voici trois :

### a) La ligne de rivage d'un plan d'eau bordé d'un marais, d'un marécage ou d'une tourbière

Après avoir déterminé la cote d'élévation sur la rive naturelle du plan d'eau, on établit la ligne de rivage en fixant la cote d'élévation sur la rive constituée de roche en place ou de sol minéral. Toutefois, avant de pouvoir déterminer la cote

d'élévation, il faut tout d'abord vérifier si le plan d'eau a été rehaussé par un barrage ou par l'activité des castors ou autres animaux. Il est bon de connaître le laps de temps durant lequel ces zones ont été inondées, afin d'évaluer adéquatement l'évolution de la végétation dans le secteur riverain. D'autre part, il est nécessaire de distinguer le niveau d'eau de la nappe de surface de celui de la nappe souterraine de la rive.

**b) La ligne de rivage d'un plan d'eau rehaussé ou créé par une ou plusieurs digues de castor**

Dans ce cas-ci, la cote d'élévation qui régissait le périmètre du plan d'eau avant l'arrivée des castors s'applique; ainsi, la ligne de rivage peut se situer sous l'eau. Il peut y avoir des lois qui protègent les castors et leur habitat. Toutefois, le niveau d'eau jusqu'où s'élèvent leurs digues ne constitue pas la ligne des hautes eaux naturelles du plan d'eau, puisque les castors ont modifié le niveau naturel contrôlé par le milieu physique.

**c) La ligne de rivage d'un plan d'eau contrôlé par un barrage**

La construction d'un barrage a pour effet de modifier le niveau habituel de retenue des eaux et de provoquer, parfois, la situation où les limites de propriété se retrouvent sous l'eau. Une telle éventualité pourrait être légalisée lors d'ententes préalablement acceptées par les riverains et l'administration gouvernementale, propriétaire du domaine lacustre ou beine. Malheureusement, ces dispositions ne sont pas toujours prises, ce qui suscite actuellement de sérieux problèmes juridiques.

**3) La ligne de rivage aux fins de protection de l'environnement**

Premièrement, cette ligne correspond à la ligne des « hautes eaux printanières moyennes » d'après le Règlement sur l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement (R.R.Q., c. Q-2, r.9, a.2b). Ce règlement est utilisé au Québec pour tout programme ou projet de dragage, creusage, remplissage, redressement ou remblayage à quelque fin que ce soit dans un cours d'eau ou un lac. Tout projet situé à l'intérieur de cette limite doit être assujéti à la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement.

Deuxièmement, cette ligne se réfère à « la ligne naturelle des hautes eaux » qui provient d'une section d'un projet de règlement municipal. Le ministère de l'Environnement a transmis cette section au ministère des Affaires municipales pour que celle-ci soit incluse dans le Règlement de contrôle intérimaire (Loi



*Figure 5* Beine émergée de sable et gravier grossier, lac Saint-François. La ligne de rivage s'arrête à la zone des arbustes.

*Dry beach of sand and coarse gravel on Lake St. Francis. Shoreline ends at shrub zone.*



*Figure 6* Zones de plage et de haute-plage (végétation épars) de la baie ainsi que le delta, île d'Anticosti. La ligne de rivage s'arrête là où débutent les arbustes.

*Zones of beach and sparse vegetation of the bay, together with present delta on Anticosti Island. The shoreline ends where the woods begin.*



*Figure 7* Lit majeur de la rivière Ascot occupé par l'homme. Au loin, on peut voir l'ancienne terrasse, témoin de l'évolution de la vallée fluviale. La ligne de rivage se situe au niveau de l'arbre isolé.

*Main channel on the Ascot River, now settled by people. Former terrace, visible in the distance, indicates evolution of the stream valley. The shoreline is at the level of the single tree.*



*Figure 8* Petit talus résultant du phénomène de transport et de sédimentation qui indique la ligne de rivage du lac Stukely.

*Small embankment formed by sediment transported with changing water level indicates shoreline on Stukley Lake.*

sur l'aménagement et l'urbanisme, L.R.Q., c. A-19.1, a. 61-75) de chacune des municipalités régionales de comté du Québec.

Cette section prévoit que chaque municipalité locale doit appliquer un règlement qui stipule, sommairement, qu'aucune construction n'est permise à partir de cette ligne naturelle des hautes eaux, sans l'obtention d'un permis sur une bande de terre de 10 m ou 15 m, selon la pente. Il est donc très important de connaître la position précise de cette ligne, particulièrement dans le cas de l'inspecteur chargé d'appliquer ce règlement (figure 8).

La définition du Ministère est la suivante : « ligne arbustive ou ligne où l'on passe d'une prédominance de plantes aquatiques à une prédominance de plantes terrestres ». Le personnel de la Direction de l'aménagement des lacs et cours d'eau d'Environnement Québec, chargé de donner un avis en cas de litige, considère la limite inférieure de la zone arbustive ou, le cas échéant, la limite des arbres.

Troisièmement, cette ligne a trait à « la ligne des hautes eaux ordinaires », à « la ligne des hautes eaux moyennes ordinaires », et à beaucoup d'autres qui sont utilisées et parfois appliquées par divers intervenants, mais qui n'apparaissent dans aucune loi. Cependant, on peut parfois retrouver ces termes dans la jurisprudence.

#### L'apport de la géomorphologie

Les applications précédentes ont démontré l'importance de déterminer avec précision la limite exacte des hautes eaux, aussi bien pour la *délimitation de la propriété*, ligne des hautes eaux naturelles sans débordement, que pour la *protection de l'environnement*, ligne naturelle des hautes eaux, et pour les *études d'impact sur l'environnement*, ligne des hautes eaux printanières moyennes.

Actuellement, la délimitation de la ligne de rivage pour les cas ci-haut mentionnés est surtout effectuée en utilisant les caractéristiques de la végétation, soit la transition entre la végétation aquatique et la végétation terrestre. Le problème se pose en ces termes : 1° Les limites légales mentionnées font appel à un niveau maximum des eaux, tandis que la limite de transition de la végétation est mise en place durant l'été au niveau moyen des eaux estivales, ce qui ne correspond pas à un niveau maximum (figure 9); 2° Lorsqu'il n'y a pas de végétation, il est difficile d'établir la ligne des eaux en se servant du principe de la zone de transition.

Aussi, nous préconisons l'utilisation des marques d'érosion et d'accumulation issues des processus dynamiques — vagues, courants et crues — que l'on

retrouve sur les cours d'eau et les lacs. Ces processus, qui sont connus et qui ont fait l'objet de nombreux ouvrages, ont pour effet de saper, transporter et déposer des sédiments. Cette action entraîne des modifications morphosédimentologiques que l'on peut identifier sur le terrain. Grâce à la connaissance des agents d'érosion et par l'examen des particularités granulométriques résiduelles, nous sommes en mesure de déterminer visuellement et avec précision la ligne des hautes eaux naturelles sans débordement. La limite légale trouve donc une réponse dès qu'interviennent les éléments géomorphologiques.

L'apport de la géomorphologie est le plus apparent dans les secteurs où il n'y a pas de talus, comme le rivage avec beine émergée de la figure 1. En effet, dans les secteurs à faible pente (figure 10), un écart considérable peut apparaître entre la ligne des hautes eaux, établie à l'aide des marques d'érosion, et celle effectuée à l'aide de la végétation. Dans ces conditions, le propriétaire riverain a peut-être, à l'achat de son terrain, payé pour une bande de terre qui appartient au gouvernement. Quant à l'application des normes qui couvrent une bande de protection, il faut toujours considérer les dommages causés par l'eau et utiliser la limite que nous dicte l'érosion.

Il est donc nécessaire d'étudier certains éléments biophysiques afin de comprendre les caractéristiques de la ligne de rivage. Ces éléments sont tout d'abord le sol dont les caractéristiques influencent la forme d'érosion, puis l'eau qui constitue l'agent d'érosion, et enfin la végétation dont la présence réduit les effets de l'érosion. À notre avis, cette étude vient combler l'absence de la dimension physique dans l'interprétation des lois et règlements qui ont trait au milieu riverain.

Many customs, rules and users are involved in the determination of lacustral shorelines. Until now, this boundary has always been established on the basis of the characteristics of riparian vegetation, with little consideration being given to the physical geography of the site. This study demonstrates the usefulness of identifying morphosedimentologic changes caused by variations in the water level for determining the natural high water mark, without overflow (the legal limit that generally constitutes the level below which the land bordering lakes and watercourses is government property).

This article is also available in English.



Figure 9 La ligne de rivage sur cette section de la rivière Ascot est la zone de transition entre la végétation herbacée et la végétation arbustive.

