

1076914

GEOS

Vol. 19 No. 3 Summer/Vol. 19, n° 3 Été 1990

RESORS

This document was produced
by scanning the original publication.

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

A quarterly about the Earth's resources / Publication trimestrielle sur les ressources de la Terre



LIBRARY
CANADA CENTRE FOR REMOTE SENSING
EMERALD PLAZA
1547 MERIVALE RD. 4TH FLOOR
OTTAWA, ONT K1A 0Y7

SEP 6 1990

THE ENERGY OF OUR RESOURCES - THE POWER OF OUR IDEAS

L'ÉNERGIE DE NOS RESSOURCES - NOTRE FORCE CRÉATRICE

GEOS

A quarterly about the Earth's resources

Publication trimestrielle sur les ressources de la Terre

Vol. 19 No. 3 Summer 1990
Vol. 19 n° 3 Été 1990

GEOS is published quarterly by Energy, Mines and Resources Canada Minister, the Hon. Jake Epp Deputy Minister, Bruce Howe

GEOS est une publication trimestrielle d'Énergie, Mines et Ressources Canada. L'Hon. Jake Epp, ministre - M. Bruce Howe, 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
Rédactrice en chef
Primrose Ketchum

Assistant Editors
Rédacteurs adjoints
Sandra Milord
Pierre Corbeil

Graphics
Présentation graphique
Carisse Graphic Design Ltd.

GEOS is distributed without charge on request.
Distribution, GEOS, Energy, Mines and Resources, 580 Booth Street, Ottawa, Ontario K1A 0E4.

Indexed in the Canadian Periodical Index.

Indexed in the Canadian Magazine Index and available on-line in the Canadian Business & Current Affairs Database.

GEOS est distribué gratuitement sur demande.

Centre de diffusion, GEOS, Énergie, Mines et Ressources Canada, 580, rue Booth, OTTAWA (Ontario) K1A 0E4

Cité dans l'Index des périodiques canadiens.

Répertorié dans le Canadian Magazine Index et disponible en direct dans la banque de données Canadian Business and Current Affairs.

ISSN 0374-3268



Energy, Mines and
Resources Canada

Énergie, Mines et
Ressources Canada

- 1 Canada Fine-Tunes its Ears on the World/
Le Canada à l'écoute du reste du monde
by/par Jaroslav Zenchuk
- 7 Drift Prospecting. Geologists Use Glacial Sediments to Find Ore Deposits/
La prospection glacio-sédimentaire. Les géologues étudient les sédiments
glaciaires afin de repérer des gisements métallifères
by/par Ron N.W. DiLabio, GSC/CCG
- 16 Geological Survey of Canada Photo Contest/
Concours de photographies organisé par la Commission géologique du Canada
- 18 University Taps Subterranean Heat Source/
L'université exploite une source thermodynamique souterraine
by/par Tracy Thiessen
- 20 Mysterious Lakes. Anticosti Island, a unique example of karst topography in
eastern Canada, has lakes that vary in level and even disappear/
Les lacs mystérieux de l'île d'Anticosti : un bel exemple de karst de l'est
canadien et de lacs à niveaux variables
by/par Danielle Côté, Jean-Marie M. Dubois et Hugh Gwyn

Cover: [Entrance to a broad-band vault, Yellowknife Seismic Array](#)

Couverture: [Entrée d'une voûte de sismographes à bande large au complexe sismographique de Yellowknife](#)

Canada Fine-Tunes its Ears on the World

by Jaroslav Zenchuk

For all its seeming solidity, the earth is really a gigantic sounding board.

It conducts shock waves the way a child's voice travels along a taut string stretched between two cans. If we apply appropriate electronic ears to the earth, we can 'listen' to the vibrations produced by events taking place thousands of miles away.

One of the most sensitive sets of ears in the world is located on a 150-km² scientific reserve outside Yellowknife in the Northwest Territories.

Since its construction in 1962, the Yellowknife Seismological Array has been privy to all manner of terrestrial disturbance: the rumble of earthquakes (10 000 a year), the belch of volcanoes, the muffled thunder of in-ground nuclear test explosions (50 a year, on average). In

1986, the array provided the first-ever recording of the shock wave and associated seismic wave generated by the sonic boom of a meteor entering the earth's atmosphere.

As part of the 100-station Canadian Seismograph Network, the array gathers vital information about earthquakes and tremors in Canada. But it also monitors events at considerable distances — up to 10 000 km away. From its location at Yellowknife, the array can tune in on many of the earth's active earthquake zones and all of the explosion test sites currently in use.

How does it work? The 'ears' of the array are its seismometers, 20 x 30-cm canisters lined on the inside with wire coils. Suspended on a spring within each coil is a magnet. The array's 21 seismometers are set in steel vaults drilled into the 2400 million-year-old rock of the Canadian Shield. The seismometers are spaced 2.5 km apart to form a huge cross.



Aerial view of new Control Centre building. Red-and-white tower at right carries the UHF antennae that receive data from the array's outstations. Red all-terrain vehicle parked at garage is the only means of ground transportation for servicing these stations. Dish for up-link to Anik satellite is at extreme left.

Vue aérienne du nouveau Centre de contrôle. Sur la tour rouge et blanche, à droite, sont installées les antennes UHF qui reçoivent les données des stations périphériques. Le véhicule tout terrain de couleur rouge, stationné au garage, est le seul moyen de transport qui permette d'effectuer l'entretien de ces stations. L'antenne parabolique, à l'extrême gauche, maintient la liaison avec le satellite Anik.

Le Canada à l'écoute du reste du monde

par Jaroslav Zenchuk

La Terre, malgré son apparente solidité, est une gigantesque plaque de résonance.

L'écorce terrestre propage les ondes de choc comme un fil tendu entre deux boîtes de conserve transmet la voix d'enfants qui s'amuse avec ce téléphone rudimentaire. Si nous prêtons aux sons de la Terre une « oreille » électronique attentive, nous pouvons « écouter » les vibrations produites par des phénomènes qui se manifestent à des milliers de kilomètres.

L'un des réseaux d'écoute les plus sensibles au monde se trouve dans une réserve de 150 km², près de Yellowknife, dans les Territoires du Nord-Ouest.

Depuis l'installation, en 1962, du complexe sismographique de Yellowknife, on a relevé toutes sortes de perturbations terrestres : vibrations provoquées par des tremblements de terre (10 000 par année), grondement de volcans et roulement étouffé d'explosions nucléaires souterraines (en moyenne 50 par année). En 1986, le complexe sismographique de Yellowknife enregistrait, pour la toute première fois, l'onde de choc et l'onde sismique qui s'en suit produites par le bang supersonique d'un météorite entrant dans l'atmosphère terrestre.

Partie intégrante du réseau sismographique canadien de 100 stations, le complexe de Yellowknife enregistre des données sur les tremblements de terre et les secousses sismiques se produisant au Canada. Il peut même observer des phénomènes sismiques dans un rayon de 10 000 km. Le complexe de Yellowknife, de par sa situation géographique, est en mesure d'enregistrer l'activité sismique qui

Shock waves arriving at Yellowknife from a distant disturbance are transmitted to the array's seismometers as vertical or horizontal oscillations. The magnets inside the canisters, however, being spring-mounted, remain still. The resulting relative motion induces a small electric current in the wire coil. This current can be measured and recorded as a waveform on scrolling paper or computer monitor.

By measuring various characteristics of the wave, scientists can estimate with reasonable accuracy the location and depth below ground of the disturbance that originated it. By comparing their data with that obtained by other seismological stations, they can pinpoint the source, often to within 20 or 30 km. More detailed analyses can produce estimates of the energy released and, in most cases, identify the disturbance as natural or man-made.

For more than two decades, the Yellowknife array provided valuable information on tens of thousands of seismic events around the world. But

The Yellowknife Seismic Array's outstations are arranged in the form of a cross. A shock wave arriving at Yellowknife from a distant disturbance will impinge on each outstation at a slightly different time. This time differential allows scientists to estimate the wave's speed and direction. BB — the four broad-band vaults. HF — high-frequency site.

Les stations périphériques du complexe sismographique de Yellowknife sont disposées en forme de croix. Provenant d'une source lointaine, une onde de choc enregistrée à Yellowknife sera retransmise à chaque station périphérique à des périodes légèrement différentes. Ce décalage permet aux scientifiques de déterminer la vitesse et la direction de l'onde. BL — les quatre voûtes sous lesquelles sont installés les sismographes à bande large. HF — zone de haute fréquence sismique.

se produit dans de nombreuses zones mais aussi les essais nucléaires à l'échelle de la planète.

Quel en est le fonctionnement?

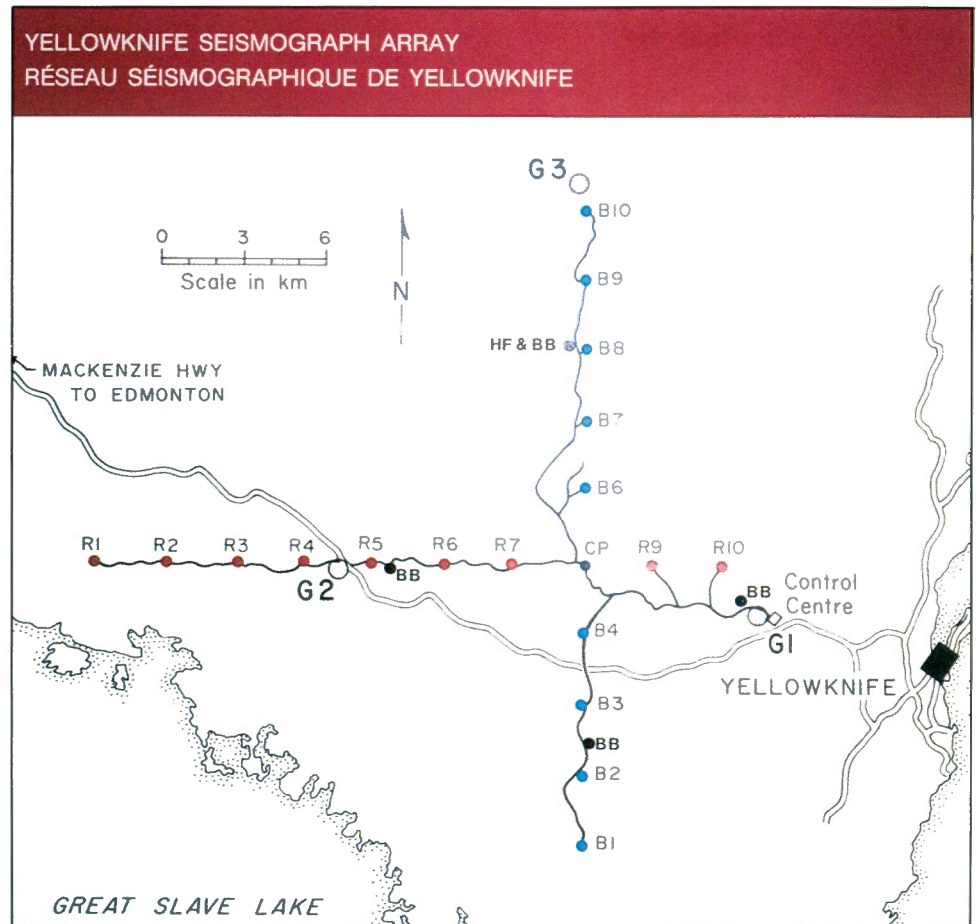
Les séismes sont enregistrés par 21 sismographes, sorte de cylindres métalliques de 20 cm par 30 cm dans lesquels se trouve une bobine de fils. À l'intérieur de chaque bobine, un aimant est suspendu à un ressort. Ces sismographes ont été logés sous des voûtes en acier aménagées dans des cavités forcées à même le roc du Bouclier canadien vieux de 2 400 millions d'années. Les sismographes sont espacés de 2,5 km. Le réseau dessine une croix immense.

Les ondes de choc en provenance d'une perturbation éloignée, sont enregistrées au complexe sismographique de Yellowknife par les sismographes sous forme d'oscillations verticales ou horizontales. Cependant, les aimants fixés aux ressorts

by the mid 1980s its limitations were becoming apparent. The original array had been designed to monitor low-amplitude disturbances. Those above 5.5 on the Richter scale (over 200 tremors a year fall into this category) could be detected but not analyzed.

As well, the array's detection 'window' was focused on narrow short-and long-period bands at the extreme ends of the seismic spectrum. This gave the array a healthy range but left a gap between the bands where much important information was lost.

There were other problems. The telephone link between Yellowknife and Ottawa, along which data were sent by modem, was of poor quality. The system's computers were 15 years out of date. And modifying the software to take advantage of the newer languages and advanced analytical techniques was out of the question: the programmers who had created it and who alone understood its intricacies had long ago moved on. The outdated equipment was becoming increasingly difficult to service as replacement parts became harder to find.

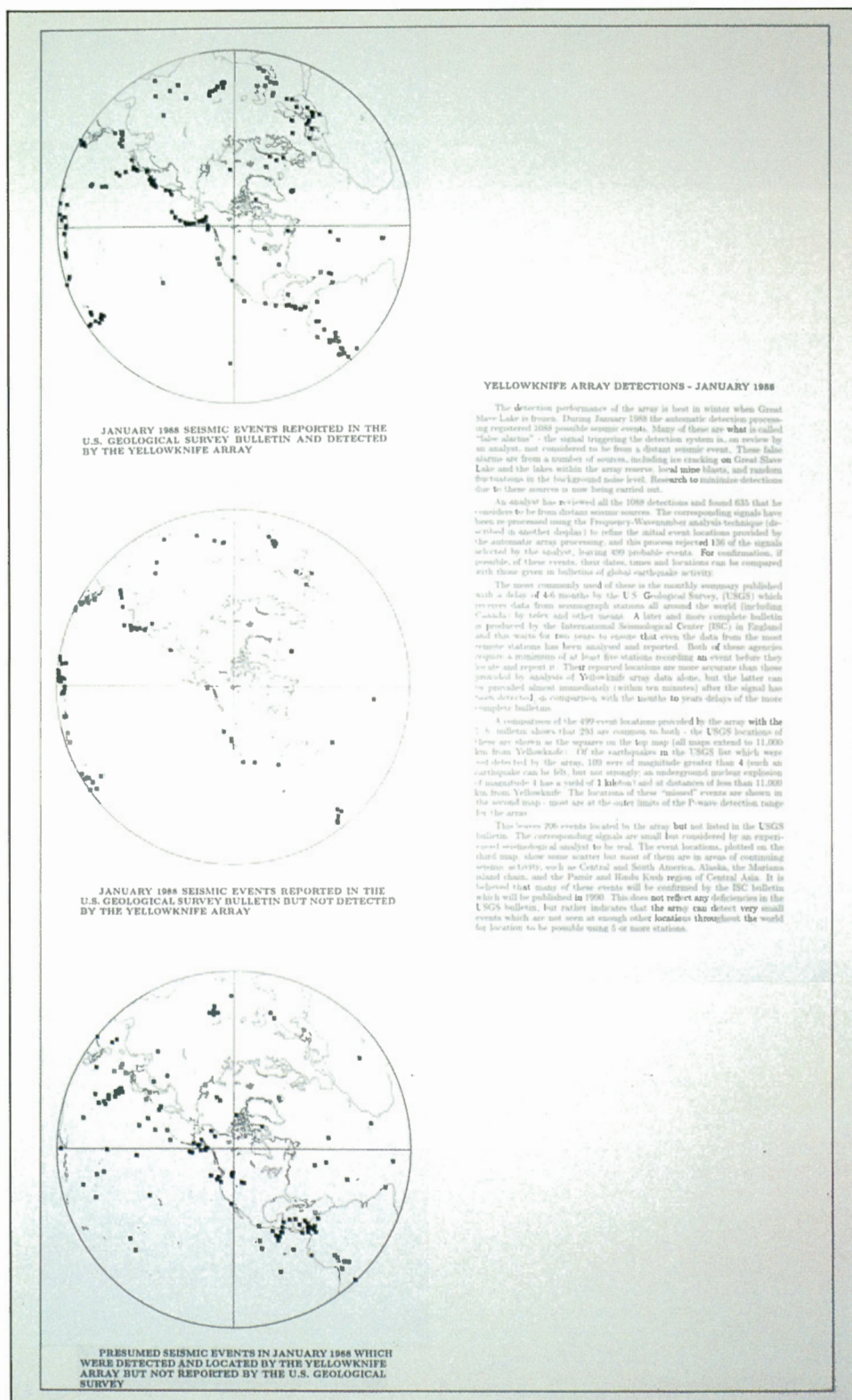


à l'intérieur des cylindres métalliques demeurent immobiles. Le mouvement qui en résulte produit dans la bobine un faible courant électrique mesurable. Ce courant est enregistré, sous la forme d'un tracé sur papier continu ou sur écran d'ordinateur.