Shoreline on this section of the Ascot River is the transition point between aquatic and terrestrial vegetation.



Figure 10 Plage et haute-plage (couverte de végétation) clairement délimitées par les variations du niveau d'eau du Saint-Laurent, Grande anse de la Pigou. La ligne de rivage se situe à la limite des arbres.

Foreshore and backshore clearly delineated because of variations in water level of the St. Lawrence at Grande Anse de la Pigou. Shoreline ends at edge of trees.



# Lithoprobe Maps Subduction Zone

by Jocelyn Marshall

“Underneath Vancouver Island we found two great slabs of material which are not continental, which are not part of North America, but which *are* oceanic in origin.”

*Looking like so many strange insects, four 20-ton vibrator trucks are strung out along an island road to send seismic pulses down into the lithosphere.*

*Ayant l'aspect d'étranges insectes, quatre camions vibrateurs de 20 tonnes sont espacés le long d'une route de l'île afin d'envoyer des vibrations sismiques dans la lithosphère.*

---

The discovery to which Dr. Alan Green of EMR's Earth Sciences Sector is referring, constitutes a revolutionary breakthrough in our understanding of the structural evolution of continents. It has long been theorized that continents grow by accretion of crustal matter at the subduction zones near active continental margins — that thin horizontal sheets of such material, are, over the centuries, pushed up against the continents.

Only now, however, has it been revealed that this process occurs, both by *overplating*, as with the Appalachian Mountains on the east coast of North America, and by *underplating*, as was discovered last summer on Vancouver Island.



Alan Green

The 'two great slabs' were mapped below the southeastern half of the island by sophisticated seismic techniques that probe deep into the lithosphere. The upper slab is an older oceanic plate, while the lower one is the currently subducting Juan de Fuca Plate (Fig. 1). The upper slab varies in depth from 11 to 20 km and has a seismic velocity of 7.7 km per second. Velocities found at such depths in normal continental regions are about 6.8 km per second.

What had been hypothesized prior to the survey was that 40 to 50 million years ago a small mountain chain had been formed on the offshore oceanic plate from volcanic material deep within the earth's mantle and that as spreading continued, the chain was pushed northeast, finally docking against Vancouver Island.

"This seamount ocean type material — the same as that found in island chains such as Hawaii — constitutes only one small part of Vancouver Island," Green points out (Fig. 2), "but it represents a

very large area along the west coast of the United States. We believe that the mountains choked the subduction process. This old oceanic plate was going down very nicely, thank you, and suddenly the system has to swallow the whole mountain range. So the oceanic material we discovered under the island probably accreted there as a result of the choking action.

"The fault that juxtaposed the seamount material against the rest of Vancouver Island, the Leech River Fault, had been mapped as a vertical strike-slip fault," says Green. "We didn't think it was, and we showed that in fact it was a moderately dipping thrust fault associated with subduction" (Fig. 3).

Green feels that one of the most important discoveries made as a result of the study is that while many faults appear to dip steeply at the surface, often the angle becomes less steep (listric) at depth. If you're exploring for minerals, such as gold, which you can expect to find in



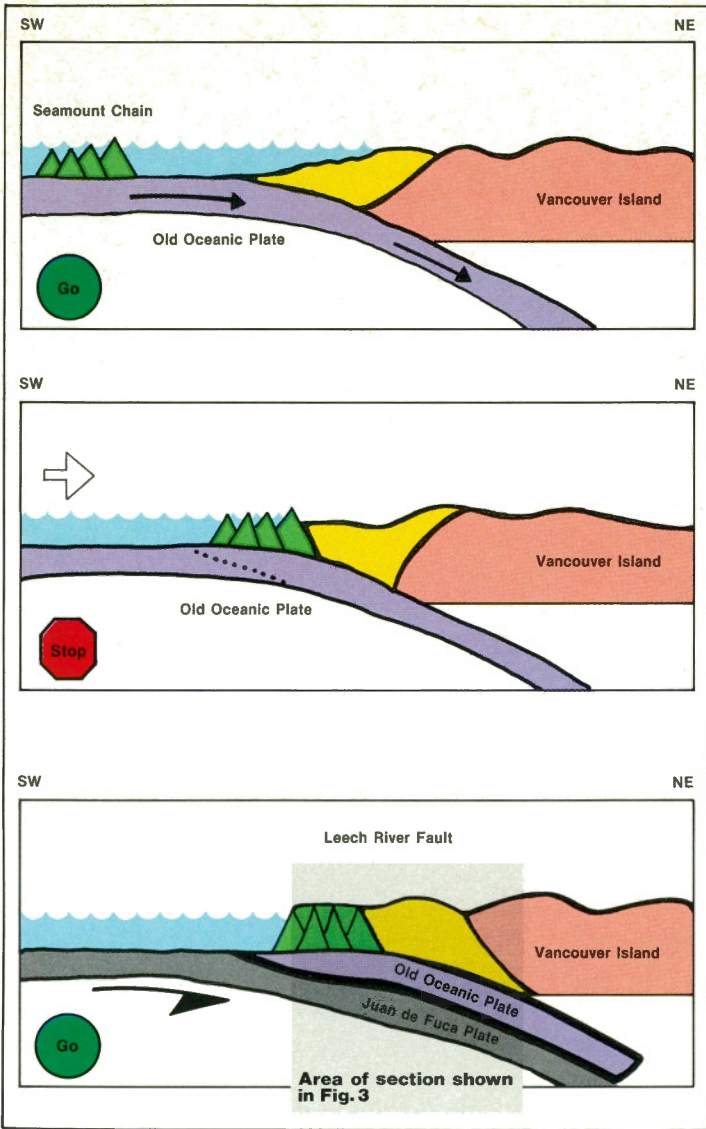


Figure 1 Old oceanic plate with seamount chain is seen subducting under Vancouver Island. The system becomes choked as the mountains are pushed against the island at the Leech River Fault. The Juan de Fuca Plate subducts still more deeply, forming a second 'great slab' of oceanic material.

Cette ancienne plaque océanique surmontée d'une chaîne de montagnes sous-marines passe sous l'île de Vancouver. La poussée des montagnes sur l'île, à la hauteur de la faille de Leech River, obstrue le système. La subduction de la plaque Juan de Fuca, qui forme une deuxième "grande plaque" de matière océanique, obstrue également le système.

faulted areas, you may miss it completely if you put down a drill hole expecting the vein to dip steeply. So knowing where the fault goes at depth is extremely important in mineral exploration.

Last summer's study on Vancouver Island was the first phase in the ambitious five-year Lithoprobe program, a joint government, university and industry project, the object of which is to obtain a three-

dimensional picture of the Canadian continental lithosphere. This consists of the earth's crust and uppermost mantle (70 to 100 km depth).

Traditional techniques, most often employed by oil companies in their explorations, have provided precise data in many locations across the country, but only to maximum depths of 10 km and only in sedimentary basins where one can expect to find oil. Using the techniques now possible with the heavy vibrator trucks (see *GEOS*, Spring 1984, pp 5-7), Lithoprobe studies in the Rocky Mountains, in the Williston Basin, in the Kapuskasing Belt, in the Abitibi Belt, and in Newfoundland, will, within the next few years, yield an accurate picture of the earth's crust to depths of 40 or more km.

The method being employed by Lithoprobe is to utilize four enormous vibrator trucks, which lift themselves up and are synchronized to push down on the ground simultaneously with all the force of their total 80-ton weight. The energy pulse created travels down into the lithosphere,

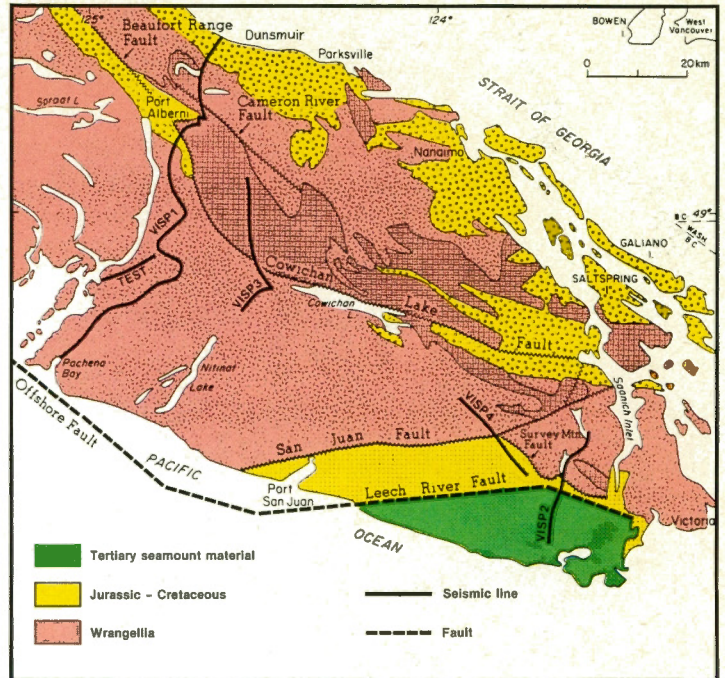


Figure 2 Southeast corner of Vancouver Island showing the Leech River Fault and the four Lithoprobe seismic lines  
Green — Tertiary seamount material  
Yellow — Jurassic - Cretaceous  
Red — Wrangellia

Portion sud-est de l'île de Vancouver montrant la faille de Leech River. Elle montre également les quatre lignes sismiques de Lithoprobe.  
vert — matériau des montagnes sous-marines du Tertiaire  
jaune — Jurassique — Crétacé  
rouge — Wrangellia

is reflected back from different rock layers, and is recorded by 120 instruments strung out over a 10 km distance.