En mesurant les différentes particularités de l'onde, les scientifiques peuvent alors préciser l'emplacement et la profondeur de la perturbation à son origine. En comparant ces données à celles enregistrées aux autres stations sismographiques, ils déterminent la source de la secousse sismique. La marge d'erreur est souvent d'au plus 20 à 30 km. Des analyses plus poussées évaluent la quantité d'énergie libérée et, dans la plupart des cas, déterminent si la perturbation est d'origine naturelle ou si l'activité humaine en est la cause.

Pendant plus de vingt ans, le complexe sismographique de Yellowknife a enregistré des données de grande valeur sur des dizaines de milliers de séismes à travers le monde. Toutefois, vers le milieu des années 80, on a pris conscience des limites du système. Le complexe initial avait été conçu pour enregistrer les perturbations de faible amplitude. Il pouvait détecter les perturbations d'une magnitude supérieure à 5,5 sur l'échelle de Richter (plus de 200 secousses par année sont de cette magnitude) mais non les analyser.

La « fenêtre » de détection du complexe ne captait que les bandes étroites de courtes et de longues périodes à l'extrémité du spectre sismique. L'ensemble, malgré cette portée intéressante, ne pouvait, par sa



Array Modernized

Finally, in 1986, under a joint agreement between EMR and External Affairs and International Trade Canada, \$3.5 million was provided to completely refurbish the installation. The modernized array was officially opened in September, 1989.

The overhaul was thorough and far-reaching. At the outstations, more sensitive seismometers replaced older instruments. New devices were carefully selected to match as closely as possible the output characteristics of their predecessors, ensuring a valuable historical continuity of data.

Radio links between the outstations and the Control Centre were upgraded. A short-period digitizer (a small, dedicated computer) was installed inside each vault alongside the seismometer. The computer samples the analog signal from the seismometer, converts it to a digital signal, and stores it in a memory buffer. Every six seconds the contents of the memory buffer are transmitted on the UHF radio link to the Control Centre.

An automatic time signal, received from the Control Centre, synchronizes all the digitizers in the array. This allows the data to be accurately time-tagged to

Events detected by the Yellowknife Array during one month.

Événements sismographiques détectés en un mois à Yellowknife.

conception, remplir le vide entre les bandes, et non plus par conséquent enregistrer les données importantes.

De plus, la qualité de la liaison téléphonique entre Yellowknife et Ottawa, pour la retransmission des données par modem, laissait à désirer. Les ordinateurs du système étaient désuets depuis 15 ans. Il était hors de question de modifier le logiciel de façon à tirer profit des nouveaux langages et des techniques perfectionnées d'analyse. Les programmeurs qui avaient conçu ce système étaient les seuls à en comprendre la complexité. Mais ils avaient quitté le complexe sismographique depuis longtemps. La désuétude du matériel rendait l'entretien difficile et les pièces de rechange se faisaient de plus en plus rares.

Modernisation du complexe sismographique

Une entente conjointe conclue, en 1986, entre EMR et Affaires extérieures et Commerce extérieur Canada, prévoyait l'injection de 3,5 millions de dollars dans un projet de modernisation complète des installations. Le complexe rénové est en vigueur depuis septembre 1989.

Ce projet visait une rénovation en profondeur et de grande portée du

within 100 microseconds. Power for the digitizing computers and radio transmitter is supplied by a propane-fuelled thermoelectric generator. In addition to the original short-period instruments, four new broad-band sensors have been added. These are installed on concrete piers at the end of 10-metre long horizontal tunnels drilled and blasted into solid bedrock. Under 10 m of overburden and

One of the short-period outstations. Transmitter is mounted on the UHF antenna at centre. Tank at left supplies propane for thermoelectric generator.



Une des stations périphériques à période courte. Un émetteur est installé sur l'antenne UHF du centre. Le réservoir, à gauche, fournit le gaz propane qui alimente la génératrice thermoélectrique.

complexe sismographique. Aux stations périphériques, les instruments désuets ont été remplacés par des sismographes plus sensibles choisis avec grand soin en vue de reproduire le plus fidèlement possible les caractéristiques des données de sortie de l'ancien matériel et ainsi maintenir une continuité historique entre les données.

Les liaisons radio entre les stations périphériques et le Centre de contrôle ont été améliorées. Un convertisseur numérique à courtes périodes (petit ordinateur spécialisé) a été installé sous chacune des voûtes près du sismographe. L'ordinateur échantillonne maintenant le signal analogique transmis par le sismographe, le convertit en signal numérique et l'enregistre dans une mémoire intermédiaire. Toutes les six secondes, le contenu de cette mémoire est

protected by two insulated steel doors, the seismometers are effectively isolated from temperature changes and shifts in atmospheric pressure. So sensitive are these devices that they can detect the slight depression in the earth caused by the weight of an incoming cold air mass.

Detecting nuclear explosions

Broad-band seismometers are especially effective at detecting slow-moving surface waves with periods of up to one hour. The relative amplitude of surface and 'body' waves (those that travel through the deeper layers of the earth's mantle) is one of the measures used to discriminate earthquakes from explosions.

In the past, detecting nuclear explosions was a relatively simple matter, as the superpowers rushed to produce ever bigger bombs. But the recent trend toward

One of the array's four broad-band outstations.



Une des stations périphériques de sismographes à bande large.

retransmis par ligne radio UHF au Centre de contrôle.

Un signal horaire automatique, émis par le Centre de contrôle, synchronise tous les convertisseurs numériques du complexe. Il permet de fixer le temps de réception des données à 100 microsecondes de précision. Une génératrice thermoélectrique alimentée au gaz propane produit l'énergie nécessaire aux convertisseurs numériques et à l'émetteur radio.

On a intégré quatre nouveaux capteurs à bande large aux instruments initiaux à courte période. Ces appareils ont été installés sur des piliers de béton à l'extrémité de tunnels horizontaux de 10 mètres de longueur percés à même le

smaller tactical weapons has made the task of monitoring nuclear tests far more difficult. Low-yield weapons create high frequency waves that are virtually undetectable outside a range of a few hundred kilometres.

To improve Canada's capabilities in this area, a single high-frequency seismometer has been added to the Yellowknife array.

Entrance to a broad-band vault.



Entrée d'une voûte de sismographes à bande large.

socle rocheux. Recouverts de 10 mètres de mort-terrain et protégés par deux portes en acier, les sismographes sont entièrement à l'abri des changements de température et de pression atmosphérique. La sensibilité de ces appareils est telle qu'ils peuvent détecter une dépression très légère causée dans le sol par le poids d'une masse d'air froid.

Détection des explosions nucléaires

Les sismographes à bande large sont particulièrement efficaces pour détecter les ondes de surface lentes dont les périodes atteignent jusqu'à une heure. L'amplitude relative des ondes de surface et des ondes de volume (celles qui voyagent dans les couches plus profondes de la croûte terrestre) est l'une des mesures utilisées pour différencier les tremblements de terre des explosions nucléaires.

Il était relativement facile, par le passé, de détecter les explosions nucléaires. Les superpuissances tentaient de créer les bombes les plus grosses qui soient. Toutefois, le choix actuellement préconisé des armes tactiques de plus petite taille complique la surveillance des essais nucléaires. Les armes nucléaires de faible puissance créent des ondes à haute

The instrument is currently being used to study seismic activity within Canada's borders, but scientists hope that the experience they gain through such studies may one day have other applications. Similar instruments, located within the borders of foreign countries, might one day be used to monitor their compliance with a general nuclear test ban treaty.

Together, the three types of sensors can detect seismic energy at frequencies from

Participants in a recent technical workshop view seismometers inside one of the new broadband vaults. Instruments are installed under glass bell jars on a concrete pier.



Les participants d'un atelier technique qui s'est tenu récemment examinent les sismographes à bande large placés dans une nouvelle voûte. Les instruments, installés sur des piliers de béton, sont protégés sous des cloches de verre.

fréquence qui, à toutes fins utiles, sont impossibles à détecter hors d'un rayon de quelques centaines de kilomètres. Afin d'améliorer les compétences du Canada dans ce domaine, un sismographe simple à haute fréquence a été ajouté au complexe de Yellowknife. Les scientifiques pensent qu'ils pourront utiliser éventuellement mais à d'autres fins, cet instrument pour étudier l'activité sismique au Canada. Ainsi, des instruments semblables, disposés sur tout le territoire, pourraient inspirer aux autres pays le respect du traité sur l'interdiction des essais nucléaires.

Les trois types de capteurs, leurs particularités combinées, peuvent détecter des secousses sismiques à des fréquences variant de 0,003 Hz à 50 Hz, et couvrir la presque totalité du spectre sismique.

Réception et traitement des données

Les données provenant des sismographes sont retransmises par radio au Centre de contrôle, où elles sont enregistrées sur disques optiques d'une capacité de mémoire de beaucoup supérieure à celle des rubans magnétiques qu'ils remplacent.

.003 to 50 Hz — virtually the entire seismic spectrum.

Data reception and processing

Data from the seismometers are radioed to the Control Centre, where they are recorded on optical discs. The discs provide enormous storage capacity, far exceeding that of the magnetic tapes they replaced. Each disc can hold 1600 megabytes of information — the equivalent of five sets of Encyclopedia Britannica — per side.

Every 10 minutes, a packet of stored data is beamed to an Anik satellite parked in geosynchronous orbit 38 000 km above the equator. The satellite relays the information to a new 12-foot dish atop a building at 1 Observatory Crescent in Ottawa. By the time it reaches the scientists of the Seismic Data Laboratory, the information is barely 15 minutes old.

In Ottawa, the data is subjected to both routine automatic processing and interactive analysis. In the latter instance, scientists apply a variety of sophisticated analytical techniques to distinguish a significant event from background noise. 'Noise' is created by many natural and cultural phenomena: the breaking of winter ice on Great Slave Lake, waves pounding the rocky beaches of the North Atlantic, heavy trucks and rock crushers at work in the gold mines around Yellowknife. Even a strong wind, by moving trees or the UHF antenna adjacent to the outstations, can produce a detectable trace.

Difficult terrain in the area makes getting to and from the outstations an adventure. This new Canadian-made ATV replaced the previous vehicle, which gave 20 years of constant service.



Un disque peut contenir, de chaque côté, 1,6 millions de bits d'information, c'est-à-dire l'équivalent de cinq séries complètes de l'Encyclopædia Britannica.

À intervalles de dix minutes, un ensemble de données en mémoire est transmis au satellite Anik, placé en orbite géostationnaire à 38 000 km au-dessus de l'équateur. Ce satellite dirige l'information vers une nouvelle antenne parabolique de quatre mètres de diamètre installée sur le toit de l'immeuble situé au 1, Place de

Sur le terrain accidenté de la région, c'est toute une aventure que de se rendre aux stations périphériques. Ce nouveau véhicule tout terrain de fabrication canadienne a remplacé le véhicule précédent utilisé pendant 20 ans.

l'observatoire, à Ottawa. Il ne faut que 15 minutes pour retransmettre l'information aux scientifiques du Laboratoire de données sismiques.

À Ottawa, les scientifiques soumettent alors ces données au traitement

No expense was spared to ensure the system's reliability. Computers in both Yellowknife and Ottawa are equipped with fully redundant backup systems. Data storage discs are duplicated. In the event of a transmission or computer failure, the software automatically enters a catchup mode, processing both real-time and backlogged data simultaneously. At the Control Centre, a bank of batteries and a diesel generator ensure against power interruptions.

A new Control Centre building at Yellowknife houses electronic hardware in a climate-controlled computer room. The building also houses service and maintenance facilities, an electronics workshop, test pier, and garage for a tracked all-terrain vehicle used to service the outstations. A security system watches for power outages, monitors temperatures and provides an intrusion alarm.

Information generated by all this activity is distributed via a monthly bulletin to External Affairs and International Trade Canada, and by computer to the United Kingdom, the United States and Sweden.

Although Canada has always supplied other countries with its seismic data on

Workshop participants examine hardware in the Control Centre's climate-controlled computer room.

Les participants d'un atelier examinent le matériel qui se trouve dans la pièce à température contrôlée du Centre de surveillance.

automatique habituel et à l'analyse. Ils font usage d'une foule de techniques afin de distinguer les phénomènes importants, objets d'analyse, des bruits de fond provenant de nombreux phénomènes naturels et culturels : bris des glaces, durant l'hiver, sur le Grand Lac des Esclaves; déferlement des vagues sur les plages rocailleuses de l'Atlantique nord; utilisation de camions lourds et de concasseurs de roches dans les mines d'or de Yellowknife, etc. Un vent fort qui agiterait l'antenne UHF installée aux stations périphériques, peut laisser des traces lisibles sur le sismographe.

Rien n'a été épargné pour assurer la fiabilité du système. Les ordinateurs, à Ottawa et à Yellowknife, sont équipés de systèmes de sauvegarde par redondance. Ainsi, une copie de toute l'information contenue sur les disques de mémoire est conservée. S'il y a des problèmes de transmission ou si l'ordinateur tombe en panne, le logiciel passe automatiquement en mode « rattrapage » et traite à la fois les données reçues immédiatement et celles qui n'ont pas encore été mémorisées. Au Centre de contrôle, un groupe de batteries et une génératrice Diesel ont été installés afin d'assurer

request, the process of sharing information has-recently become much faster and simpler. A new on-line interactive computer program allows scientists in other countries to log on to Canadian computers, and retrieve current data from anywhere in the world. Data are written in SEED format (Standard for the Exchange of Earthquake Data). This format was developed by the US Geological Survey and adopted as a standard by the International Federation of Digital Seismograph Networks.

The ability to verify compliance may spell the difference between the success and failure of any future arms control agreement. The Yellowknife Seismological



l'enregistrement des données en cas de pannes d'électricité.

Le matériel électronique est installé au nouveau Centre de contrôle, à Yellowknife, dans une pièce à température contrôlée. Le centre renferme des installations de service et d'entretien, un atelier d'électronique et d'essais ainsi qu'un garage pour garer le véhicule tout terrain muni de chenilles servant à l'entretien des stations périphériques. Un système de sécurité surveille les pannes de courant, contrôle la température et déclenche l'alarme au besoin.

L'information recueillie au cours de ces activités est publiée dans un bulletin mensuel soumis aux Affaires extérieures et au Commerce extérieur Canada et retransmise par ordinateurs au Royaume-Uni, aux États-Unis et à la Suède.

Le Canada a toujours consenti à offrir ses données sismographiques aux pays qui lui en faisaient la demande. On répond toutefois plus rapidement à la demande et on facilite maintenant l'accès aux données. Un nouveau programme permet aux scientifiques d'autres pays, où qu'ils se trouvent dans le monde, de communiquer directement avec les

Array is helping Canadian scientists develop technology and expertise that will contribute to a safer, more peaceful world.

Jaroslav Zenchuk is a freelance writer based in Ottawa.

ordinateurs du centre et d'interroger les renseignements contenus dans les bases de données. Ces données sont enregistrées d'après les normes en matière d'échange de données sur les tremblements de terre (format SEED), conçues aux États-Unis par l'International Federation of Digital Seismograph Networks.

Assurer le respect de traités stipulant l'interdiction des essais nucléaires par les gouvernements signataires, pourrait fort bien être l'élément déterminant de la réussite ou de l'échec de toute entente portant sur le contrôle des armements. Les scientifiques canadiens utilisent le complexe sismographique de Yellowknife afin de développer une technologie et un savoir-faire qui rendront la Terre plus sûre et plus paisible.

Jaroslav Zenchuk, est rédacteur pigiste à Ottawa.

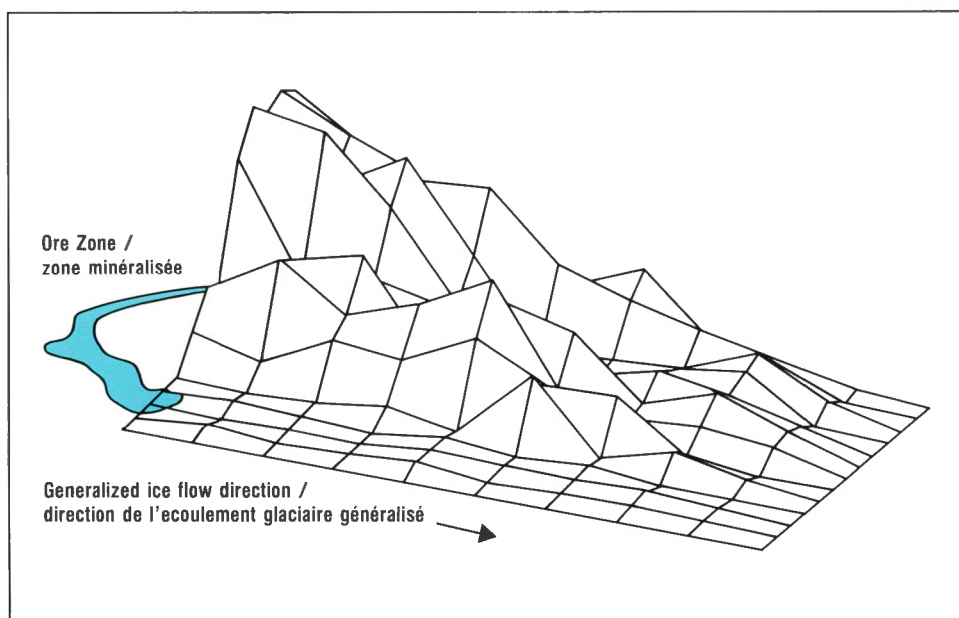
Drift Prospecting

Geologists Use Glacial Sediments to Find Ore Deposits

by Ron N.W. DiLabio

During the last Ice Age, the ice sheets that covered Canada ground down and eroded the bedrock beneath them. Ore deposits were also eroded and sometimes picked up and dispersed by the ice in its relentless flow.

Geological Survey of Canada (GSC) studies indicate that debris eroded from orebodies was dropped mostly within a few kilometres of its bedrock source, in till, the sediment deposited directly from glacial ice.



Drift prospecting is the study of glacial sediments (drift) to identify economically significant minerals in the sediments and to trace them up-ice to their source, which may be a bare outcrop or heavily drift-covered bedrock.

Drift prospecting research in Canada started in the 1950s and has been expanding since the early 1970s, concentrating on the properties of till and on the anatomy of dispersal trains. Staff of the GSC's Terrain Sciences Division have been responsible for developing drift prospecting methods in Canada. Methods were originally developed in Finland and other glaciated countries. We have refined and expanded these methods and Canadian scientists are now recognized as experts in the field.

Geologists search for evidence of ore (ore fragments, geochemical anomalies) in till. Ore debris is usually spread across the landscape in a dispersal train, an elongate lens of ore-enriched till, oriented parallel to ice flow. Near the source, at the 'head' of the train, concentration is great; farther down-ice, ore content declines gradually to a slightly-above-normal level, forming the 'tail' (Fig. 1).

Figure 1 Abundance of ore pebbles in till in the Icon dispersal train, near Chibougamau, Quebec. Grid rectangles are 30 x 61 m; the highest peak represents 99 per cent.

Figure 1 Abundance de cailloux minéralisés dans le till de la traînée de dispersion de l'Icone, près de Chibougamau (Québec). Les quadrilatères ont 30 x 61 m; le sommet le plus élevé du till représente 99 % de la traînée.

La prospection glacio-sédimentaire

Les géologues étudient les sédiments glaciaires afin de repérer des gisements métallifères

par Ron N.W. DiLabio

Au cours de la dernière glaciation, les glaces recouvrant le Canada ont broyé puis érodé le socle rocheux. Les gisements métallifères ont alors été soumis à l'érosion puis dispersés au rythme du déplacement des glaces.

Des études de la Commission géologique du Canada (CGC) ont montré que les débris résultant de l'érosion des corps minéralisés ont été dispersés dans un rayon de quelque kilomètres autour du socle rocheux originel. Ils se retrouvent dans le dépôt argileux que forme le till.

Ces formations sédimentaires recouvrent le socle rocheux emprisonnant ainsi les gisements métallifères. La prospection glacio-sédimentaire vise la recherche des

dépôts glaciaires (ou drift). Elle identifie dans les formations sédimentaires les minéraux dont l'exploitation représenterait une valeur économique et retrouve éventuellement l'affleurement ou le socle rocheux recouvert de glacio-sédiments qui en serait la source.

Les recherches dans le domaine de la prospection glacio-sédimentaire, au Canada, entreprises dans les années 1950, ont pris de l'ampleur depuis le début des années 1970. Elles ont portées de plus en plus sur les propriétés du till et sur la formation des traînées de dispersion. Au personnel de la Division des sciences des terrains de la CGC incombe la charge de mettre au point des méthodes de

prospection glacio-sédimentaire au Canada. Certaines méthodes avaient déjà été mises en oeuvre en Finlande et dans d'autres pays soumis aux glaciations. Ces méthodes, reprises et perfectionnées par les scientifiques canadiens, ont aujourd'hui acquis une notoriété mondiale dans ce domaine de recherche.

Les géologues recherchent des indices révélant la présence du minerai (fragments de minerai, anomalies géochimiques) dans le till. Les débris de minerai, généralement répandus dans le paysage comme une traînée de dispersion, prennent la forme d'une lentille allongée renfermant du till à forte teneur en minerai et orientée dans le sens de l'écoulement glaciaire. Près de la source, la concentration est forte; cependant plus on s'éloigne de la « tête » vers la « queue » de la traînée, plus la teneur en minerai diminue pour finalement dépasser à peine la normale (fig. 1).

Les caractéristiques des traînées de dispersion

Les petites traînées, étudiées au cours de la prospection minière, présentent au

Features of Dispersal Trains

Small trains, studied during mineral exploration, have at least five features in common. First, they are thin in comparison with their length and width: most are 500 to 10 000 m long, 100 to 1000 m wide and only 1 to 5 m thick. Second, they are hundreds to thousands of times larger in area than their bedrock sources. Third, they have sharp lateral and vertical contacts with the enclosing till. Fourth, they climb gently within the enclosing till, down-ice from their sources, meaning the head of the train may be buried but the tail may reach the surface. Fifth, many but not all, trains show a down-ice decrease in the concentration of distinctive components.

A dispersal train of distinctive boulders, minerals, trace or major elements, or radioactive components forms a much larger mineral exploration target than does an ore deposit itself. The broad tail of a train is usually detected first.

Discovery

Dispersal trains are usually found by prospecting and geochemical or mineralogical studies of till. Prospectors

Figure 2 *Metalliferous till in the head of the Strange Lake (Labrador) dispersal train, overlying the peralkaline granite source.*

Figure 2 *Till métallifère situé dans la tête de la traînée de dispersion du lac Strange (Labrador) coiffant une source de granite hypercalin.*

moins cinq caractéristiques communes. Elles sont, premièrement, minces quant à la longueur et à la largeur : de 500 à 10 000 m de longueur, de 100 et 1 000 m de largeur et seulement de 1 à 5 m d'épaisseur. Deuxièmement, la superficie de ces traînées dépasse des centaines et même des milliers de fois, celle de la zone de socle rocheux dont elles proviennent. Troisièmement, elles présentent des contacts latéraux et verticaux très nets avec le till encaissant. Quatrièmement, elles donnent l'impression de grimper tout doucement à l'intérieur du till encaissant, vers l'aval par rapport à la source. La tête de la traînée s'enfoncé donc alors que la queue reste à la surface. Cinquièmement, dans un grand nombre de traînées, la concentration des composantes distinctes de minerai diminue au fur et à mesure que l'on va vers l'aval de la glace.

Une traînée de dispersion comprenant des dépôts erratiques, des minéraux, des éléments traces ou des éléments principaux ou encore des composantes radioactives distinctes, forme un site de prospection minière beaucoup plus grand que le gisement métallifère. De manière générale, on détecte d'abord la large queue de la traînée puis la tête.

look for ore boulders protruding from the till. Till samples, collected at the surface or from drillholes on a regular grid covering the favorable bedrock, are analyzed chemically or mineralogically to measure metal content. Results are plotted and contoured on a map of sample locations — a plume-shaped area of metal enrichment on that map identifies a dispersal train.

Glacial dispersal trains can be hundreds of kilometres long. Trains of this size are detected only when the area sampled is very large and when the train's characteristic lithological component is present in adequate amounts to make it

distinctive against background rock types in the dispersal area. For drift prospectors, large trains are problematic because the till's exotic lithology can overwhelm the 'signal' from mineralized debris eroded from local sources (i.e., small dispersal trains). Large trains can best be detected by 'reconnaissance' scale till sampling at a density of one sample per 100 km².

Smaller dispersal trains derived from individual rock units and distinctive belts of rock are more likely to be detected early in mineral exploration programs. Local-scale sampling, at one sample per 1 km², will suffice to define which parts of a favorable bedrock unit are most



Découverte

Les traînées de dispersion sont généralement identifiées en prospectant le till ou en procédant à des études géochimiques et minéralogiques de ce till. Les prospecteurs recherchent les dépôts erratiques minéralisés qui pointent hors du till. Des échantillons de till, prélevés à la surface ou obtenus par forage selon une grille ordonnée couvrant le socle rocheux à l'étude, sont analysés du point de vue chimique ou minéralogique afin d'en mesurer la teneur en métaux. En fonction des résultats de l'analyse, des tracés et des aires sont délimités sur une carte des sites d'échantillonnage; une zone penniforme d'enrichissement métallique sur la carte correspond alors à une traînée de dispersion.

Ces traînées de dispersion glaciaires peuvent avoir des centaines de kilomètres de longueur. Lorsqu'elles atteignent une telle dimension, elles ne peuvent être

identifiées que si la zone étudiée est vaste et la composante lithologique caractérisant la traînée présente en quantité suffisante pour qu'elle soit distinguée des autres types de roches qui constituent l'arrière-plan de la zone de dispersion. Les grandes traînées posent un problème aux prospecteurs de glacio-sédiments parce que la lithologie exotique du till peut masquer les indices provenant des débris minéralisés érodés à partir des sources locales que sont les petites traînées de dispersion. Les grandes traînées sont plus facilement identifiables par échantillonnage du till selon une échelle de reconnaissance qui prélève un échantillon par 100 km².

Les traînées de dispersion plus petites provenant d'unités rocheuses isolées et de zones rocheuses distinctes, sont détectées facilement lors des programmes de prospection minière. Les échantillonnages à l'échelle locale, à raison d'un échantillon par kilomètre carré, suffisent

Figure 3 Strange Lake dispersal train, mapped by the abundance of trace elements in fine grains of till.

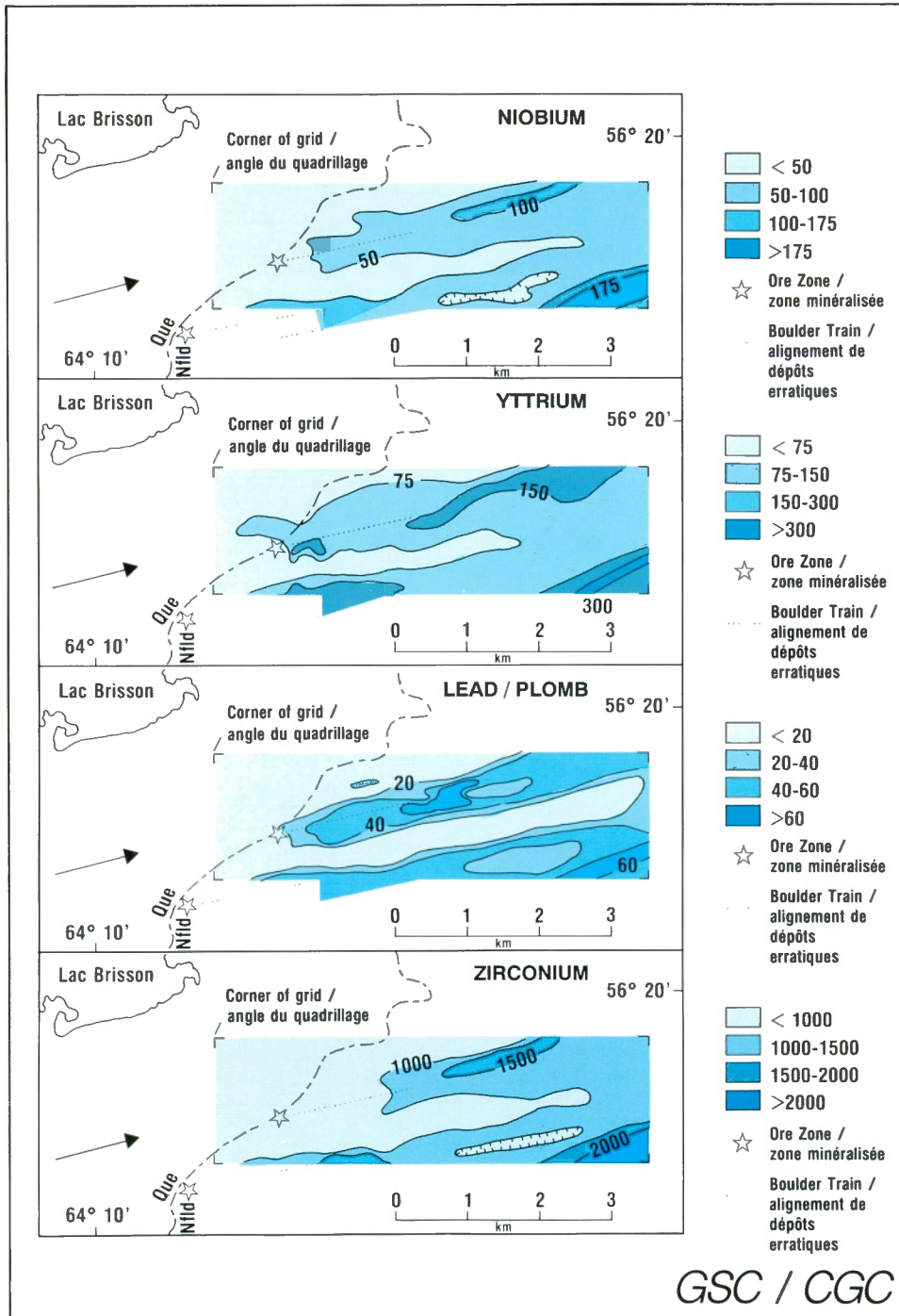


Figure 3 Traînée de dispersion du lac Strange cartographiée grâce à l'abondance des éléments traces dans la fraction fine du till.

metalliferous, and even to detect dispersal train tails derived from small mineralized sources.

Detailed sampling, in which sample density is about one sample per hectare, is designed to locate the heads of dispersal trains. This sampling density would normally be used to trace trains up-ice or

pour déterminer quelles parties d'une unité du socle sont les plus métallifères, et même pour détecter les queues de traînée de dispersion issues de petites sources minéralisées.

L'échantillonnage détaillé, correspondant environ à un échantillon par hectare, a été mis au point pour localiser la tête des

test geophysical anomalies or favorable geological contacts.

Geologists have long known that only careful study of the anatomy of known trains can teach us how to use newly discovered ones to find mineralized bedrock. One of the largest dispersal trains is Labrador's Strange Lake train, which was glacially eroded from a highly unusual peralkaline granite enriched in niobium, zirconium, yttrium, beryllium, rare earth elements and lithium. A GSC lake sediment geochemistry survey originally detected the train's tail.

Figure 4 Complex ice flow history in the Timmins-Val d'Or mining belt. Yellow: oldest flow, green: intermediate, black: youngest. Flow patterns must be understood if indicators of mineralization are to be traced to source. Diagram courtesy of J.J. Veillette, Terrain Sciences Division.

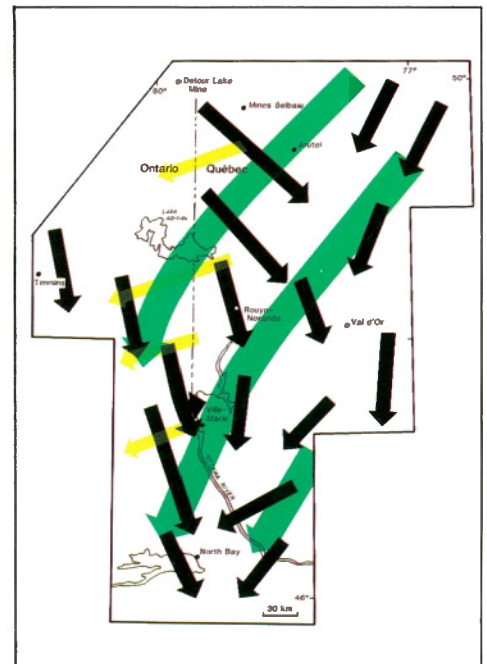


Figure 4 Évolution du déplacement des glaces complexe dans la zone minière de Timmins – Val-d'Or. En jaune : le déplacement le plus ancien; en vert : l'intermédiaire; en noir : le plus jeune. Il est nécessaire de bien interpréter les configurations des déplacements si l'on veut remonter à la source des indicateurs de minéralisation. Le diagramme est une courtoisie de J.J. Veillette, Division des sciences des terrains.

traînés de dispersion. Cette densité d'échantillonnage permettrait de remonter jusqu'aux origines glaciaires de la traînée et de tester les anomalies géophysiques ou les contacts géologiques valables.