Such surveys, which must of necessity use existing road systems because of the size and nature of the machinery, are both complex and costly, so the five locations have been selected carefully to represent areas of Canada that are essentially untouched by industry but are of special interest to the scientific and resource communities. "We have the second largest country in the world," reflects Green, "so we have to choose our targets in a way that will get the most out of the dollars available."

Because of the interest in the origins of Vancouver Island, because it is a seismically active area, because it lies above an active subduction zone, and because of the suspicion that there was a slab of unusual material situated under the southern end of the island, it was decided to start the Lithoprobe program on Vancouver Island.

Concerning the island's earthquake potential, indications are that this area *could* be subject to a large earthquake. It's all part of the same Pacific Rim earthquake zone that includes the San Andreas Fault along the southwest coast of the United States. Off the west coast of Vancouver Island, the Juan de Fuca and Explorer plates are pushing underneath the island at a rate of between 2 and 4 cm a year, rather than moving horizontally in a slipping motion as is the case in the San Francisco area.

Since the Vancouver Island area has some of the same characteristics as certain other parts of the world where, in the last 100 years, big earthquakes have occurred — in Chile, for instance, and in Japan, Peru and Indonesia — one can assume that there may be a major earthquake beneath the island.

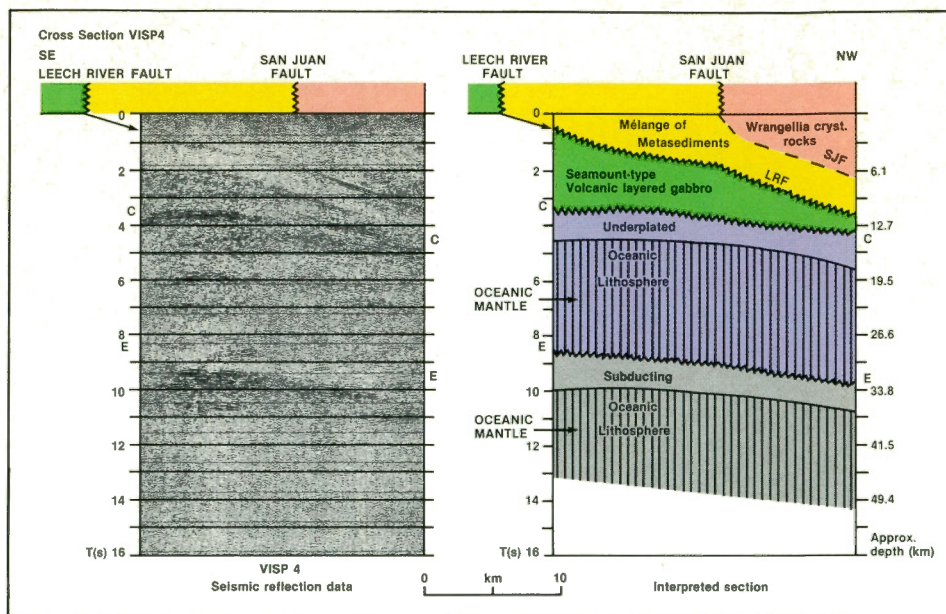
"It's also an area," adds Green, "where because of the earthquakes and all the geophysical studies that have been done, we had a good idea of what was going on and wanted to test our hypotheses. We wanted to see if indeed the ocean floor was going underneath the continent."

The main thrust of the 1984 Lithoprobe study was across the island from Pachena Bay on the west coast (Fig. 2, VISP 1) up to Dunsmuir on the northeast side. In addition, other lines were shot in a roughly north-south direction (VISP 2, 3 and 4).

"In the early days of investigation using marine, shallow penetrating techniques," recalls Green, "we could see that the oceanic crust was bending down under the continental shelf and that sediment on the ocean plate was being scraped off, folded and incorporated into the continental slope. So we knew that glaciated sediments from the land were being carried by rivers and undersea channels onto the Juan de Fuca Plate, which in turn was bringing the sediments back and accreting them onto the continental slope.

"In addition to mapping and confirming the fact that the Juan de Fuca Plate is still descending beneath Vancouver Island, we've also mapped faults that seem to penetrate through the oceanic crust. Subsequent to recording the Lithoprobe data, our group at the Pacific Geoscience Centre analyzed new earthquake data and found that there is a suite of earthquakes occurring beneath the island and that these are actually inside the oceanic plate.

"The Leech River Fault was near the boundary of the North American Plate 40 to 50 million years ago and a lot of what we see there now is due to the complexities of a subduction zone. As well, it is



now believed that the oceanic material beneath Vancouver Island is much shallower than was previously thought."

The ramifications of the recent discoveries reach far beyond our knowledge of the evolution of the island itself. "We believe," says Green, "that continents themselves were formed by slabs of material being pushed against each other way back from very oldest time, 2.5 to 3.5 million years ago. Most of the Canadian Shield was probably formed by a process not too dissimilar from what we now see on Vancouver Island. Certainly, we know that most of the Cordillera of western Canada and the Appalachian Mountains of eastern Canada were formed in the same way.

"The most surprising discovery is that this accretion occurs both above and below the continental margins."

Figure 3 Cross section of VISP 4 showing seismic reflection data and interpreted section

Coupe transversale de la ligne VISP 4 où l'on voit les données de sismique réflexion et une interprétation

Des études de sismique réflexion, menées sur l'île de Vancouver, l'été dernier, dans le cadre du programme quinquennal Lithoprobe, ont révélé l'existence de deux grandes plaques d'origine océanique. D'après les conclusions des scientifiques, il s'agirait de l'ancienne plaque océanique et de la plaque de subduction de Juan de Fuca, accumulées sous la matière continentale à la pointe sud-est de l'île. Ces faits ne prouvent pas seulement qu'il y a eu subduction et que le phénomène continue à progresser mais, en outre, ils démontrent que le sous-charriage et le chevauchement de la matière continentale ont bien existé.

M. Alan Green croit qu'une petite chaîne montagneuse, située sur la plaque océanique a obstrué le système alors qu'il était poussé contre l'île près de la faille de Leech River; cette chaîne montagneuse aurait causé une accumulation de matière océanique et de matière continentale sous l'île.

Le résultat de ces études et d'études précédentes prouvent que les continents se sont formés par l'action de plaques poussées les unes contre les autres.

De même, le fait d'avoir découvert que l'angle d'une faille devient moins abrupt selon la profondeur a des conséquences sur l'exploration des minéraux puisque la connaissance de l'angle de descente constitue un élément important dans le forage des cavités d'essai.

Cet article est aussi disponible en français.

# Un satellite à l'affût des oiseaux

par Gilles Daoust et André Cyr

## Des biologistes ont recours à la télédétection pour venir en aide aux agriculteurs

Gilles Daoust prépare une maîtrise en biologie (écologie) à l'Université de Sherbrooke. Il se spécialise en informatique et en télédétection et applique ces sciences à la biologie.

André Cyr est professeur de biologie à l'Université de Sherbrooke. Il a formé une équipe d'ornithologie qui étudie le comportement et la physiologie du carouge. Il s'intéresse également à la télédétection et à la biostatistique.

Certains agriculteurs de la région de Montréal perdent chaque année entre 40 et 50 % de leurs récoltes de maïs en raison des dommages provoqués, en automne, par le carouge à épaulettes, *Agelaius phoeniceus*; il s'agit de l'espèce avienne la plus abondante en Amérique du Nord. Dans la seule province du Québec, on en dénombre près de cinq millions. À l'automne, cet oiseau dévastateur se nourrit principalement de maïs et d'avoine.

Dans le but de venir en aide aux agriculteurs, nous avons formulé un modèle mathématique à partir de données satellites. Celui-ci nous permet de prévoir les endroits où se poseront les carouges à épaulettes au cours du printemps et donc de lutter efficacement contre ces oiseaux avant qu'ils ne puissent se reproduire. Ce modèle pourra s'appliquer également à d'autres régions du monde qui éprouvent des difficultés semblables.

L'industrialisation des campagnes et la progression des monocultures céréalières ont contribué à l'assèchement des marais et marécages qui constituaient l'habitat naturel du carouge. Cette espèce a pu cependant survivre à la modification de son territoire grâce à sa grande capacité d'adaptation. En voulant satisfaire ses propres besoins alimentaires, l'homme a favorisé, à son insu, l'expansion d'une espèce qui ne cesse de se poser comme un formidable compétiteur.

Les pâturages, les champs de foin et les champs en friche, bordés de fossés, sont devenus les lieux de prédilection du

*Attroupement de carouges dans un champ de maïs non récolté à l'automne*

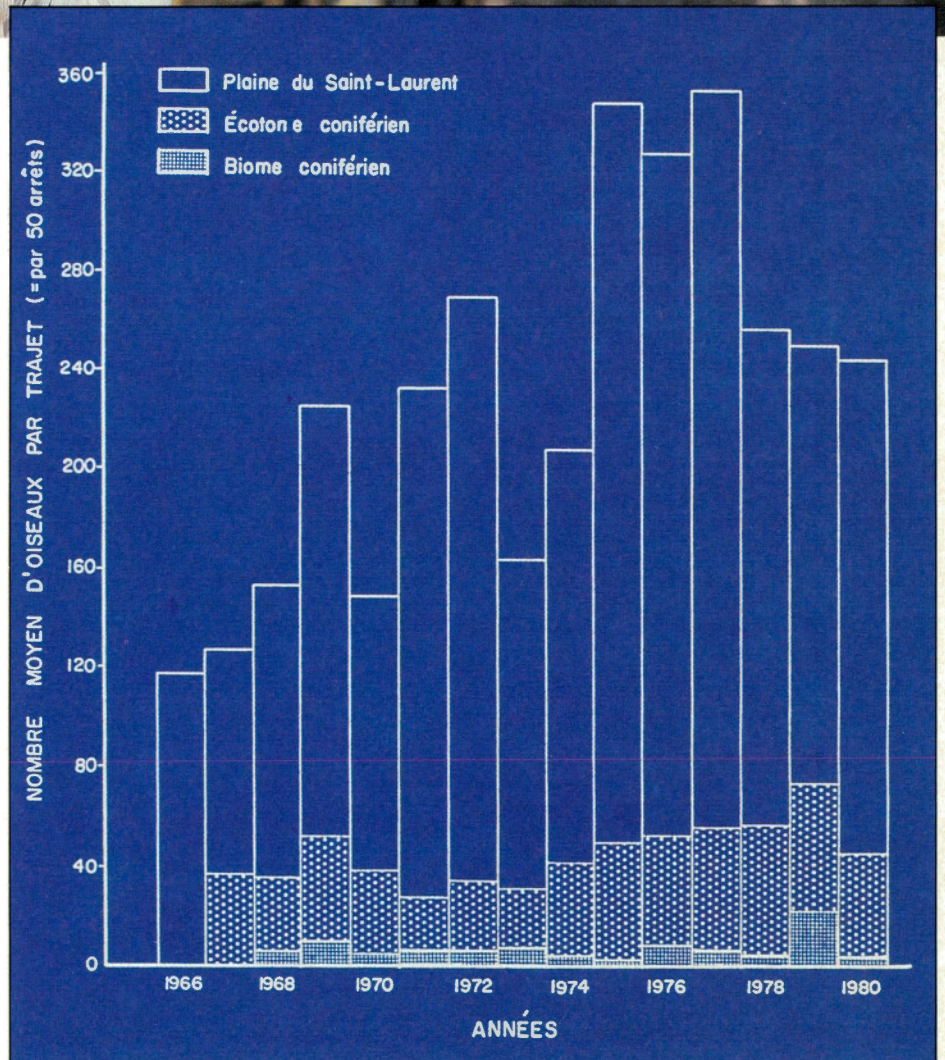
*Red-wings flocking in a cornfield not harvested in autumn*







Épi de maïs ravagé par le carouge  
 A cob of corn damaged by the red-winged blackbird



Augmentation des populations de carouges au Québec. Données du Service canadien de la Faune

Increase in red-wing population in Quebec (Canadian Wildlife Services data)

carouge. Ces endroits revêtent, en effet, des caractéristiques communes aux habitats originels du carouge, soit les marais et les marécages. Les insectes et les larves y abondent, les bosquets et massifs d'arbres constituent de bons perchoirs, tandis que la hauteur de la végétation varie peu. Enfin, les fossés et les canaux d'irrigation contiennent beaucoup d'eau.

L'été, les bandes se disloquent; chaque mâle se choisit un territoire, qu'il défend et sur lequel il attire les femelles. Pendant cette période, les carouges sont insectivores, probablement en raison de la forte demande en protéines nécessaires à la croissance des jeunes. À l'automne, ils cherchent à s'engraisser en vue de la migration annuelle. Ils se regroupent alors en bandes de plusieurs milliers d'individus et s'attaquent aux graines mûres et abondantes des champs de céréales. C'est donc à cette saison que les cultures subissent les plus grands dommages.

Il devient donc important de limiter la reproduction du carouge. À cet égard, une des méthodes de contrôle consiste à appliquer un stérilisant chimique, l'ornitrol, au printemps. Ce produit est déjà largement utilisé dans les grandes villes pour réduire le nombre des pigeons. L'efficacité de ce contrôle est fonction du nombre d'individus qui font l'objet du traitement. En raison des mœurs repro-

ductrices du carouge, il faut traiter au moins 50 % des oiseaux mâles si l'on veut obtenir des résultats significatifs.

On aborde ici un des problèmes les plus épineux inhérents à ce genre de contrôle. En effet, il faut administrer le chimiostérilisant à un grand nombre d'oiseaux au printemps, avant la saison de la reproduction. Or, il est difficile de prévoir longtemps à l'avance, et sur de vastes territoires, où le carouge se posera pour se nourrir. On se propose donc d'utiliser les images satellites pour prévoir les lieux de grands rassemblements des carouges au printemps.

La résolution au sol d'une image satellite ne nous permet pas d'apercevoir les oiseaux. Cela serait d'ailleurs inutile puisqu'une image satellite ne donne qu'une information instantanée, statique, alors que les oiseaux, eux, se déplacent continuellement. Il nous fallait donc isoler avec précision des paramètres stables qui identifient les sites de descente privilégiés par les carouges au printemps.