Depuis longtemps, les géologues savent que seules des études attentives de la configuration des traînés déjà identifiées peuvent fournir des renseignements utiles

GSC / CGC

An airborne radiometric survey and boulder tracing by the Iron Ore Company of Canada led to the discovery of the mineralized granite. The Strange Lake train is more than 30 km long, 1 to 2 km wide, and less than 5 m thick (Fig. 2). Two coalescent trains, eroded from different subtypes of the granite, make up its head (Fig. 3). At great distances down-ice, the trains are still recognizable as separate bands of till enriched in two types of granite.

The train maintains its width and peralkaline granite content for about 20 km and crosses hills more than 100 m high without changing direction. This means the ice flowed in the same direction for a considerable time, contrary to the

Figure 5 Longitudinal section in the Icon train showing the dark-colored copper-rich till rising over pale-colored sands. Ice movement was from right to left. GSC photo 203518.



Figure 5 Coupe longitudinale dans la traînée de dispersion de l'Icon montrant le till de teinte foncée, riche en cuivre, qui s'élève au-dessus des sables de teinte pâle. Le déplacement des glaces se fait vers la gauche. Photo n° 203518 de la CGC.

pour trouver un socle rocheux minéralisé. La traînée de dispersion du lac Strange au Labrador est l'une des plus grandes. Un granite hyperalcalin tout à fait inhabituel enrichi en niobium, en yttrium, en béryllium, en lithium et en terres rares, a été érodé par les glaciers. Une étude géochimique des sédiments lacustres menée par la CGC avait d'abord détecté la queue de la traînée.

Un relevé radiométrique aéroporté et un tracé des dépôts erratiques effectué par la compagnie minière IOC, ont mené à la découverte de ce granite minéralisé. La traînée de dispersion du lac Strange a plus de 30 km de longueur, 1 à 2 km de largeur et moins de 5 m d'épaisseur (fig. 2). Deux traînées de coalescence, produites par

complex history of ice flow directions that prevails in most of Labrador. Debris must have been carried passively above the glacier base because the debris was not fanned out, crushed or mixed and diluted with the surrounding till.

Because a dispersal train is a lithologically distinct streak of till, a geologist can routinely trace a train on the surface back to source in most areas where ice flow history is simple (i.e. a straight line from source to tail). Problems arise in areas of complex ice flow (Fig. 4) and where trains exist only in the subsurface — such as under glacial Lake Agassiz and glacial Lake Barlow-Ojibway clays, where sampling must be done with a drill.

The Icon train, near Chibougamau, Quebec, was derived from a high grade vein of copper ore. It is about 650 m long and 300 m wide. In sections through the train, the ore-bearing till sharply truncates the structure of older glacial sediments (Fig. 5). Little mixing with older sediments occurred, because the till is almost as rich in copper as the bedrock ore itself (61 000 tonnes were actually mined as ore). In the train's tail, although the copper-rich till is as thin as 10 cm at the top of the soil profile, it is still recognizable by its unusual composition. The train's shape is controlled by the shape of underlying sediments, which form a streamlined

l'érosion de différents sous-types de granite, forment la tête de la traînée (fig. 3). A de grandes distances en aval des glaces, on remarque encore des traînées qui se présentent sous forme de bandes séparées de till enrichi par deux types de granite.

La largeur de la traînée demeure identique sur environ 20 km et la teneur en granite hyperalcalin se maintient. La traînée disparaît sous des collines de plus de 100 m de hauteur sans que la direction de son mouvement en soit modifiée. La glace s'est donc écoulee dans la même direction pendant une durée considérable, contrairement à l'évolution complexe des directions d'écoulement des glaces de la plus grande partie du Labrador. Des débris ont dû être transportés au-dessus de la base du glacier, car autrement ils auraient été réduits en poussière sous l'impact du poids du glacier, pour ensuite se mêler et se fondre au till environnant.

Une traînée de dispersion constitue une bande de till lithologiquement distincte. Aussi un géologue peut facilement retracer une traînée à la surface de la terre et en retrouver la source dans la plupart des milieux où l'évolution de l'écoulement glaciaire reste relativement simple: une ligne droite de la tête jusqu'à la queue. Il en va bien autrement lorsque, dans les zones où l'écoulement glaciaire a été complexe (fig. 4), des traînées

mound. The train is thus shaped like the inverted bowl of a spoon, pointing down-ice. The steamlining probably took place during construction of the train, as the ice overrode older sediments.

Two small trains in Ontario are typical of the size and shape of many trains derived from smaller ore deposits.

The Hopetown train, near Ottawa, arose from a zinc occurrence in marble. Because cadmium is present only in sphalerite there, and because it is less mobile than zinc during weathering of surface till, its distribution gives an accurate picture of glacial dispersal (Fig. 6). The pattern of glacially dispersed ore boulders, which matches the cadmium pattern, confirms this. Aligned parallel to local striae, the train is straight, sharp-edged, and at least 400 m long by a consistent 100 m wide. The metal-rich lens of till is continuous over its full length and the till is a 'melt-out' type, meaning that debris was transported passively in the ice and deposited as the ice melted, probably during the ice sheet's retreat.

The larger Allan Lake train, in Algonquin Provincial Park, was discovered during a GSC airborne gamma-ray spectrometric survey. Figure 7 shows how measuring the radioactivity of the till can produce an accurate map of the dispersal train. Derived from a small carbonatite plug

n'apparaissent pas à la surface de la terre. Il a fallu prélever des échantillons à l'aide d'une foreuse sous les argiles du lac glaciaire d'Agassiz et du lac glaciaire de Barlow-Ojibway.

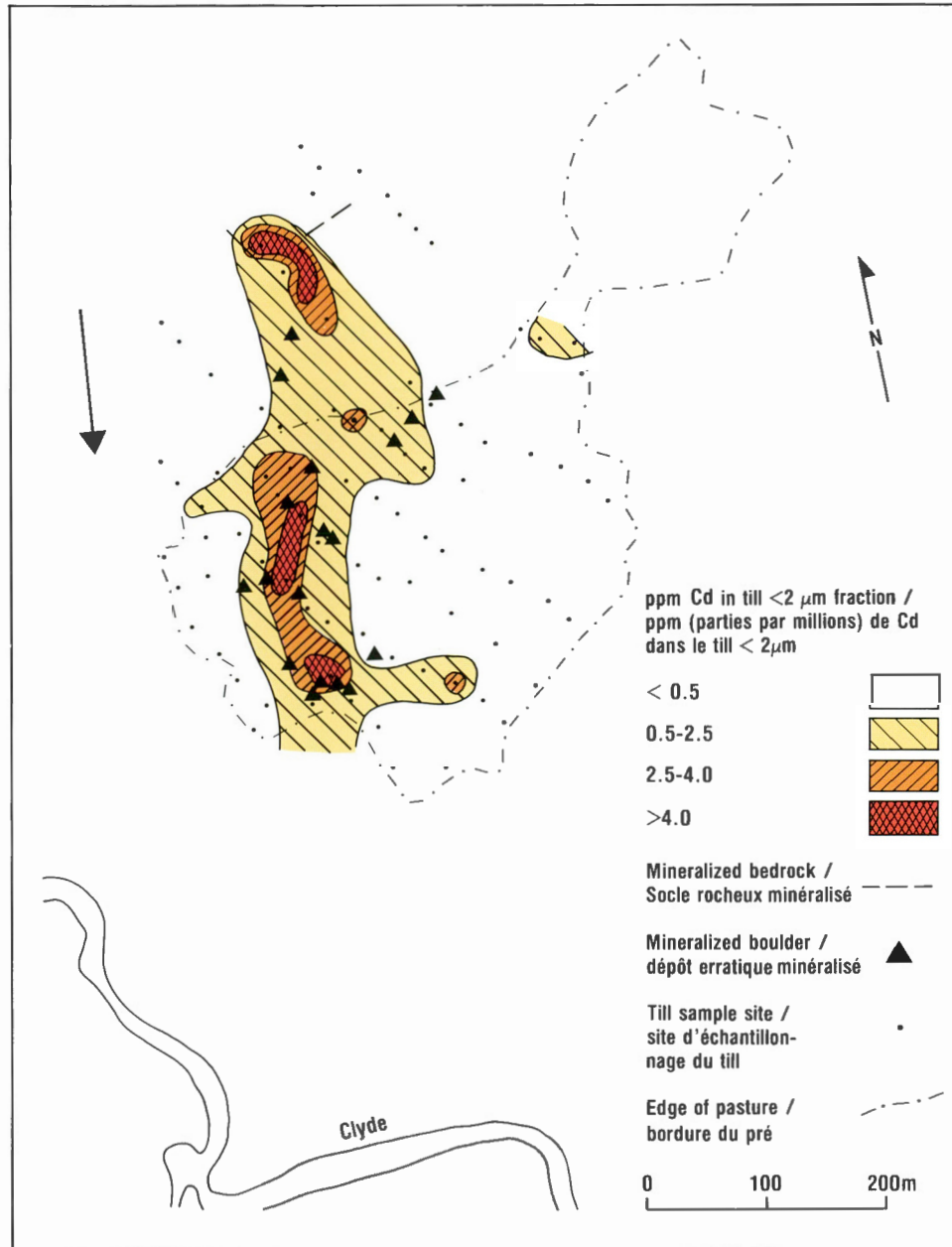
La traînée de l'Icon, près de Chibougamau (Québec), se compose de matériaux provenant d'un filon à forte teneur en minerai de cuivre. Elle a environ 650 m de longueur et 300 m de largeur. Dans certaines sections de la traînée, le till métallifère brise nettement la configuration des sédiments glaciaires plus anciens qui forment la traînée (fig. 5). Ces sédiments se sont peu mélangés aux nouveaux parce que le till est presque aussi riche en cuivre que le socle rocheux lui-même. Jusqu'à présent 61 000 tonnes de minerai en ont été extraites. Dans la queue de la traînée, le till riche en cuivre n'a que 10 cm d'épaisseur au sommet du profil pédologique. Il est toutefois reconnaissable à sa composition inhabituelle. La forme de la traînée est commandée par celle des sédiments sous-jacents qui forment comme un monticule fuselé. La traînée prend ainsi une forme apparentée au cuilleron inversé d'une cuillère pointant vers l'aval. Le fuselage a probablement eu lieu pendant la formation de la traînée puisque la glace s'est superposée aux sédiments plus anciens.

that does not outcrop, the train is also easily detected by ground gamma-ray spectrometry, boulder tracing, and biogeochemistry, all of which reflect the anomalous composition of the till. Researchers found that here too the till is of the melt-out type. Currently we think that passive glacial transport and deposition by melt-out may be necessary for the formation of such sharply defined

trains as well as for long, continuous trains like the Strange Lake example.

Some features of dispersal trains are particularly helpful in mineral exploration. First, they are much larger than their bedrock sources (which are commonly buried), making them easier targets to find. Second, they are usually straight or slightly fanned, and oriented parallel to

one ice flow direction, so they can be followed up-ice to the source. Third, they climb gently (1° to 3°) in the down-ice direction, so they are not prone to sudden changes in attitude or depth, except where they pinch out or follow substrate obstructions, or where they have been eroded away. Fourth, they are commonly thin and must be sampled at short intervals so that a train's presence is not obscured by barren till during sampling.



Deux petites traînées, en Ontario, sont caractéristiques, par la dimension et la forme, de nombreuses traînées résultant de gisements de minerai mineurs.

La traînée de Hopetown, près d'Ottawa, résulte de la présence de zinc dans du marbre. Puisque le cadmium n'est présent que dans la sphalérite à cet endroit, et parce qu'il est moins mobile que le zinc pendant l'altération du till de surface, sa répartition donne une idée assez précise de la dispersion glaciaire (fig. 6). La

configuration des dépôts erratiques minéralisés dispersés par les glaciers et qui correspond à la configuration du cadmium, viennent confirmer ce phénomène. Alignée parallèlement aux stries locales, la traînée est rectiligne et ses bords sont bien découpés. Elle a une longueur d'au moins 400 m sur une largeur constante de 100 m. La teneur en métaux du till est constante sur toute la longueur de la traînée. Ce till est dit till d'ablation car il a été formé à partir de débris

Inside Till

Till is the sediment produced by glacial erosion, transport and deposition of fresh and weathered sediments and bedrock. It is therefore a geologically young sediment which at any given site is not a product of weathering of the bedrock beneath, but a lithological mixture derived from sources up-ice from the site. Because till is widespread and is the parent material for most other surficial sediments, the complex makeup of till has received much attention, especially in relation to geochemical exploration problems.

Figure 6 Hopetown dispersal train, near Ottawa, Ontario, outlined by the cadmium content of till and by the distribution of ore boulders.

Figure 6 Traînée de dispersion de Hopetown, près d'Ottawa (Ontario), délimitée par la teneur en cadmium du till et par la répartition des dépôts erratiques minéralisés.

supraglaciaires et intraglaciaires transportés jusqu'au moment de la fonte du glacier. Les débris sont alors tombés ou ils ont glissé sur le sol pendant, probablement, le retrait de la calotte glaciaire.

La traînée plus grande du lac Allan, dans le parc provincial Algonquin, a été découverte lors de travaux de spectrométrie aérienne au rayon gamma de capture menés par la CGC. Une carte précise de la traînée de dispersion (figure 7) a été produite grâce à un relevé de la radioactivité. Provenant d'un petit culot de carbonatite qui n'affleure pas, la traînée est aussi facile à détecter par spectrométrie au sol du rayonnement gamma de capture, par le tracé des dépôts erratiques et par biochimie. Chacune de ces méthodes reflètent différemment la composition irrégulière du till. Les chercheurs ont découvert, là encore, un till d'ablation déposé au moment de la fonte. Un processus de transport glaciaire suivi d'un dépôt des matériaux lors de la fonte sont nécessaires à la formation de traînées aussi nettement définies. Il en est de même dans le cas des longues traînées continues ressemblant à celles du lac Strange.

A common problem in the geochemical analysis of till and soils developed on till is the choice of a representative grain size for analysis. For each specific set of source rocks and ore minerals, scientists must have enough data to choose an optimum size. Analysis should detect subtle anomalies and should not be biased by sample-to-sample variations in the abundance of common rock-forming minerals. The size range needs to include the specific size to which ore minerals are glacially ground and may include the size in which trace elements accumulate during weathering. These considerations are often neglected in routine surveys.

The GSC's experimental work has shown that weathered till is most metal-rich in its finer grain sizes because phyllosilicate minerals and secondary minerals tend to be enriched in the fine sizes. Fine grains have a high total surface area and exchange capacity, so they act as scavengers, adsorbing representative portions of the trace metals released during weathering of primary, particularly sulphide, minerals. This pattern seems to

Figure 7 Allan Lake dispersal train, Algonquin Park, Ontario, mapped accurately by an airborne gamma-ray spectrometric survey. Diagram courtesy of K.L. Ford, Mineral Resources Division.

Figure 7 Traînée de dispersion du lac Allan, parc provincial Algonquin (Ontario), cartographiée avec précision grâce à des travaux aériens de spectrométrie du rayonnement gamma de capture. Le diagramme est une courtoisie de K.L. Ford, Division des ressources minérales.