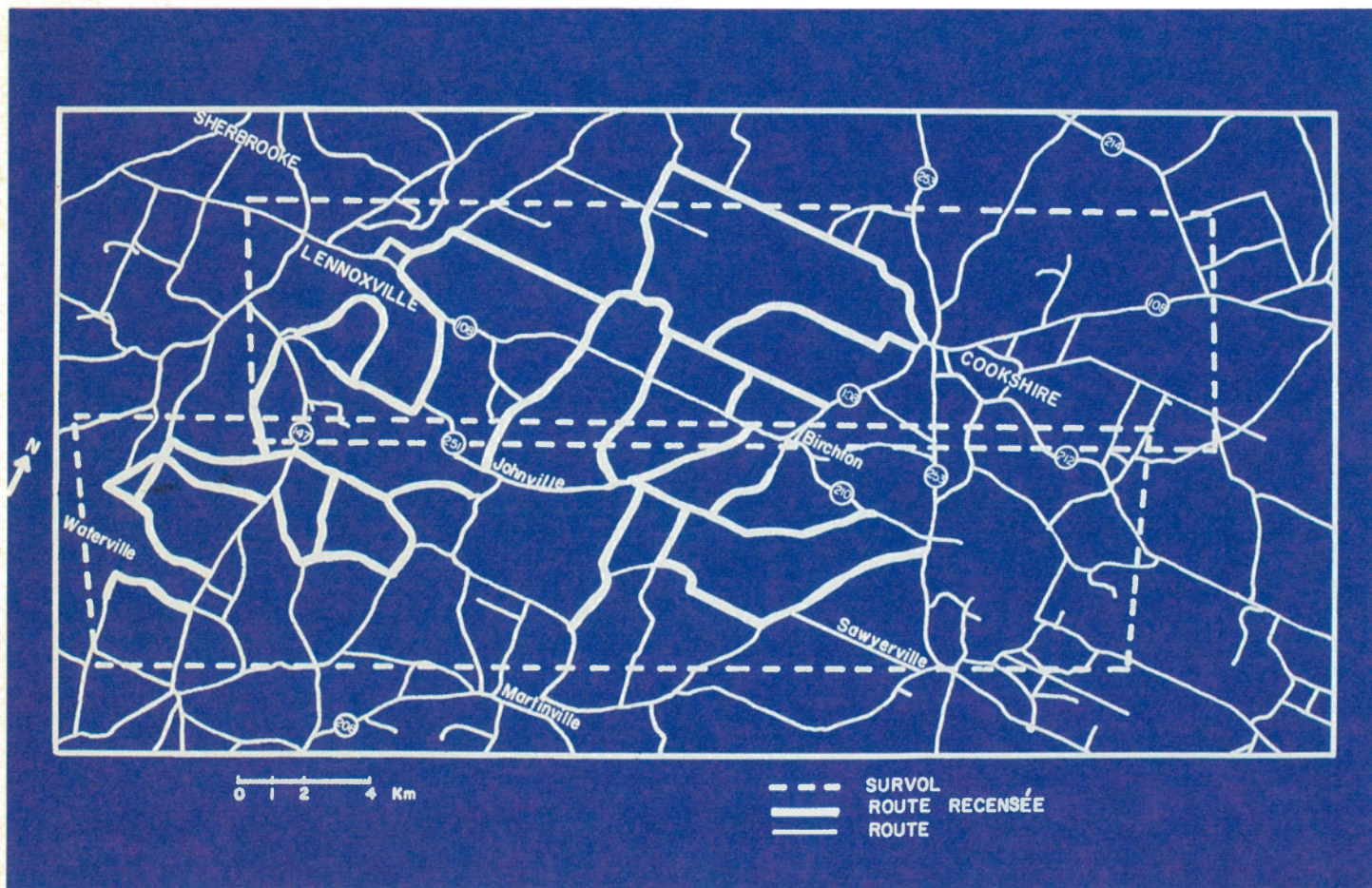
Pendant deux ans, les membres d'une équipe de chercheurs ont quadrillé une superficie de 1 000 km<sup>2</sup> dans la région de Sherbrooke. Quarante champs ont été retenus et ont fait l'objet d'une attention particulière. L'équipe a choisi d'étudier

certain paramètres : le nombre de carouges pendant une heure d'observation, le nombre d'espèces végétales dominantes, le contenu en eau du sol et des plantes, la température de l'air, du sol et de l'eau courante, la superficie des champs et des boisés et enfin, le dénombrement des perchoirs potentiels.

L'analyse des données recueillies sur le terrain nous a conduits à formuler un modèle mathématique qui tient compte des paramètres les plus significatifs. Ce modèle nous permet de cerner les caractéristiques des endroits où cherchent à se poser les carouges au printemps et d'en tirer des prévisions. Ainsi, les carouges affectionnent particulièrement les grands champs cultivés, entourés de terrains en friche, qui possèdent des perchoirs en bordure et qui sont situés le plus loin possible des grands boisés. Cela ne veut pas dire que le carouge ne se pose pas dans des environnements différents mais que la probabilité est plus élevée d'en

*Zone inventoriée pour les populations de carouges. Les traits gras indiquent des trajets de dénombrements d'oiseaux, les traits pointillés indiquent la région couverte par le survol.*

*Census zone for red-wing populations. Bold lines indicate bird census routes; dotted lines indicate the region overflown.*



retrouver de grandes concentrations en certains endroits précis. Le carouge est une espèce migratrice et, en Amérique du Nord, on le retrouve partout où se pratique la culture des céréales. Ainsi, toute solution appliquée localement est irrémédiablement vouée à l'échec.

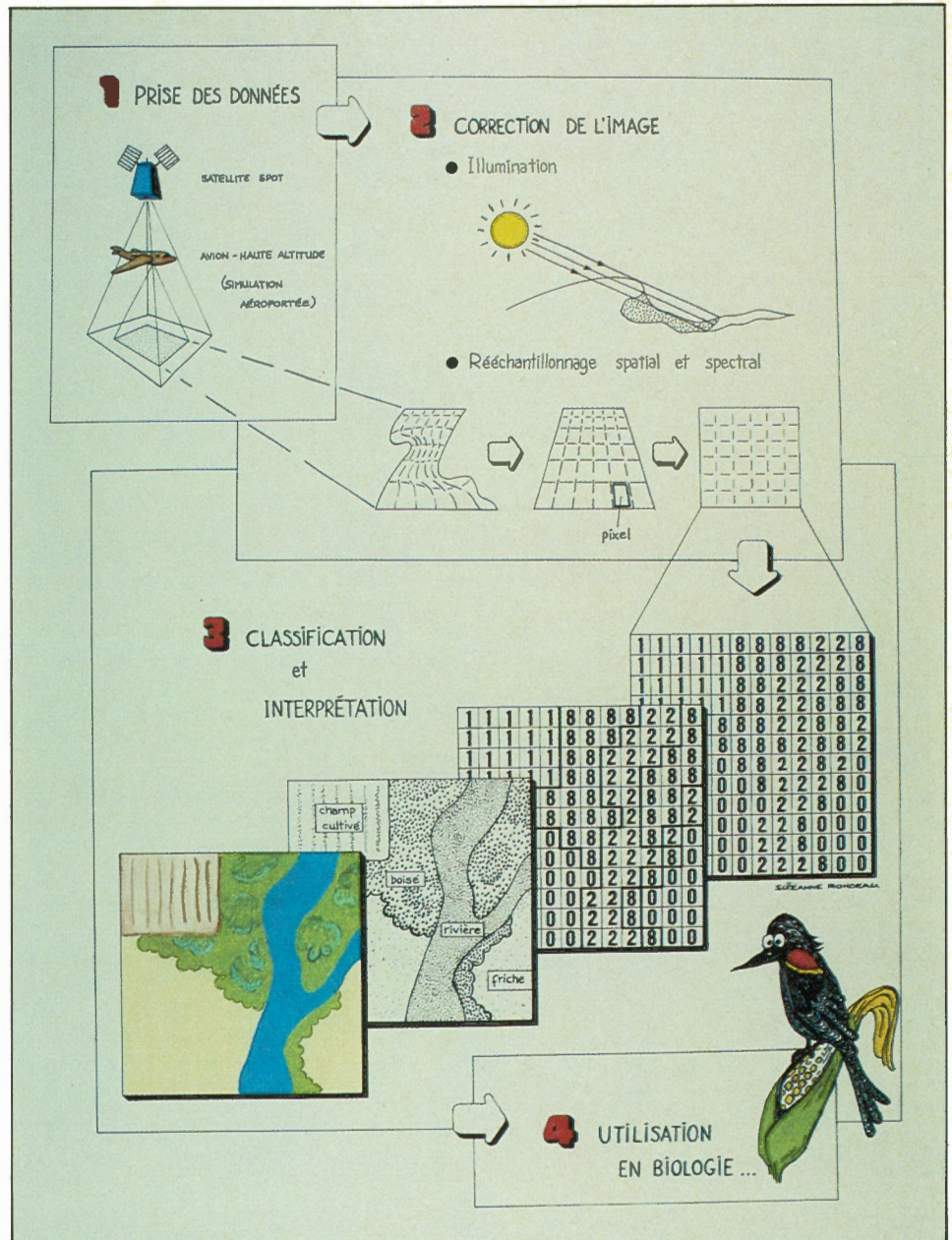
Du fait de son accès rapide à de vastes régions, la télédétection peut nous être d'un grand recours. Au cours de notre étude, nous avons recueilli des données sur le terrain et obtenu des photographies aériennes infrarouge couleur ainsi qu'une simulation aéroportée du satellite français SPOT (Système Probatoire d'Observation de la Terre) couvrant tout le secteur d'intérêt (figure 1-1). Une simulation permet de recueillir des données à partir de capteurs montés à bord d'un avion. Ces capteurs simulent ceux qui se trouveront à bord du satellite. Au Canada, ces simulations ont pu s'effectuer grâce au Centre canadien de télédétection d'Énergie, Mines et Ressources Canada.

Les images résultant du survol ne peuvent être utilisées comme telles; les données doivent subir certaines transformations ou corrections (figure 1-2). La première transformation concerne l'illumination de l'image. Étant donné l'angle du soleil lors du survol et l'orientation des surfaces, les objets ne reçoivent pas tous la même quantité de lumière. En conséquence, deux structures identiques peuvent se voir attribuer des valeurs de réflectance différentes. Viennent ensuite les corrections géométriques visant à rectifier le tangage que l'avion a pu subir lors du survol.

Par la suite, nous procédons aux rééchantillonnages spatiaux et spectraux des images (figure 1-2). Nos données furent recueillies par un avion Falcon du Centre canadien de télédétection volant à une altitude de 4 000 m. À cette altitude, le pixel mesure 8 m sur 7 m. Pour produire une simulation du capteur multispectral de SPOT, nous devons ramener ce pixel à 20 m de côté. Comme l'avion a besoin de huit capteurs pour simuler les trois bandes spectrales du satellite, un rééchantillonnage spectral doit être effectué pour les différentes valeurs de pixel.

La prochaine et dernière étape, la classification supervisée (figure 1-3), requiert l'intégration de toutes les données recueillies sur le terrain avant et pendant le survol. Une sorte de dialogue doit s'établir entre l'opérateur et l'ordinateur. Cette étape est cruciale car elle doit fournir un produit raffiné permettant ensuite l'interprétation de l'image (figure 1-4).

Une fois la classification terminée, on obtient une image constituée de zones vivement colorées (figure 2). Son utilité est particulièrement appréciable puisque



l'on retient uniquement l'information utile à notre étude.

L'image peut alors s'appliquer directement au contrôle des populations de carouges. Dans une étape antérieure, on avait établi les sites de descente privilégiés par le carouge au printemps. La classification supervisée nous a donc permis de mettre ces éléments en évidence sur l'image satellite à l'aide d'un code de couleurs vives. Dans l'immédiat, on doit établir nous-mêmes le gradient d'utilisation des sites par les carouges. Ce gradient s'obtient par une observation attentive de l'image satellite.

Tout est maintenant une question de synchronisation. Les images ayant été prises pendant l'été, il reste tout l'hiver pour établir la classification supervisée et identifier les sites privilégiés. Bien avant

Figure 1 Résumé des étapes de traitement pour l'obtention d'une image de classification supervisée

Schema of steps in preparation of a supervised classification image

le début du printemps, on pourra disperser sur le terrain du maïs imprégné d'ornitrol afin qu'un grand nombre de carouges puisse ingérer une concentration adéquate du stérilisant chimique.

Nous modifions présentement le modèle mathématique nous ayant permis d'identifier les endroits où se posent les carouges. Une fois terminé, ce nouveau modèle tiendra compte des distances physiques entre les différents paramètres qui font que les oiseaux se posent à un endroit plutôt qu'à un autre. Cette automatisation du processus nous permettra

d'établir par ordinateur le gradient des sites de descente et de traiter de plus vastes régions en moins de temps.

D'ici quelques mois, il sera possible d'obtenir ces mêmes résultats mais, cette fois-ci, au sujet des champs de maïs attaqués par les carouges en automne. Le but de cette étude n'est donc pas le contrôle systématique des populations mais la protection des champs de maïs et d'avoine. Il faut spécifier que, pour des raisons encore mal connues, certains champs sont presque complètement ravagés alors que des champs voisins ne subissent aucun dégât. Nous cherchons donc à définir des paramètres biogéophysiques permettant de déterminer pourquoi les carouges choisissent un type de champ plutôt qu'un autre.

L'application du modèle pourrait ainsi mener à l'élaboration d'une proposition

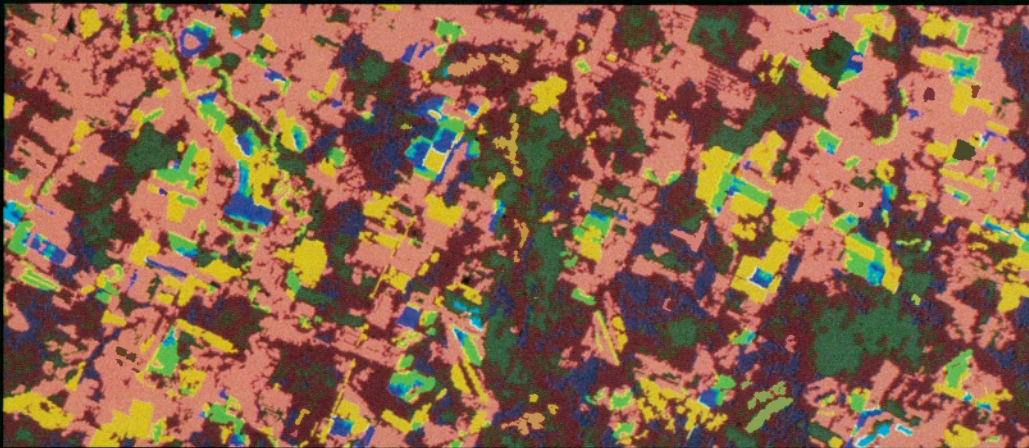
dynamique d'aménagement du territoire physique, incluant des stratégies de contrôle des populations, voire même une gestion anticipée de la répartition régionale des grandes cultures céréalières.

*Figure 2 Classification finale de l'image supervisée. Le code de couleurs se lit comme suit : en brun : les champs abandonnés, en rose : les pâturages, en vert clair : les champs de foin, en jaune : les sols nus, les maïs (l'image a été prise le 20 juin), en vert foncé : les feuillus, en bleu foncé : les conifères, en bleu : l'eau.*

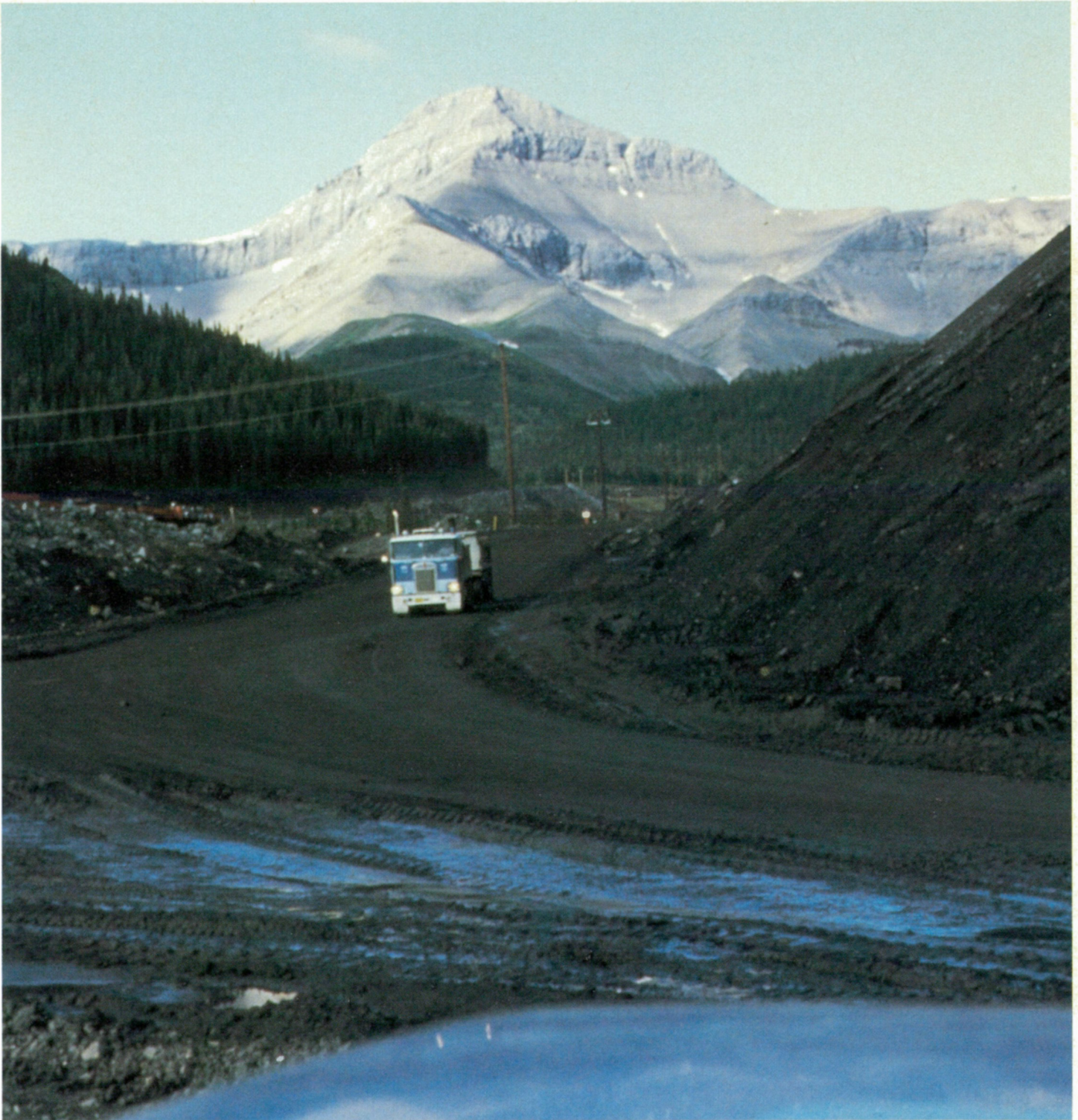
*Final classification of the supervised image. The colour code reads as follows: brown = fallow field; pink = grazing lands; light green = hay fields; yellow = bare land; corn (image of June 20th); dark green = deciduous; dark blue = coniferous; blue = water.*

Because of its large numbers, the red-winged blackbird, *Agelaius phoeniceus*, causes considerable damage to cereal crops, particularly oats and corn. The effectiveness of most of the population control methods has been undermined by the difficulty of accurately identifying potential sites of large concentrations of red-wings. However, rapid access to large areas through the use of satellite imagery has allowed us to predict the spring landing sites of huge flocks of red-wings, thus making it possible to apply control methods more effectively.