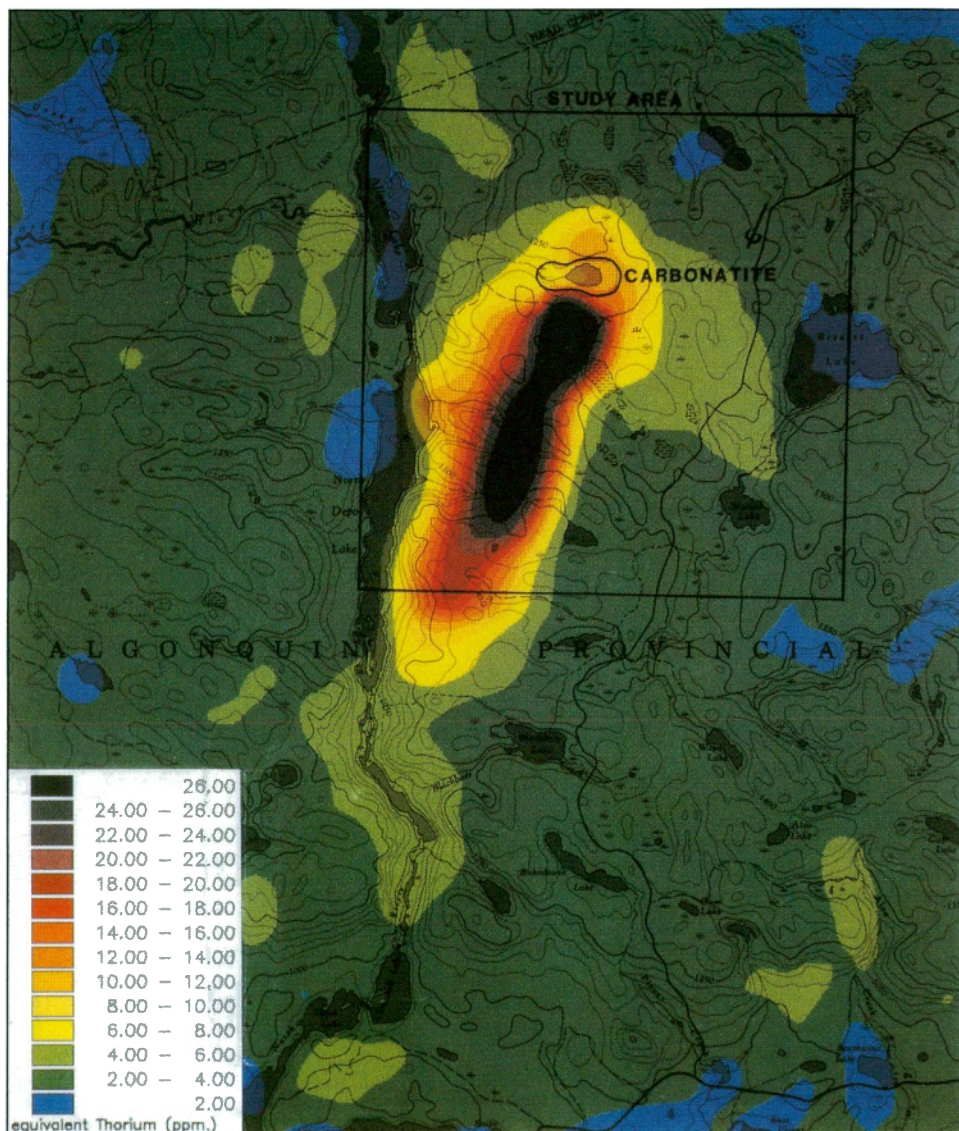
La connaissance de certaines particularités des traînées de dispersion est indispensable lors des travaux d'exploration minière. Car ces particularités physiques sont beaucoup plus apparentes que les zones de socle rocheux dont elles proviennent et qui sont généralement enfouies. Elles sont donc plus faciles à trouver. Mais aussi, ces traînées de dispersion sont généralement rectilignes ou légèrement en éventail et orientées parallèlement à l'une des directions de l'écoulement glaciaire. Aussi peut-on les retracer en amont des glaces jusqu'à la source. De plus, ces traînées s'inclinent légèrement (1-3°) en direction de l'aval. Ainsi elles ne sont pas soumises à des variations subites de disposition ou de profondeur, sauf toutefois aux endroits où elles disparaissent progressivement en biseau, où elles obéissent aux obstacles du substrat rocheux et où elles ont subi l'érosion. Enfin, on doit recueillir des échantillons de ces traînées, généralement minces, à de courts intervalles afin que l'étude de la traînée ne soit pas gênée par un till dénudé au cours de l'échantillonnage.

hold for base metals and uranium, for which the largest body of data is available.

Gold

Gold's behavior has drawn attention recently, with some startling results.

Although base metals are held normally in sulphide and silicate minerals, gold can be native (metallic) or contained in oxide, sulphide or silicate minerals. Scientists must consider the possibility that gold may dissolve or move during postglacial or even preglacial weathering. This has



L'intérieur du till

Le till est un sédiment résultant de l'érosion, du déplacement et du dépôt glaciaire de matériaux fraîchement agglutinés et altérés, auquel se mêle le socle rocheux. Le till est par conséquent un sédiment géologiquement jeune qui, en un milieu donné, ne constitue pas un produit de l'altération du sol rocheux sous-jacent, mais bien un mélange lithologique formé d'éléments provenant de sources situées en amont des glaces. Le till, partout présent, constitue le matériau originel de la plupart des autres dépôts meubles. La composition complexe du till a beaucoup retenu l'attention des chercheurs surtout lorsqu'il était question d'exploration géochimique.

Un problème se pose cependant lors de l'analyse géochimique du till et des sols formés sur du till. Comment choisir la taille représentative des grains? Pour chacun des ensembles de roches mères et de minerais, les scientifiques doivent disposer de suffisamment de données pour choisir une taille optimale. Les analyses devraient permettre de détecter les anomalies les plus minuscules. Mais elles ne devraient pas tenir compte des variations observées d'un échantillon à l'autre lors de la cueillette des minéraux communs à l'origine de la constitution des roches. L'éventail des dimensions de la taille représentative des grains va de la taille spécifique de chaque minéral tel qu'il a été arraché par les glaciers, jusqu'à la taille des éléments traces accumulés pendant le processus d'altération.

complicated the study of gold and slowed the progress of research. Examples from widely differing localities illustrate results.

At Waverley, Nova Scotia, quartz-carbonate veins in Meguma Group greywackes contain coarse-grained native gold, scheelite and arsenopyrite. Researchers collected oxidized till from shallow pits at several distances down-ice from the deposit. Close to the deposit most grain sizes are gold rich; down-ice, the till's overall gold content drops sharply and the finer grains become the most auriferous (Fig. 8). In a scanning electron microscope search of heavy minerals, gold grains were seen only in the

finer sizes of the most gold-rich samples. Most gold in these weathered samples seems to be in an adsorbed form on secondary iron and manganese oxides and hydroxides, and on phyllosilicates. We think that a fine-grained sample would be the best choice for analysis in the Meguma terrane, coupled with panning or tabling of bulk samples to recover rare gold grains — an effective addition to geochemical analyses in this terrane.

At Onaman River, near Beardmore, Ontario, copper-silver-gold mineralization carries its gold in chalcopyrite and pyrite. In exploration trenches through the dispersal train derived from this deposit,

gold content varied with the copper and silver content of the till. Gold levels in six samples increase up the soil profile, and in most samples the finest grain sizes are the most auriferous. The most gold-rich samples also show gold in coarse sizes which consist predominantly of locally derived rock fragments. Regardless of gold content or sample depth in the soil profile, gold content graphs (Fig. 8) have roughly the same shape and display gold enrichment in fine sizes, presumably because gold released during weathering of sulphides is very fine grained (native) or is adsorbed on fine grains.

Glacially transported gold grains commonly show evidence of their glacial and postglacial history in their shapes and surface textures. These features can help geologists find the gold's source by indicating the relative distance of transport, the possibility of recycling and postglacial weathering effects.

Sand- and silt-sized grains from till from several localities have been classified into

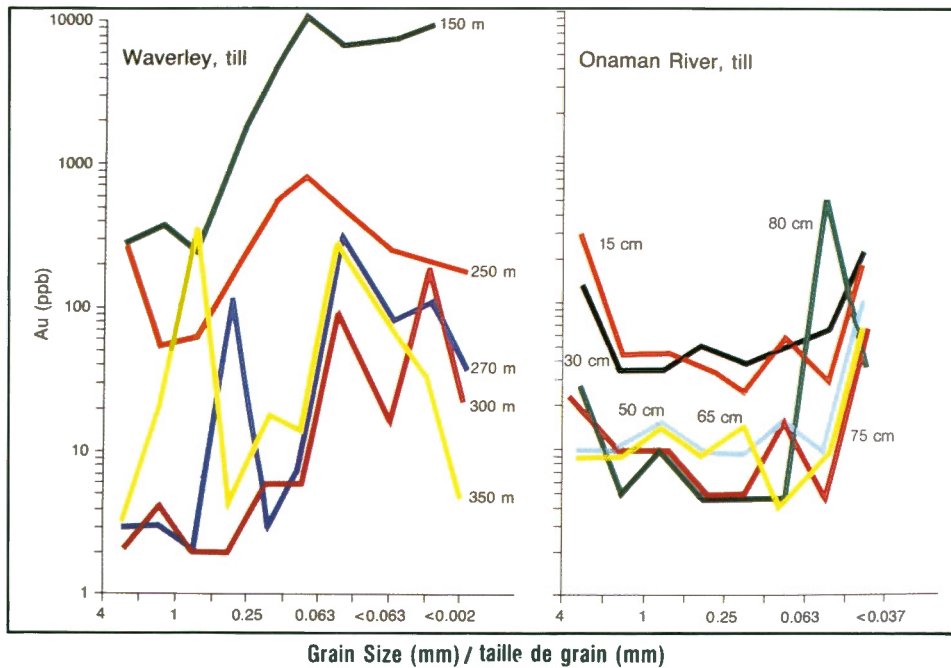


Figure 8 Abundance of gold in different grain sizes of till (left) at several distances down-ice from the gold deposit at Waverley, N.S. and (right) at varying depths below surface in the soil profile on the Onaman River dispersal train near Beardmore, Ontario.

Figure 8 Abundance d'or dans des grains de tailles différentes appartenant au till (à gauche) localisé à de grandes distances en aval à partir du gisement aurifère situé à Waverley (N.-É.) et (à droite) à des profondeurs variables sous la surface dans le profil pédologique sur la traînée de dispersion de la rivière Onaman près de Beardmore (Ontario).

Malheureusement de telles considérations sont souvent négligées au cours des relevés de routine.

Les travaux expérimentaux menés par la CGC ont montré que le till altéré est des plus riches en métaux dans ses grains les plus fins parce que les minéraux phyllosilicatés ainsi que les minéraux secondaires ont tendance à s'enrichir de particules plus fines. Les grains fins présentent une grande superficie et une forte capacité d'échange, si bien qu'ils agissent en tant que nécrophages. Ils absorbent les portions représentatives des métaux à l'état de traces qui ont été dégagées pendant l'altération des minéraux primaires et plus particulièrement des sulfures. Ce modèle semble valable dans le cas des métaux de base et de l'uranium dont les données sont les plus abondantes.

L'or

L'étude du comportement de l'or a récemment attiré l'attention des chercheurs. Certains résultats sont spectaculaires. Bien que l'on trouve

normalement les métaux de base dans les minéraux sulfureux et silicatés, l'or se trouve à l'état natif (métallique) ou bien contenu dans des minéraux oxydés, sulfureux ou silicatés. Les scientifiques doivent considérer que l'or a pu se dissoudre ou se déplacer pendant l'altération post-glaciaire ou même pré-glaciaire. Cette probabilité a rendu l'étude de l'or plus complexe et en a ralenti les recherches. Des exemples provenant de sites d'exploration tout à fait différents permettent d'illustrer certains résultats.

Ainsi, à Waverley (Nouvelle-Écosse), on a trouvé des filons de quartz-carbonate appartenant aux grauwackes du groupe de Meguma qui renferment de l'or à l'état natif et à grain grossier, de la schééélite ainsi que de l'arsénopyrite. Les chercheurs ont prélevé du till oxydé provenant de carrières peu profondes à une certaine distance en aval du dépôt. A cet endroit, la plupart des gros grains renferment de l'or, tandis qu'en aval, la teneur générale en or du till connaît une baisse très nette et les grains plus fins sont alors les plus aurifères (fig. 8). Lors d'une recherche de métaux lourds à l'aide d'un

microscope électronique à balayage, les grains d'or n'étaient perçus que dans les fragments les plus fins des échantillons riches en or. La majeure partie de l'or contenu dans ces échantillons altérés se présente sous une forme absorbée par des oxydes et des hydroxydes secondaires de fer et de manganèse ainsi que par des phyllosilicates. Les chercheurs estiment qu'un échantillon à grain fin constituerait le meilleur choix pour l'analyse du terrane de Meguma, à la batée ou au tamisage d'échantillons grossiers, afin qu'on puisse récupérer quelques rares grains d'or. Une telle opération constituerait un ajout valable aux analyses géochimiques déjà effectuées du terrane.

À la rivière Onaman, près de Beardmore (Ontario), une minéralisation de cuivre-argent-or contient de l'or dans une gaine de chalcopyrite et de pyrite. Dans les tranchées d'exploration pratiquées à travers la traînée de dispersion formée à partir de ce gisement, la teneur en or varie suivant la teneur en cuivre et en argent du till. Le niveau de l'or observé dans six échantillons augmente dans le profil

the following textural groups: pristine, modified and reshaped (Fig. 9). Pristine grains are those that have not travelled far or those that have weathered out of unstable host minerals postglacially. Reshaped grains are usually recycled fluvial and far-travelled glacial gold, difficult to trace back to a bedrock source. Striations on grains are strong evidence of glacial transport, and most useful in exploration when found on pristine grains. Corrosion of gold (actually the leaching of silver from a thin rim) is common on gold from weathered till, but the original grain shape and texture are usually still visible, for example, where striae are perforated by corrosion pits.

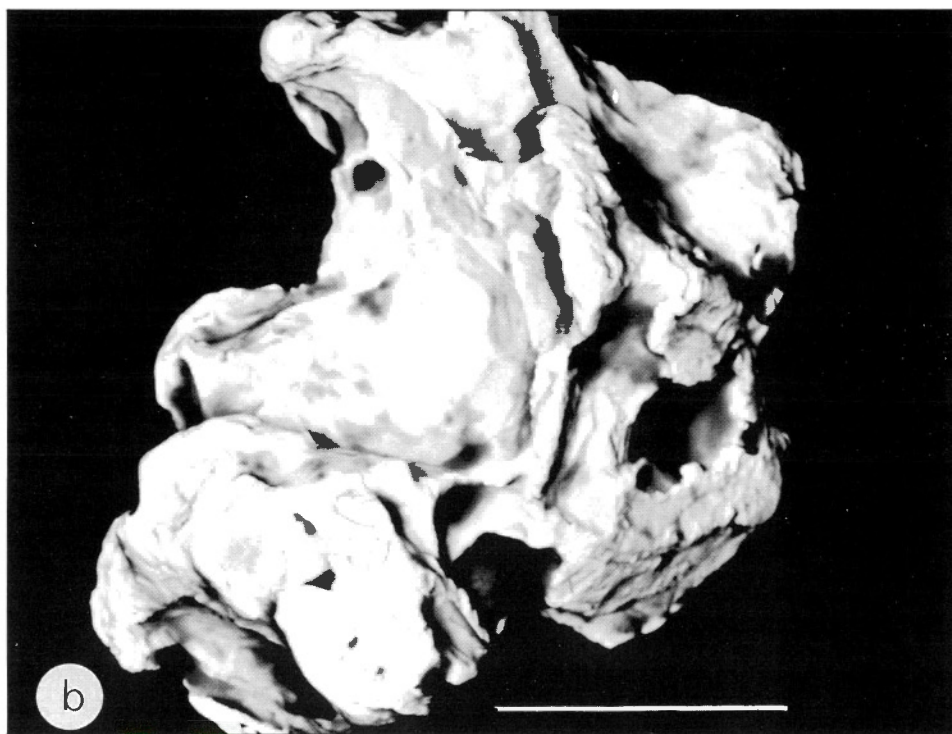
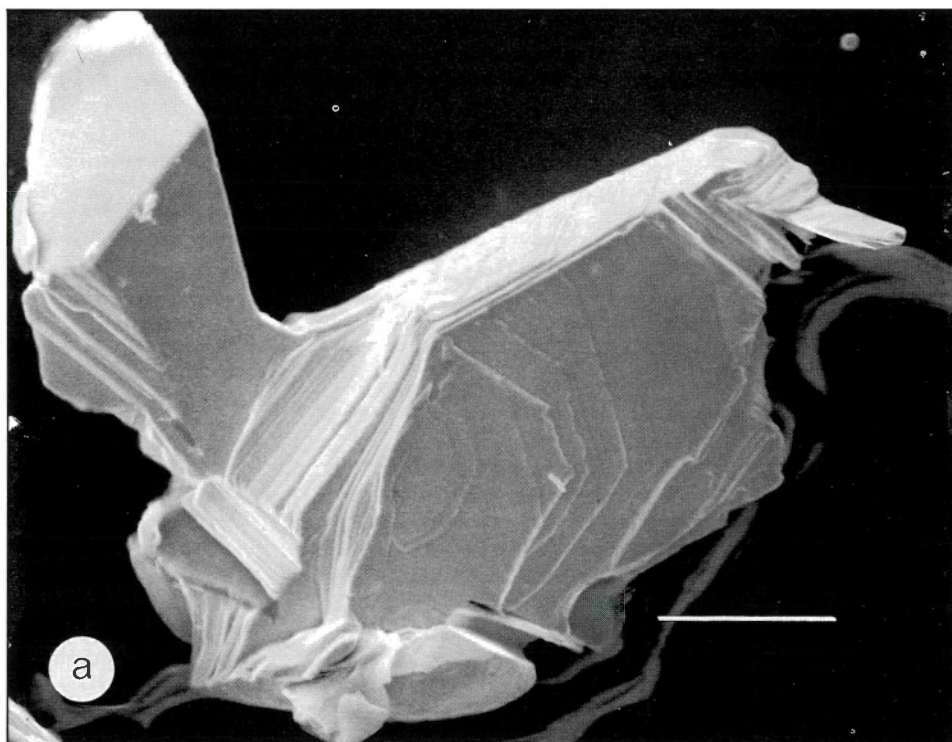
A growing number of Canadian mineral exploration programs include a drift prospecting component. Drift prospecting can share the credit for several major discoveries, including the Strange Lake rare earth-niobium-beryllium deposit in Labrador, the Golden Pond East gold deposit in Quebec, new gold occurrences in north-central Newfoundland and the Waddy Lake gold deposit in Saskatchewan. Discoveries like these have been made easier because of the GSC's long-term commitment to support basic

Figure 9 Scanning electron microscope images of gold grains from till: a: pristine b: modified c: corroded; d: striated.

Figure 9 Images de grains d'or obtenues à l'aide d'un microscope électronique par balayage dans un till : a) naturel b) modifié c) corrodé d) strié.

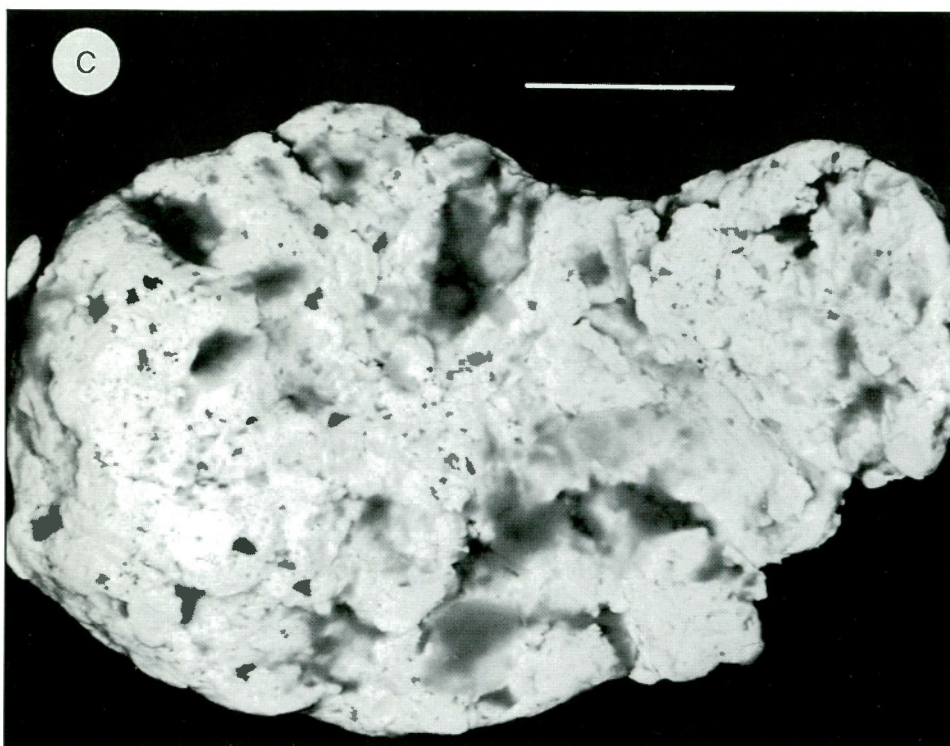
pédologique, et dans la plupart des échantillons, les grains les plus fins sont les plus aurifères. On observe aussi que les échantillons les plus riches en or se présentent sous une forme grossière qui consiste généralement en fragments rocheux provenant des abords immédiats. Si l'on ne considère pas la teneur en or et la profondeur à laquelle se trouvent les échantillons dans le profil pédologique, les graphiques indiquant la teneur en or (fig. 8) présentent à peu près la même figure et montrent un enrichissement en or dans les grains fins. Ce phénomène pourrait s'expliquer par le fait que l'or libéré au cours du processus d'altération des sulfures possède une granulométrie très fine (à l'état natif) ou encore est absorbé par les grains fins.

Les grains d'or transportés par les glaciers gardent généralement des traces de leur évolution glaciaire et post-glaciaire dans leurs formes et dans leurs textures superficielles. Ces traces peuvent aider les géologues à trouver des sources aurifères car elles indiquent la distance relative du déplacement, le recyclage éventuel et les effets de l'altération post-glaciaire.



Des grains de la taille du sable et du silt provenant de tills prélevés dans plusieurs sites d'exploration, ont été classés selon les groupes présentant une texture naturelle, modifiée ou remaniée (fig. 9). Les grains à texture naturelle se sont peu déplacés ou bien ils n'ont été altérés qu'après les glaciations et à partir des minéraux encaissants instables. Les grains à texture modifiée ou remaniée sont habituellement des grains d'or fluvio-recyclés et déplacés sur de longue distance par les glaciers. Il est difficile

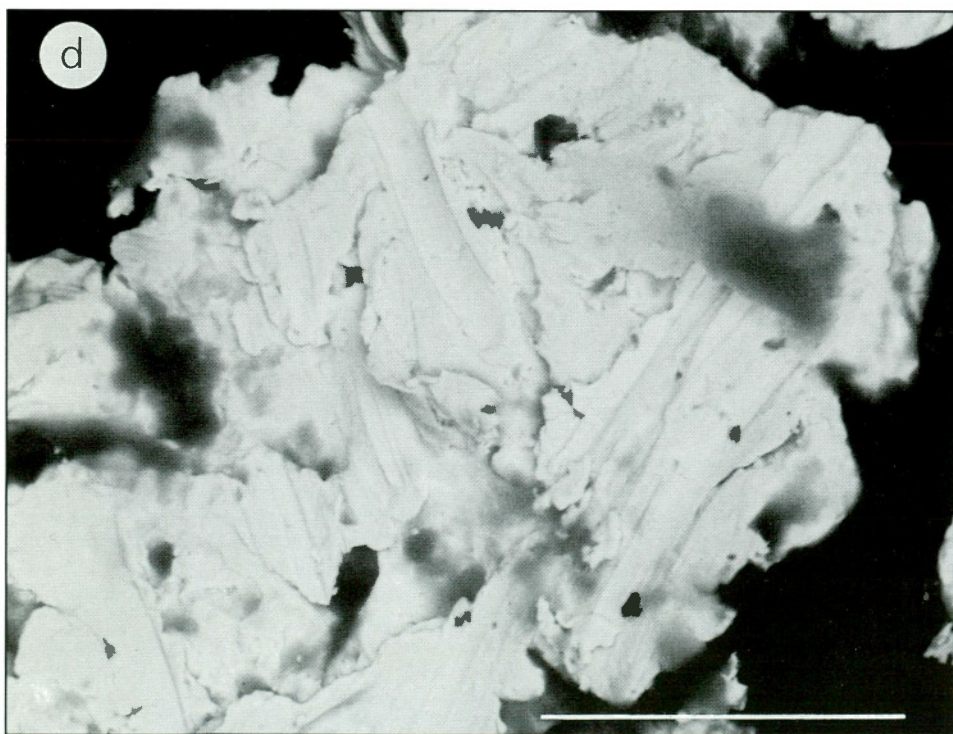
d'en retracer le socle rocheux originel. Les stries sur les grains attestent à l'évidence du transport glaciaire. Elles sont des plus utiles lors des travaux d'exploration lorsqu'on les remarque sur les grains naturels. La corrosion de l'or, plus précisément le lessivage de l'argent à partir d'une mince bordure, est fréquente sur l'or provenant d'un till altéré. Cependant la forme et la texture des grains originaux sont encore visibles. Tel est le cas, par exemple, des stries perforées de cavités de corrosion.



research into all aspects of drift prospecting and to transfer technology to the private sector.

The other significant development in this field has been the slow but steady growth in the number of consultants, contractors, exploration company geologists and provincial government geologists who have adopted many of the methods developed within the GSC and who have shown great willingness to work cooperatively with GSC scientists.

Ron DiLabio is a research scientist in the GSC's Terrain Sciences Division. GSC Contribution No.33089.



au service des gouvernements provinciaux, dont le nombre augmente lentement mais sûrement, ont adopté des méthodes mises au point par la CGC et se sont montrés tout disposés à travailler en collaboration avec les scientifiques de la CGC.

Ron DiLabio est chercheur scientifique au service de la Division des sciences des terrains de la CGC. Contribution CGC n 33089.

Un nombre croissant de programmes canadiens d'exploration minière inscrivent la prospection glacio-sédimentaire à leur démarche scientifique. En effet, la prospection glacio-sédimentaire a contribué à plusieurs grandes découvertes, notamment celles du gisement des terres rares-niobium-béryllium près du lac Strange au Labrador, du gisement aurifère du lac Golden Est (Golden Pond East) au Québec, des nouvelles venues aurifères dans le centre nord de Terre-Neuve

et des gisements aurifères du lac Waddy en Saskatchewan. L'engagement pris par la CGC de soutenir la recherche fondamentale en prospection glacio-sédimentaire en ses différents aspects, et du transfert de technologie vers le secteur privé a certainement favorisé ces découvertes.

Un autre facteur important de ce progrès tient au fait que des experts-conseils, des entrepreneurs, des géologues au service de sociétés d'exploration, et des géologues



1

GSC Photo Contest

The Geological Survey of Canada recently ran a photo contest. Winners were announced in January, following the Forum 1990 Public Lecture. There were three winners in each of two categories.

GSC At Work/ La CGC au travail



2

First Prize / Premier prix

GSC camp, eastern Boothia Peninsula, N.W.T., by Tom Frisch, Continental Geoscience Division

Camp de la CGC, partie est de la presqu'île de Boothia (T.N.-O.), par Tom Frisch, Division de la géologie du continent.

Second Prize / Deuxième prix

Strolling back to camp, Hamilton Peninsula, Ellesmere Island, N.W.T., by Pierre Thériault, summer student at the Institute of Sedimentary and Petroleum Geology

En revenant au camp, péninsule Hamilton, île d'Ellesmere (T.N.-O.), par Pierre Thériault, stagiaire à l'Institut de géologie sédimentaire et pétrolière.



3

Third Prize / Troisième prix

Return to dry land after coring a small palsa, Bluenose Lake, Mackenzie District, N.W.T., by Isabelle McMartin, summer student in the Terrain Sciences Division.

Retour à la terre ferme après avoir prélevé, à l'aide d'une sonde, une petite palse comme échantillon, région du lac Bluenose, District du Mackenzie (T.N.-O.), par Isabelle McMartin, stagiaire à la Division des sciences des terrains.

Concours de photographies organisé par la CGC

La Commission géologique du Canada a organisé récemment un concours de photographies. On a annoncé le nom des gagnants en janvier dernier, à l'issue de la conférence publique de Forum 1990. Il y a eu trois gagnants dans chacune des deux catégories.

Scenic Geology/ La géologie panoramique

First prize / Premier prix

Coastal outcrops along northeast Baffin Island, N.W.T., by Bob Taylor, Atlantic Geoscience Centre

Affleurements côtiers le long de la partie nord-est de l'île de Baffin (T.N.-O.), par Bob Taylor, Centre géoscientifique de l'Atlantique.

Second prize / Deuxième prix

Base Camp at the end of an esker, by Robert Rainbird, Continental Geoscience Division

Camp de base à l'extrémité d'un esker, par Robert Rainbird, Division de la géologie du continent.

Third prize / Troisième prix

Trace fossils in dessicated mud, Ellesmere Island, N.W.T., by Pierre Thériault, summer student at the Institute of Sedimentary and Petroleum Geology

Ichnofossiles dans de la boue séchée, île d'Ellesmere (T.N.-O.), par Pierre Thériault, stagiaire à l'Institut de géologie sédimentaire et pétrolière.



University Taps Subterranean Heat Source

by Tracy Thiessen

One of North America's largest groundwater heat pump systems was officially opened at Carleton University in Ottawa in February.

The sophisticated new system heats and cools nine buildings. It will reduce the

university's \$2.25 million annual energy bill by an estimated \$400 000, or about 20 per cent.

The opening ceremony marked the end of Phase I of the project, which took five years to complete and cost \$2.8 million.



L'université exploite une source thermodynamique souterraine

par Tracy Thiessen

En février dernier, l'Université Carleton inaugurerait l'un des plus gros systèmes de chauffage en Amérique du Nord fonctionnant par pompage de l'eau souterraine.

Ce nouveau système perfectionné assure le chauffage et la climatisation de neuf immeubles de l'Université. Il permettra de réduire d'environ 400 000 \$, soit près de 20 %, les coûts de la consommation annuelle d'énergie qui atteignent 2,25 millions de dollars.

Les cérémonies d'inauguration ont marqué la fin de la première étape du projet. Les travaux, étalés sur cinq ans, ont atteint 2,8 millions de dollars.

Le Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET) d'EMR a engagé plus de 450 000 \$ dans ce projet

réalisé dans le cadre du Programme Énerdémio Canada du Ministère. Le ministère de l'Énergie de l'Ontario a, pour sa part, injecté 150 000 \$ dans le projet, et le ministère des Collèges et Universités, 94 000 \$.

Ce système de chauffage thermodynamique puise l'eau tiède (à environ 9,5 °C) qui s'écoule entre les couches fissurées du socle sédimentaire sur lequel le campus de l'université (fig. 1) est construit. Une série de puits de 120 mètres de profondeur amène cette eau à la surface. La chaleur recueillie est ensuite transférée dans les 60 échangeurs thermiques du système de chauffage de l'université.

Pendant l'été, la climatisation des immeubles s'effectue en inversant le procédé. L'eau des puits passe dans les

EMR's Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET) contributed more than \$450 000 towards this project as part of the department's Enerdémio Program. The Ontario Ministry of Energy provided \$150 000, and the Ontario Ministry of Colleges and Universities provided \$94 000.

The groundwater heat pump system takes advantage of the lukewarm water (about 9.5°C) that flows through the faulted and fractured layers of sedimentary rock located beneath the campus (Fig.1). A series of 120-meter wells bring this water to the surface where its warmth is transferred by passing through 60 heat exchange units into the university's heating system.

In the summer, cooling is achieved by reversing the process. Water from the wells is passed through heat exchange units which remove heat from the air in the buildings. The water is then transferred back to the subsurface aquifer through reinjection wells (Fig.2).

Bryan Beazer, Director of Carleton's Physical Plants Department, estimates that the system will displace more than 3 000 000 m³ of natural gas per year. And to make a good project even better, the system is non-polluting. The university buildings were previously heated and cooled by a combination of electricity and

échangeurs thermiques qui retirent la chaleur de l'air des immeubles. L'eau est ensuite réacheminée vers la formation aquifère au moyen de puits de réinjection (fig. 2).

Selon Bryan Beazer, directeur du Service des installations de l'Université Carleton, le nouveau système permettra de remplacer plus de 3 000 000 m³ de gaz naturel chaque année. Par surcroît, ce système ne pollue pas. Auparavant, la climatisation et le chauffage des immeubles de l'université étaient assurés par un système de chauffage central alimenté au pétrole et au gaz naturel qui produisait à la fois de la vapeur et de l'électricité.

Cinq puits producteurs sont exploités dans le cadre de la première étape du projet. Jusqu'à maintenant, le projet a nécessité l'installation de 6 200 mètres de nouvelle tuyauterie, de 60 échangeurs thermiques, de six thermopompes, de 42 pompes à eau et de sept réservoirs à eau chaude d'une capacité de 5 200 litres chacun. Un système de chauffage et de climatisation de cette taille constitue un défi technique important.

L'Université Carleton prévoit installer ce système de chauffage thermodynamique à l'ensemble des 26 immeubles du campus (fig. 3) au cours des autres étapes du projet exécutées durant les 10 prochaines années. Ce système de chauffage par

steam from a central heating plant fueled by oil and gas.

Phase I of the project uses five production wells. So far, the project has required 6200 meters of new piping, 60 heat exchangers, six heat pumps, 42 water pumps and seven domestic hot water tanks with an average capacity of 5200 litres each. A heating and cooling system of this size is a difficult technical challenge.