This article is also available in English.







*Hauling coal in the western Cordillera  
Transport du charbon dans la Cordillère  
occidentale*

---

Joan Beshai is the coal information officer for CANMET's Technology Information Division. She was previously a scientific editor and a bitumen chemist at CANMET's Energy Research Laboratories.

---

# Subsidence Monitoring

## Integrated Subsidence Monitoring Promises Greater Safety in B.C. Coal Mines

by Joan Beshai

Western Canadian coal mines are located in remote regions where the terrain is steep and rugged, the climate rigorous and the geology complex. Vast reserves of good-quality, low-sulphur bituminous coking and thermal coals are to be found there in thick, steeply dipping seams.

When these seams are extracted, large-scale, often sudden, ground failures may occur, affecting both productivity and safety. These ground failures were a problem at Western Mining Corporation Limited's underground hydraulic mine in southern B.C. before EMR's technological branch, the Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET), developed a system to monitor ground movement and provide a means of predicting when failures would occur.

Geological conditions, of course, vary from region to region and the stability of the rock overlying the coal seams is affected by natural occurrences such as faults, folds and washouts. A whole new set of potentially hazardous variables is caused by the stresses of drivage and the coal excavation itself.

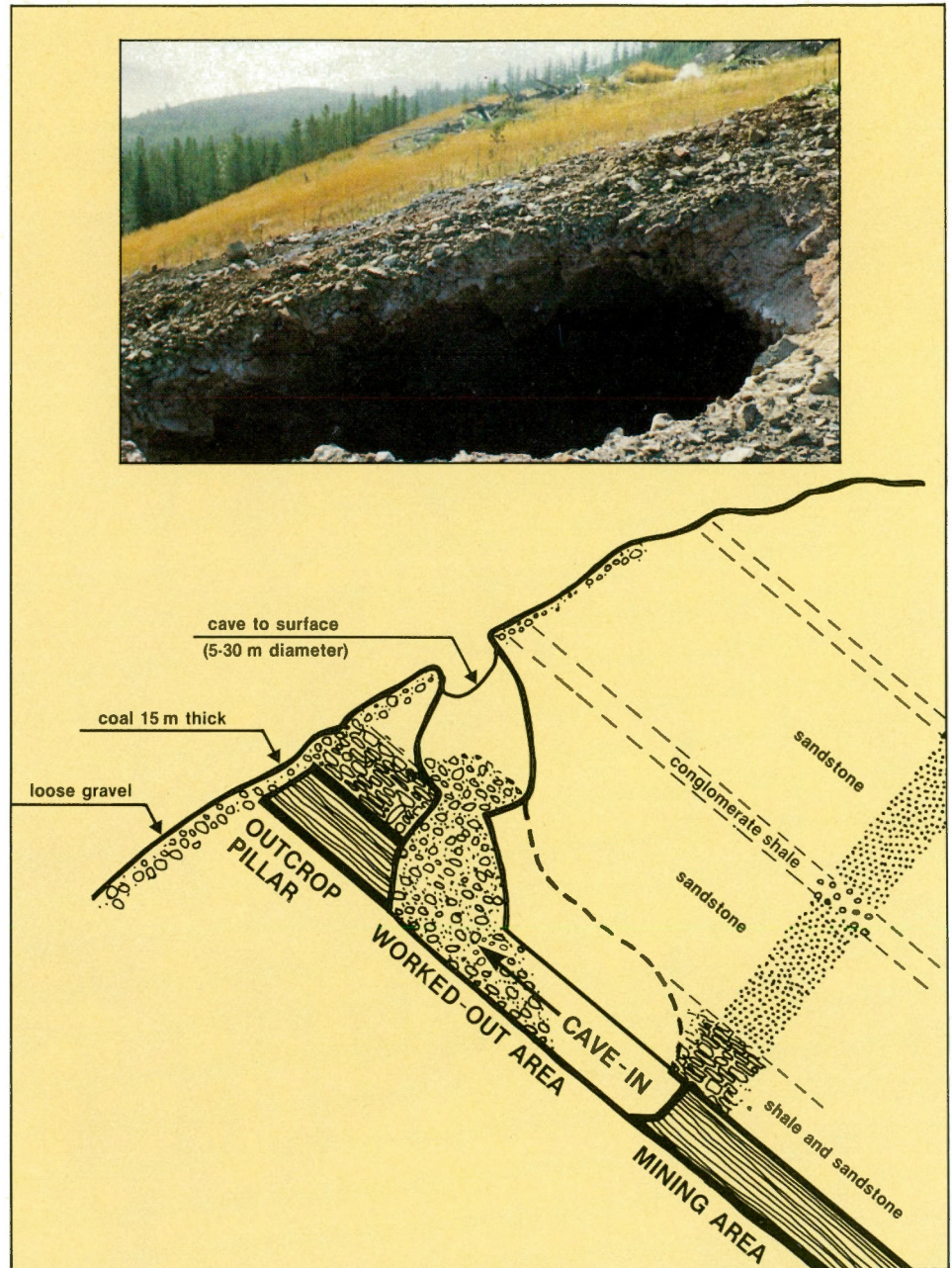
With the mining method normally employed in underground mines, subsequent to excavation the overlying ground may cave in either immediately or ultimately. When the cave-in occurs depends on the particular stresses and on the strength and structure of the strata around a particular seam.

If, for some reason, mining in the thick seams is interrupted, the underground 'workings' (supports) may no longer negotiate settlement of the strata immediately above the coal. The resulting cave-in tends to be vertical and to create a deformation on the slopes and mountain top above the seam being excavated.

Such caving may break through the surface to form 'chimneys' or to fracture the surface, creating a stepped terrace. Although the initial ground movement is slow, an increased rate of movement precedes the cave-in itself.

On the other hand, where coal seams are narrow compared with the depth of cover, caving occurs far from the surface and fractures rarely occur. Even so, subsidence (sinking) of the surface can result from interior settlement.

Our existing information on subsidence comes largely from the level, deep and relatively thin seams common to Nova Scotia, England and western Europe, where accessibility to the terrain above the mines is good. There, direct surveying by regular repetitive traverses of extended regions over a long period not only has



Typical sinkhole chimney-type subsidence  
*Affaissement caractéristique en doline*