Through subsequent phases over the next 10 years, Carleton plans to expand the new groundwater heat pump system to include all 26 of the university buildings (Fig.3). This will distinguish it as the largest groundwater heat pump system in North America. When complete, the university foresees an energy savings of more than \$1 million a year.

Tracy Thiessen is a freelance writer based in Ottawa.

Figure 1 What the Carleton University groundwater project looks like today.

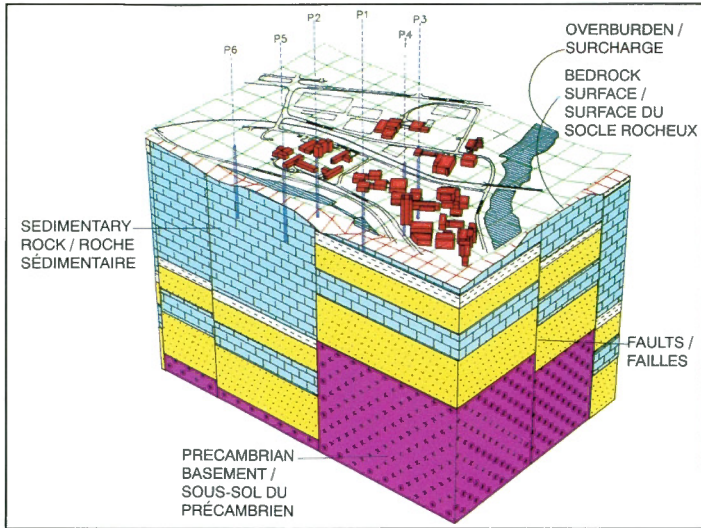


Figure 1 Le système de chauffage par pompage d'eau souterraine de l'Université Carleton, tel qu'il se présente aujourd'hui.

Figure 3 What the groundwater project will look like in the future.

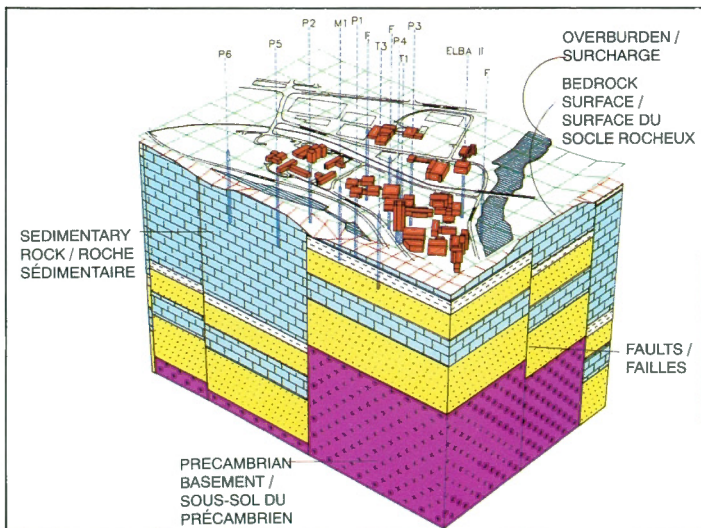


Figure 3 Le projet de pompage d'eau souterraine, tel qu'il se présentera au cours des années à venir.

Le pompage de l'eau souterraine sera alors le plus grand en son genre en Amérique du Nord. Une fois terminé, l'université prévoit réaliser des économies d'énergie représentant plus d'un million de dollars par année.

Tracy Thiessen est rédactrice pigiste à Ottawa.

Figure 2 Carleton University's new heating and cooling system.

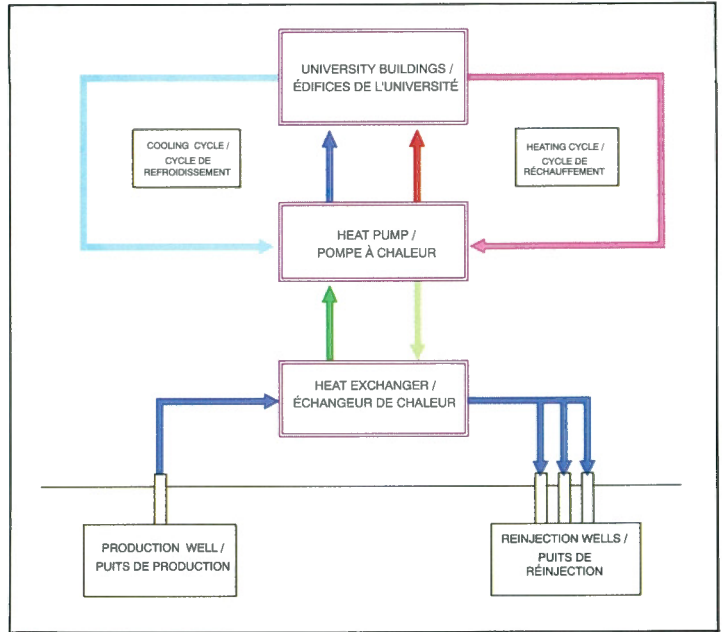


Figure 2 Le nouveau système de chauffage et de climatisation de l'Université Carleton.

Groundwater heating and cooling system at Carleton University in Ottawa.



Système de chauffage et de climatisation par pompage de l'eau souterraine, à l'Université Carleton (Ottawa).

Mysterious Lakes

by Danielle Côté,
Jean-Marie M. Dubois and Hugh Gwyn

**Anticosti Island,
a unique example of
karst topography in
eastern Canada,
has lakes that vary in level
and even disappear**

In eastern Canada, phenomena resulting from the dissolution of rocks are evident in the Canadian Shield, the Appalachians and the St. Lawrence Lowlands. This karst topography, caused by dissolution of limestone, dolomite and gypsum, is characterized by sinkholes, caves and underground drainage.

Karst can be seen in the Bruce Peninsula in Ontario, Anticosti Island in Quebec,

Les lacs mystérieux de l'île d'Anticosti:

par Danielle Côté,
Jean-Marie M. Dubois et Hugh Gwyn

**Un bel exemple de karst
de l'est canadien et
de lacs à niveaux variables**

Le Bouclier canadien, les Appalaches et les Basses-terres du Saint-Laurent sont, dans l'Est du Canada, des régions où prédomine l'érosion chimique des calcaires, des dolomies et des gypses.

On retrouve, en effet, plus particulièrement dans la péninsule de Bruce (Ontario), dans l'île d'Anticosti (Québec), à Grey Brook et Wilson Brook (Nouveau-Brunswick) et à Goose Arm (Terre-Neuve), en plus ou moins grande importance, des karsts ou reliefs calcaires.

Grey Brook and Wilson Brook in New Brunswick and Goose Arm in Newfoundland. All these regions were affected by the last Wisconsinan glaciation and most of the karst areas are of postglacial age.

Limestone outcrops are small and rare in the Canadian Shield compared to all other physiographic regions (Hudson Bay's Paleozoic carbonate platform is an exception to this general statement).

Derek Ford of McMaster University suggests that the relatively rare occurrence of karst forms in the Canadian Shield can be explained by metamorphosis of the rocks, a process which usually reduces the permeability of soluble rock and thus makes development of medium or large-scale karst forms less likely.

Lac Mystérieux on June 15, 1984 and, dried up, on July 3, 1984.



Ces régions ont subi la dernière glaciation wisconsinienne et la plupart des karsts datent de la période postglaciaire.

Cependant, on sait que la fréquence de ces affleurements calcaires se limite

Niveau du lac Mystérieux le 15 juin; asséché le 3 juillet 1984.

au Bouclier canadien. La plate-forme carbonatée du paléozoïque de la région de la baie d'Hudson fait toutefois

In the Appalachian region, modern karst topography is limited to Ordovician limestone and Carboniferous gypsum. Karst is more common there than in the Canadian Shield.

Within the St. Lawrence Lowlands limestone band, karst topography is common, extensive and well developed. While the main Ordovician limestone formations occur on both banks of the St. Lawrence, karst phenomena are much more abundant on the north shore. Some of these large karst forms are found near the contact between the Shield and the Lowlands, where the permeability of the rocks changes.

The karst of Anticosti Island

In 1979, a research program was established on Anticosti Island off the north coast of the Gulf of St. Lawrence. Scientists planned to map the surficial deposits and investigate the Quaternary history of the region, which at the time was at the centre of a debate on the limits of glaciation (see GEOS, Winter 1986).

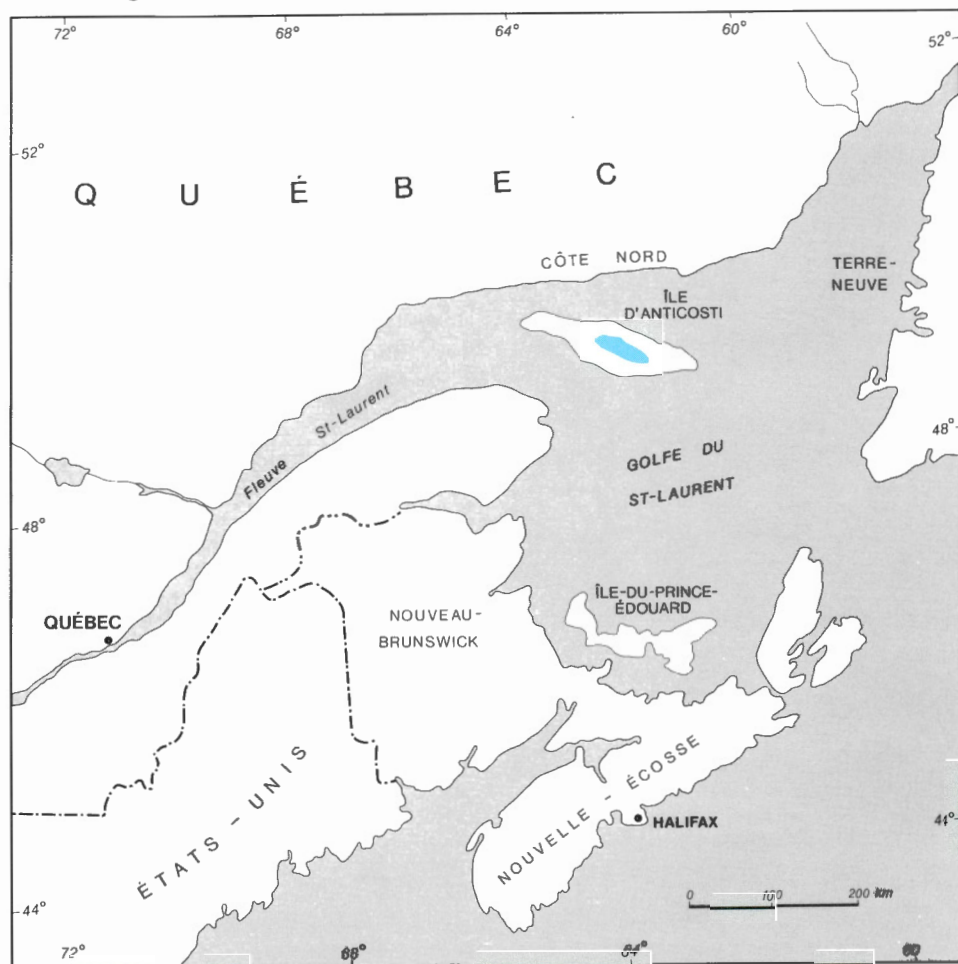
During its work, the research team was struck by the size and number of karst phenomena throughout the island.

Karst-related features have always been a mystery to the local people. Cottages built beside lakes have been left high

and dry when the lakes unaccountably disappeared; trout have dried up on the bottoms of lake basins; and beavers have left an area without understanding why their dams would not hold water. However, open fractures in the rock have been cleverly used as storm sewers along the island's highways.

The karst landscape covers the entire island. Many valleys form canyons as deep as 100 m along the Jupiter River, and 70 m along the Saumons River. Two accessible caves, one with a horizontal entrance, the other with a vertical entrance, let scientists glimpse the underground world. Numerous landforms, such as karren, karst pavement, shafts, dry valleys and sinkholes are found here and there over the whole island. Most of these forms occur in wet, open forest environments, but sinkholes are seen only along lakeshores. They drain some peat bogs and partially or completely empty many of the island's lakes.

The topography owes its development to numerous fractures in the rock oriented mainly N-S and E-W. Limestone dissolution occurs primarily in these zones. The fractures therefore greatly affect the development and distribution of karst



Location of Anticosti Island's karst topography.

Localisation du karst de l'île d'Anticosti.

quaternaire de la région qui faisait alors l'objet d'un débat portant sur les limites glaciaires (cf. GEOS, hiver 1986). L'équipe de recherche a reconnu au fil de ses travaux l'importance des phénomènes karstiques disséminés dans l'île.

Les phénomènes naturels rattachés au karst ont toujours été perçus comme mystérieux par la population locale. Quelle déception, en effet, que de constater du jour au lendemain que le lac au bord duquel on a construit son chalet s'assèche! Bien plus la faune elle-même se fait prendre au jeu de la nature. On a pu voir de belles truites mourir au fond de l'un de ces lacs asséchés et même des castors quitter les lieux étonnés de constater que leur barrage ne retenait plus d'eau. En revanche, les habitants de l'île utilisent astucieusement, le long des routes, les crevasses du relief karstique comme collecteurs des eaux de pluie.

Le paysage karstique couvre tout le territoire de l'île. Les rivières Jupiter et aux Saumons coulent au fond de vallées qui sont de véritables canyons de 70 à 100 m de profondeur. Deux cavernes auxquelles on a accès, dans un cas, par une entrée verticale et, dans l'autre, par une entrée horizontale, font découvrir au spéléologue amateur ou professionnel tout un monde souterrain. Mais il ne faudrait pas oublier non plus de souligner la présence de

exception. La faible représentativité des reliefs karstiques dans cette région s'explique, d'après M. Derek Ford de l'Université McMaster, par le métamorphisme qu'ont subi les roches. Ce phénomène réduit habituellement la perméabilité de la roche soluble ainsi que le potentiel de développement des reliefs karstiques de dimensions variées.

Les karsts modernes de la région des Appalaches ne concernent que les calcaires de l'ordovicien et les gypses du carbonifère. Mais ils y sont plus fréquents que dans le Bouclier canadien.

En revanche, la fréquence des karsts, leur importance et leur développement sont remarquables à l'intérieur de la bande

calcaire des Basses-terres du Saint-Laurent. Même si les principales formations calcaires ordoviciennes s'étendent sur les deux rives du Saint-Laurent, les phénomènes karstiques abondent sur la rive nord. Certains de ces phénomènes se retrouvent dans la région mitoyenne du Bouclier canadien et des Basses-terres du Saint-Laurent où l'on observe un changement dans la perméabilité des roches.

Le paysage karstique de l'île

Un programme de recherche a été mis sur pied dans l'île d'Anticosti en 1979 afin de cartographier les dépôts meubles de l'île et de mieux comprendre l'histoire du

forms, drainage patterns and groundwater circulation.

Anticosti Island, more than 220 km long and 65 km wide, is underlain by Paleozoic fossil-bearing limestone of the eastern part of the St. Lawrence Lowlands geologic province. These carbonate formations are inclined 0.5 to 2° toward the SSW. The topography includes cuestas whose principal scarps face NNE, and a succession of cliffs more than 100 m high. In many places, the bedrock has

Cave at Rivière à la Patate.

undergone substantial physiochemical alteration, with a gradual dislodging of the fossils most resistant to such action. The last glaciation, during the Late Wisconsinan, left a veneer of till, generally less than 1 m thick, covering all of Anticosti Island. These deposits are present in most lake basins. The karst plateau in the island's centre is one of the very few areas never covered by the postglacial Goldthwait Sea.

On Anticosti, spring melt and heavy rainfall have an impressive effect, swelling lakes and turning rivers to torrents. Major

variations in water level indicate a phreatic aquifer, which rises and falls with seasonal low-water and high-water periods.

Our work on Anticosti Island revealed a poorly understood aspect of karst topography — lakes of variable level. Fieldwork and the interpretation of false-colour infrared photographs have enabled us to study the hydrology, hydrochemistry, plant ecology and geomorphology of these lakes. We have been able to establish the dynamics characteristic of each lake from these studies and from a quantitative chemical analysis of the water.



Caverne de la rivière à la Patate.

lapiaz, de pavements karstiques, de puits, de vallées sèches et de dolines que l'on remarque ici et là sur l'ensemble du territoire de l'île. Ces dolines, dépressions fermées ovales ou ciculaires, qu'on découvre en milieux forestiers ouverts et humides, caractérisent toutefois les régions lacustres. Elles assèchent certaines tourbières et vidangent partiellement ou complètement bien des lacs.

Cette morphologie karstique résulte de diaclases, fissures à travers la couche sédimentaire, de dimensions variables et principalement orientées nord-sud et est-ouest. Les calcaires se dissolvent surtout dans ces zones de haute perméabilité. Les diaclases modifient fortement le développement et la répartition de la morphologie karstique et influent sur le réseau hydrographique souterrain.

Les fontes de neige printanières et les pluies importantes haussent, de façon impressionnante, le niveau des lacs et des rivières qui se transforment en torrents. L'augmentation ou la diminution d'un aquifère de type phréatique au rythme des périodes de crue et d'étiage, selon les saisons, est la cause des variations importantes du niveau des eaux.

Un autre aspect encore méconnu de la morphologie karstique de l'île a retenu l'attention de l'équipe de recherche. Il s'agit des lacs à niveau variable. Les travaux accomplis sur le terrain et l'interprétation de photographies à l'infrarouge nous ont permis d'étudier l'hydrologie, l'hydrochimie et la géomorphologie de ces lacs. Ainsi ont été précisées la dynamique propre des lacs, la teneur chimique des eaux et l'écologie végétale de l'île.

La superficie de l'île d'Anticosti est impressionnante: elle s'étale sur 200 km de longueur par 65 km de largeur. Composée de roche calcaire fossilifère paléozoïque, elle relève de la partie est de la province géologique des Basses-terres du Saint-Laurent.

Les formations carbonatées de l'île s'inclinent légèrement de 0,5 à 2° vers le sud-sud-ouest. La topographie présente un relief de cuestas caractérisé par une succession de falaises atteignant plus de 100 m et dont les fronts principaux sont orientés au nord-nord-est. À maints endroits, le substratum rocheux a subi une modification physico-chimique importante qui a progressivement délogé les fossiles les plus résistants. La dernière glaciation, qui date du Wisconsinien supérieur, a laissé sur tout le territoire anticostien des amoncellements de till dont l'épaisseur est généralement inférieure à 1 m. On

The greatest concentration of lakes is on the central plateau. These lakes are usually a few square kilometres in area and about 3 or 4 m deep at their highest level. The bottom of most of them is covered by about 30 cm of reworked till.

The stability of lake levels on the island usually indicates the presence or absence of sinkholes in the basins. These sinkholes, closed circular depressions, average 30 m long, 24 m wide and 1.8 m deep. They result from the widening of intersecting fractures, caused as much by increased water flow and frost shattering as by dissolution.

Open joint in the bottom of a Smith Lake sinkhole.



Diaclase ouverte au fond d'une doline du lac Smith.

retrouve ces amoncellements dans la plupart des bassins lacustres. Seul le plateau karstique du centre de l'île n'a pas été recouvert par la mer postglaciaire de Goldthwait.

La plus grande concentration des lacs se situe sur le plateau central de l'île. Ces lacs présentent une superficie de quelques kilomètres carrés et une profondeur maximale moyenne de 3 à 4 m. Un till remanié d'une trentaine de centimètres d'épaisseur tapisse le fond de la plupart de ces lacs.

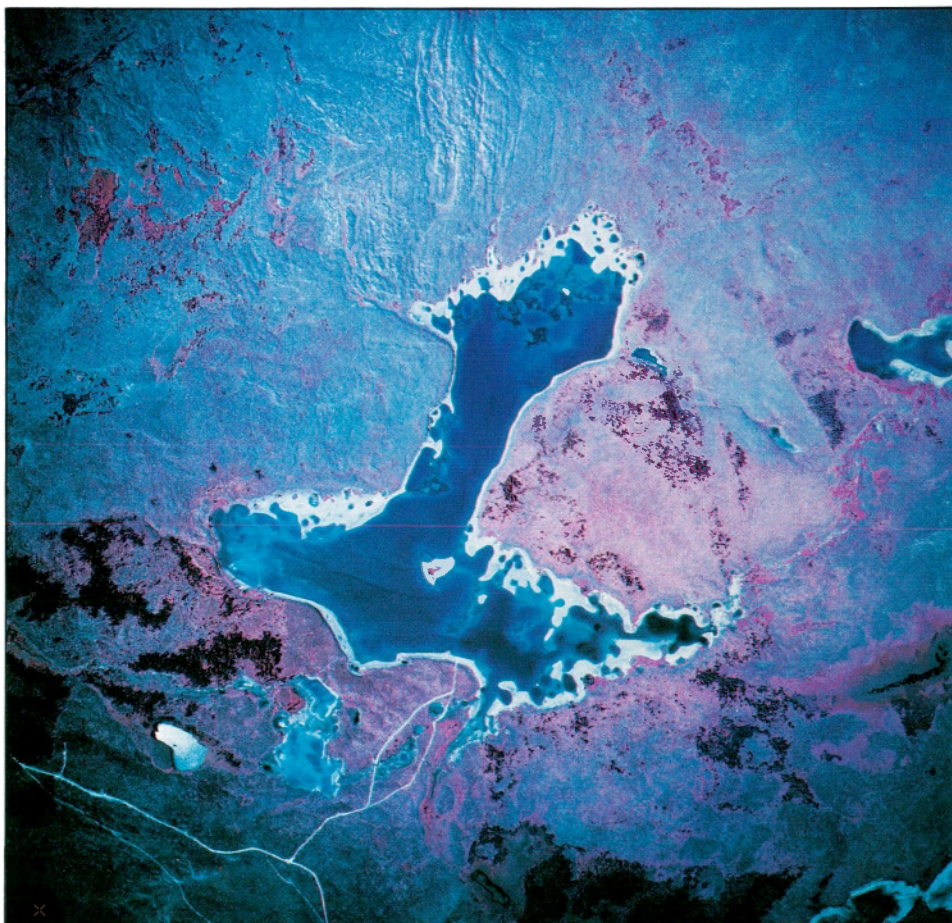
La stabilisation du niveau des eaux lacustres de l'île est l'indice de la présence de dolines de dissolution au fond des lacs. Dépressions fermées de forme ovale ou circulaire, ces dolines ont en moyenne une longueur de 30 m, une

Most lake shorelines are riddled with sinkholes — more than 100 in some cases — that allow water to come and go with the seasons. Some lakes empty completely in less than three weeks, while others drop 3 or 4 m in eight weeks. In general, these lakes are partially or completely drained once a year, between June and September.

In the fall, minor refilling occurs from the more abundant, more frequent rainfall. Winter freeze-up fixes lake levels between December and May. In the spring, snowmelt and rain recharge the aquifer to saturation point. Excess water from

the aquifer overflows into the lakes, periodically raising levels, sometimes even before thawing. Then the lakes reach their maximum level. In summer, spring meltwater gradually ceases to fill the aquifer, and by early July daily lowering of lake levels is double or triple that in June. An average of 7.75 mm of water evaporates from these lakes each day,

Infrared color air photo of Smith Lake, with the ring of sinkholes into which its water disappears. The whitish shoreline represents a drop in level of about a metre, leaving between 1 and 2 m of water.



Photographie aérienne en infrarouge couleur du lac Smith montrant la couronne de dolines par lesquelles il s'écoule. Le rivage blanchâtre représente une baisse de niveau d'eau d'environ un mètre; le lac a encore de 1 à 2 m d'eau.

largeur de 24 m et une profondeur de 1,8 m. Leur morphologie résulte de l'élargissement de diaclases, à leur point de jonction, façonnées par l'augmentation de la vitesse d'écoulement des eaux, la gélifraction et la dissolution rocheuse.

La plupart des rives de ces lacs sont criblées de dolines et certaines en présentent plus d'une centaine. Elles permettent le va-et-vient des eaux. Le niveau de certaines dolines s'abaissent de 7 m en trois semaines alors que d'autres le font de 3 à 4 m en 8 semaines. Ces lacs se vident partiellement ou complètement une fois l'an entre les mois de juin et de septembre. À l'automne, on note une hausse mineure du niveau des eaux en raison des pluies plus abondantes et plus fréquentes. Le gel hivernal fixe le niveau

des lacs entre le 1er décembre et le 1er mai. Au printemps, la fonte des neiges et les pluies augmentent le niveau de l'aquifère jusqu'au point d'engorgement. Les eaux excédentaires débordent alors dans les lacs et en augmentent le niveau parfois même avant que les eaux du lac ne soit dégelées. Les lacs atteignent alors durant cette période leur niveau maximal. Durant l'été, en revanche, les eaux de la fonte printanière ont de moins en moins d'impact sur l'aquifère et donc sur l'alimentation en eau des lacs. Au début de juillet, le taux d'abaissement quotidien du niveau d'eau des lacs double et même

representing about 10 per cent of the drop.

Environmental Effects

Fluctuations in lake water level affect the environment. Landforms develop; shoreline flora changes; and the concentration of calcium carbonate in the water varies.

On lakeshores, seasonal fluctuations cause beach ridges, rafts of sediments or plants, ice-scars and ice-rafted boulders, as well as frost heaves. These forms arise primarily from the environmental characteristics of each lake and secondarily from water-level fluctuations. Thus beach ridges indicate the availability and mobility of material, while frost heaves are evidence of fine water-saturated material and poor plant cover. Not all forms are found in all lakes. For example, beach ridges are not found in lakes which dry up, since plant cover in summer prevents material mobility. However, floating-ice phenomena are found in most lakes. The greatest variety of forms occurs in lakes which vary in level but do not dry up completely.

Annual water-level fluctuations structure plant life in bands parallel to lakes. The bands mark major stages in the lowering

Frost heaves around Smith Lake.

Géeliformes à triage sur les bords du lac Smith.

triple par rapport à celui de juin. La moyenne d'évaporation des eaux est de 7,75 mm par jour soit 10 % de la baisse du niveau des eaux.

Répercussions sur l'environnement

Les fluctuations du niveau d'eau des lacs ont d'évidentes répercussions sur l'environnement. Elles favorisent la formation de dépôts et suscitent des changements de caractéristiques florales des rivages et des variations dans les concentrations en carbonate de calcium des eaux.

L'impact des fluctuations saisonnières sur les rivages lacustres favorise la formation de levées de plage, de radeaux de sédiments ou de végétation, de cicatrices causées par la glace, de traînées de glace et de géeliformes à triage. La diversité de ces formations dépend des caractéristiques environnementales propres à chacun de ces lacs et des fluctuations du niveau des lacs. Les levées de plage sont l'indice de la disponibilité et de la mobilité morphologiques. Les géeliformes à triage fournissent des renseignements sur la présence d'éléments fin gorgé d'eau et sur la pauvreté du tapis végétal. L'ensemble de ces variations morphologiques ne se retrouve pas

of lake levels. Since the length of time plants are under water depends on their position on the shoreline and the shore's slope, the density and variety of species increase with the distance from the lake. As summer progresses, more plants flourish within each band, so flora characteristics peculiar to each band gradually become blurred.

In all the lakes, slope, presence of surficial deposits, drainage, shoreline exposure and so on result in irregular band formation and some remarkable distinctions in the species which characterize them.

In lakes that vary in level but do not dry up, shoreline species are sparse since, among other things, soil is practically nonexistent. For a short time after each

section is exposed, it is free of all vegetation.

In lakes which vary in level and dry up, the contact between bands is much more gradual, so boundaries are less clear. Water levels fall rapidly early in the season, and the period under water is five or six times shorter than for lakes of variable level that do not dry up.

We find the greatest number of plant bands and taxons in lakes that are partially emptied, fewer in lakes that are completely drained and the smallest number in lakes with a constant level.

Calcium carbonate (CaCO_3) is a key element in distinguishing between different sets of lacustrine dynamics. CaCO_3 values indicate whether the water



simultanément dans chacun de ces lacs. Il n'y a pas, par exemple, de levées de plage dans les lacs qui s'assèchent puisqu'ils sont couverts en été d'un tapis végétal qui empêche toute mobilité morphologique. On observe, en revanche, dans tous les lacs le phénomène des glaces flottantes. La plus grande diversité morphologique se rencontre toutefois dans les lacs à niveau variable sans assèchement.

Les fluctuations annuelles des plans d'eau font en sorte que la végétation se déploie en bandes parallèles aux rivages des lacs. Chacune de ces bandes marque les grandes étapes de l'abaissement du niveau des lacs. Le développement de la végétation aquatique sur la rive du lac et l'inclinaison du rivage favorisent la densité et la diversité des espèces florales qui prolifèrent depuis le lac jusqu'à la forêt. Au cours de l'été, la représentativité des taxons augmente à l'intérieur des bandes en sorte que les caractéristiques florales de chaque bande s'estompent progressivement.

L'inclinaison et l'angle d'exposition solaire des rivages lacustres de même que la présence de dépôts meubles et le drainage modèlent irrégulièrement les bandes et en modifient les espèces florales.

Tout autour des lacs à niveau variable sans assèchement, la densité des espèces riveraines est relativement faible puisque le sol est pratiquement inexistant. La végétation n'envahit que lentement les secteurs riverains récemment émergés. En revanche, au bord des lacs à niveau variable avec assèchement, on note que le contact entre les bandes se fait progressivement. Les délimitations en sont donc moins évidentes. Ce phénomène s'explique par une baisse rapide du niveau des eaux en début de saison et par un séjour sous l'eau des bandes de 5 à 6 fois plus bref que dans le cas des lacs à niveau variable sans assèchement. On constate un développement plus abondant des bandes végétales et des taxons dans les lacs à vidange partielle que dans les lacs à vidange complète et à niveau constant.

has been underground, how long it has been underground and whether it has been partially or completely replenished. Maximum CaCO_3 values are characteristic of lakes which are partially refilled in the fall and completely refilled in the spring.

This semi-annual renewal of the water maintains carbon dioxide concentrations at high levels and promotes greater dissolution of the limestone. In the lakes which refill partially in the fall and spring, the CaCO_3 content is lower, since it is a mixture of groundwater and lake water.

The drainage system of the lakes is evolving in the main zone of karst extension, on the plateau. The regularity and density of the fractures, the low hydraulic gradient and the semi-annual replenishment of lake water are factors

that favor pronounced limestone dissolution and thus the currently active extension of karst topography.

Danielle Côté, a researcher with the Recreation Council of the Eastern Townships, specializes in karst geomorphology. Jean-Marie M. Dubois and Hugh Gwyn are full professors in the University of Sherbrooke's Department of Geography and Remote Sensing. M. Dubois specializes in Quaternary and shoreline geomorphology and in remote sensing; Mr. Gwyn, a geologist, specializes in the Quaternary and remote sensing.



Beach ridge, showing that the water was stable for a time.

Levée de plage qui montre que le niveau d'eau a été stable pendant un certain temps.

La teneur en carbonate de calcium (CaCO_3) est l'élément clé qui permet d'identifier les différentes dynamiques lacustres. Car elle est l'indice du séjour et de la durée du séjour des eaux sous terre, de même que du renouvellement partiel ou complet des eaux. La teneur maximale caractérise les lacs à recharge partielle à l'automne et complète au printemps. Ce renouvellement biannuel des eaux a pour effet de maintenir élevées les concentrations de carbonate de calcium des eaux et de permettre une dissolution accrue des calcaires. Dans les lacs à recharge au cours de l'automne et du printemps, la teneur est plus faible car elle résulte du mélange des eaux souterraines et des eaux lacustres.

La modification du système de drainage des lacs a lieu dans la principale zone d'expansion du karst que forme le plateau. La régularité et la densité des diaclases, le gradient hydraulique faible et le renouvellement biannuel des eaux lacustres sont autant de facteurs qui

favorisent une dissolution marquée des calcaires et par conséquent l'expansion du karst.

Danielle Côté, professionnelle de recherche au Conseil des loisirs de l'Estrie, est spécialisée en géomorphologie karstique. Jean-Marie M. Dubois, professeur titulaire au Département de géographie et de télédétection de l'Université de Sherbrooke, est spécialisé en géomorphologie du quaternaire et du littoral, ainsi qu'en télédétection. Hugh Gwyn, professeur titulaire au Département de géographie et de télédétection de l'Université de Sherbrooke, est géologue spécialisé dans le Quaternaire et en télédétection.

RESORS	
DATE RECEIVED	OCT 3 1990
DATE CHECKED	OCT 3 1990
DATE INDEXED	FEB -6 1991

Energy, Mines and Resources Canada explores Canada's landmass, conducts research and development and pursues policies and programs to ensure that our energy and mineral resources are developed and extracted in ways that are safe, efficient and, above all, respectful of the environment.

Énergie, Mines et Ressources Canada explore la masse continentale du Canada, dirige des travaux de recherche et de développement et poursuit des politiques et des programmes visant à assurer l'emploi de méthodes de mise en valeur et d'extraction sûres, efficaces et, par-dessus tout, qui respectent l'environnement.