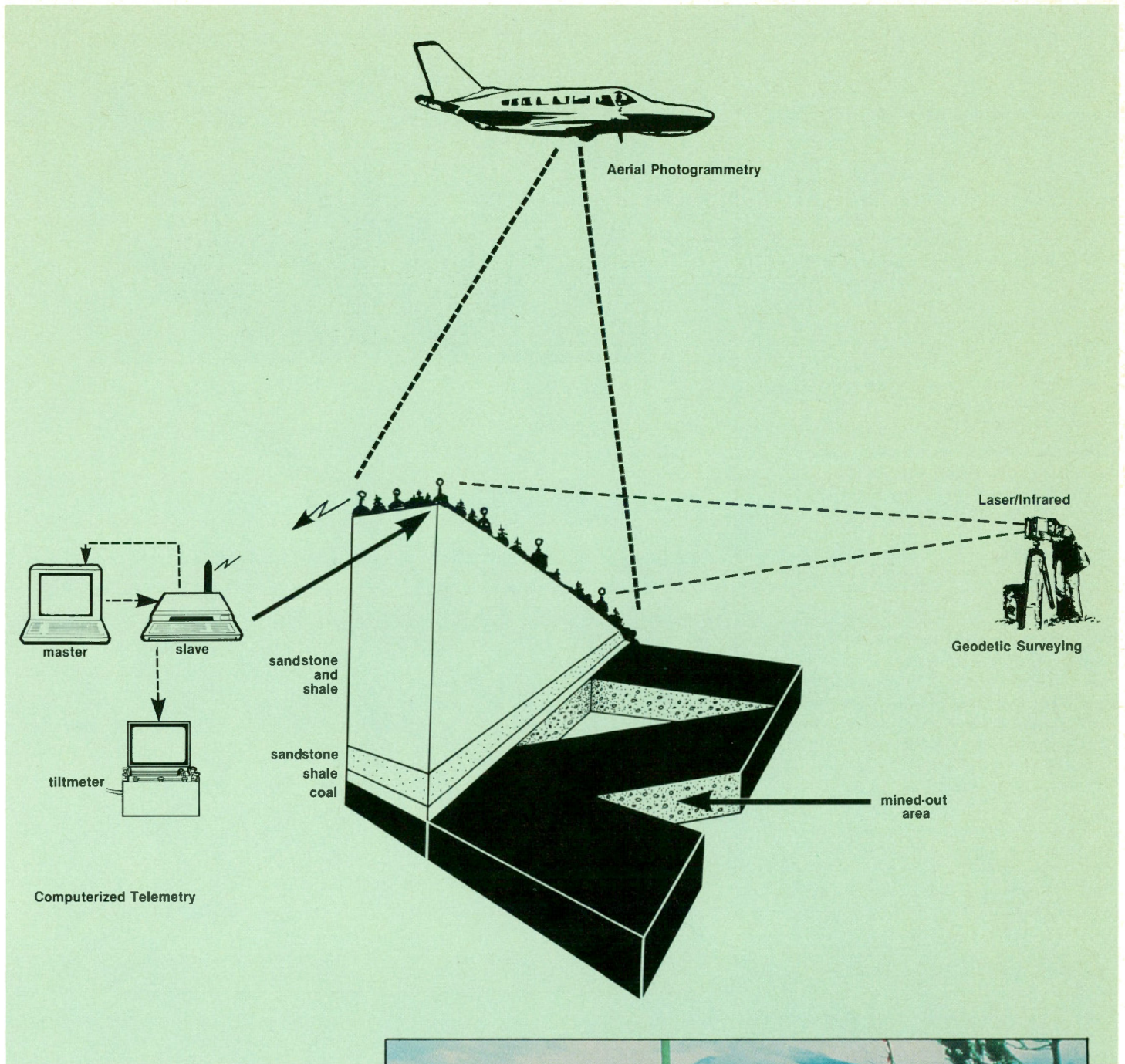
been possible but has provided reliable data. Such deformation monitoring is done by instruments designed especially for the mining conditions found in these areas.

Because the high thickness-to-depth ratio in the steeply dipping seams of southern British Columbia was beyond the experience of most predictive and safety technologies, it has been recognized for some time that new methods and instrumentation were needed to monitor ground movement in the region.

With the cooperation of Westar Mining Ltd, CANMET scientist M.Y. Fisekci devel-

oped and tested an integrated monitoring system that incorporated tiltmeters, photogrammetry and geodetic survey techniques. The tiltmeter system utilizes computerized radiotelemetry to determine the time required for caving to migrate to the surface; aerial photogrammetry delineates the extent of the subsidence area; and electro-optical distance techniques provide accurate measurements in easily accessible areas.

The type of geodetic surveying conventionally used for subsidence measurements was of limited use in the B.C. situation, not only because of difficult topographic conditions, but also because snow cover of up to five metres made subsidence areas practically inaccessible much of the year. CANMET scientists modified the conventional method to allow horizontal and vertical angles



*Subsidence monitoring with laser, computerized telemetry and aerial photogrammetry*  
*Contrôle de l'affaissement par des lasers, par télémétrie informatisée et photogrammètrie*



*Subsidence study test areas*  
*Zones d'essai d'étude sur l'affaissement*

between fixed points on target reflectors to be measured electronically, using either laser or infrared techniques. In areas where coarse gravel on steep slopes prevented targets from being mounted in the bedrock, the targets were mounted on tree trunks, a technique that provides extremely accurate measurements over a limited area.

Aerial photogrammetry serves well where complete coverage of a mining area is needed and where the terrain is rugged and access difficult. When weather permits, photographs of the subsidence area are taken; between photographic missions, mining operations are carried out under the area being monitored.

During the testing of Dr. Fisekci's integrated monitoring system, picture-taking flights were scheduled for 11:30 a.m. to avoid the long shadows that could obscure control points, and two overlapping paths, about 1000 metres above mean ground level, were flown to ensure that there would be no gaps when photographs were later studied.

A map, produced subsequent to the first flight, served as a control against which all later results were compared for evidence of ground movement. The original included contours of the subsidence area together with control points and terrain irregularities such as holes and cracks.

To facilitate later analysis of the photographs, markers were placed on control points, while boxes of tiltmeter stations and the tops of master stations were painted with crosses to provide additional markers. Since subsidence was expected to extend to points beyond the mountain ridge in question, targets were also placed on top of the ridge to allow monitoring of this normally inaccessible area.

Because climate and wildlife affect the readings — heavy snowfall often makes access to remote points impossible and wild animals sometimes damage cables — a radio telemetry system was developed. This was designed to detect tilts with a total range of  $2^\circ (\pm 1^\circ)$  and to operate at temperatures ranging between  $-25^\circ$  and  $40^\circ\text{C}$ . The system is also capable of operating for limited lengths of time under conditions below  $-25^\circ\text{C}$ .

The concept of the telemetric system is based on the use of tiltmeters, several of which are placed along the profile line of a subsidence basin so that any variations in its profile can be determined by simple trigonometric relationships.

The system consists of 'slave' units directly linked to tilt sensors and a 'master' unit that serves as control. Each slave monitors one biaxial tiltmeter (two

inclinations) together with temperature and battery voltages. The tiltmeter system can accommodate up to 256 channels, although only five were developed and tested under conditions of difficult terrain and adverse climate during the research and development stage.

Each slave can monitor up to four sensors. The mechanical tilts of the tiltmeter are transformed into electric signals. These are in turn changed by the slave unit into radio frequency signals and transmitted by a high-frequency system to a master receiver located a few kilometres from the site. Tilt readouts are corrected for temperature, scale, drift and voltage of the power supply before terrain deformations are calculated.

The master acquires sensor data from the slaves, provides data storage and analyzes the data. A small computer at the master station interrogates the slaves at will and can be hooked up to the public telephone network, providing access to the data from any location across the country. The system turns itself off after interrogation, thus ensuring that the unit power base lasts over the winter, when access to instruments is difficult.

The use of tiltmeters to determine subsidence is, to a large extent, limited to regular and continuous subsidence conditions. If mining exploitation produces very abrupt profile changes and breaks in the ground, then information supplied by the tiltmeters can be misleading or even useless for calculating subsidence. Nevertheless, a qualitative assessment of changes occurring over time can provide significant knowledge about the behaviour of the rock mass above the exploited area. From the high sampling rate available with this system, a correlation can be made between extraction and caving or subsidence events.

The knowledge gained from this project furthers the understanding and description of the three-dimensional characteristics of the caving process. Applying the information to future mine sites where similar geology is to be found will allow the optimum choice of alternative mining methods and of roadway and support construction. As well, the ability to predict when caving will take place and how long it will take to migrate to the surface will help to determine the optimum extraction rate and the consequences of interrupted mining practices.

Although originally developed to monitor movement above underground workings, this technology is now being used experimentally to monitor pit slope stability in surface mines. Major opportunities exist for application of this technology in the open pits of Canada's oil sands and in

surface coal mines. It is in this direction that CANMET's subsidence research program is oriented.

De grandes fissures apparaissent soudainement dans la région minière de la Cordillère occidentale. Ces fissures posent de sérieux problèmes au plan de la stabilisation du terrain lors de l'exploitation de filons profonds et épais.

Des scientifiques du Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie ont récemment mis au point des techniques de contrôle d'affaissement du sol qui s'appliquent uniquement aux mines de charbon de l'Ouest canadien. Ces techniques d'enregistrement des changements améliorent notre connaissance de la région. En outre, le contrôle constant qu'exerce ce système permet d'identifier les méthodes d'exploitation minière et les mesures de sécurité les plus appropriées dans une situation donnée.

Cet article est aussi disponible en français.

**RESORS**

DATE RECEIVED SEP - 1 1985

DATE CHECKED SEP - 1 1985

DATE INDEXED 18/9/85

---

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.

---