

1059307

# GEOS

RESORS

Vol. 16 No. 2 Spring/Vol. 16, n° 2 Printemps 1987

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







**A quarterly about the earth's  
resources**

**Publication trimestrielle sur les  
ressources de la Terre**

Vol. 16 No. 2 Spring 1987  
Vol. 16, n° 2 Printemps 1987

GEOS is published quarterly by  
Energy, Mines and Resources Canada  
Minister, The Hon. Marcel Masse  
Minister of State for Forestry and Mines,  
The Hon. Gerald Merrithew  
Deputy Minister, Arthur Kroeger

GEOS est une publication trimestrielle  
d'Énergie, Mines et Ressources Canada  
L'hon. Marcel Masse, ministre  
L'hon. Gerald Merrithew,  
ministre d'État aux Forêts et aux Mines  
M. Arthur Kroeger, 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

**Associate Editor  
Rédacteur associé**  
Attilio Barcados

**Assistant Editors  
Rédactrices adjointes**  
Annie Beaudoin  
Val Donnelly

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

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

Indexed in the Canadian Periodical  
Index

GEOS est distribué gratuitement sur  
demande. Si vous désirez recevoir le  
texte d'un article dans l'autre langue  
officielle, veuillez écrire au: Centre de  
diffusion, GEOS, Énergie, Mines et Res-  
sources, 580, rue Booth, OTTAWA  
(Ontario) K1A 0E4.

Cité dans l'Index des périodiques  
canadiens

**ISSN 0374-3268**



Energy, Mines and  
Resources Canada

Énergie, Mines et  
Ressources Canada

#### Contents/Sommaire

- 1 Rock and Roll in the N.W.T.  
The 1985 Nahanni Earthquakes  
by R.B. Horner, M. Lamontagne and R.J. Wetmiller, GSC
- 5 Comment CANMET s'est débarrassé du coke  
par Jean M. Denis, Keith Bel'inko et Michel Perreault, CANMET
- 9 Plants: Living Weather Stations  
by Sylvia Edlund, GSC
- 14 La technologie spatiale : un transfert réussi *1059307*  
par Doug Heyland, CCT
- 18 Catastrophic Outburst Floods  
by John Clague, GSC
- 22 Le recyclage des boues d'usine d'épuration des eaux usées à des fins de fertilisation  
forestière par Yvon Grenier et Denis Couillard, INRS—Québec

Cover: Alpine arnica, possible bioclimatic indicator "Plants: Living Weather Stations" p.9

Couverture : Arnica alpine, indicateur bioclimatique possible « Plants: Living Weather Stations », p.9

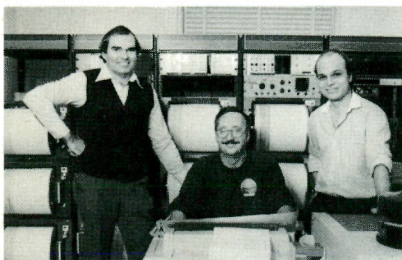
# Rock and Roll in the N.W.T.

## The 1985 Nahanni Earthquakes

by R.B. Horner, M. Lamontagne and R.J. Wetmiller

A remarkable and unprecedented sequence of earthquakes is shaking the mountains west of Fort Simpson in the Northwest Territories. A magnitude 6.6 earthquake on October 5, 1985, and an even larger magnitude 6.9 event on December 23, 1985 disturbed the beautiful and mysterious Nahanni region of the Mackenzie Mountains. Between these earthquakes, and still continuing today, a long succession of aftershocks rumble and jolt the area.

The earthquake sequence amazed both the general public and the earth science community. People in the Northwest Territories, the Yukon, Alberta, Saskatchewan, British Columbia and southeastern Alaska



Robert B. Horner (centre), a seismologist at GSC's Cordilleran and Pacific Margin Division, is an expert in earthquake activity in the Yukon Territory. He is stationed at the Pacific Geoscience Centre in Sydney, B.C. and is primarily responsible for earthquake monitoring in B.C.

The Nahanni Range of Canada's Northwest Territories, formed 60 million years ago in the Laramide Orogeny, still shows the effects of that long-past upheaval in extensive thrust faulting and folding. The North Nahanni River cuts through the mountain ranges from west to east.

*Situé dans les T.N.-O., le chaînon Nahanni a été formé il y a 60 millions d'années lors de l'orogénèse laramienne. Il renferme encore les traces du lointain processus de soulèvement en une formation de failles et de plissements. La rivière Nahanni-Nord traverse la chaîne de montagnes de l'ouest à l'est.*

were startled by the vibrations. Local radio stations, newspapers and police departments were swamped with callers asking for details of the tremor. Seismologists were astonished by the size of the events. All across Canada their seismographs recorded strong ground motions.

and the Yukon. He has a degree in Geophysics from the University of Manitoba.

Maurice Lamontagne (right) is a seismologist with GSC's Geophysics Division in Ottawa. Since earning an M.Sc. from the University of Western Ontario in 1985, he has been involved in earthquake field surveys in Ontario, Quebec, New Brunswick and the Northwest Territories.

Robert J. Wetmiller (left) has been part of the federal government's earthquake monitoring program for the last 15 years. A seismologist with the GSC's Geophysics Division in Ottawa, he has degrees in geophysics from the universities of Manitoba and British Columbia.

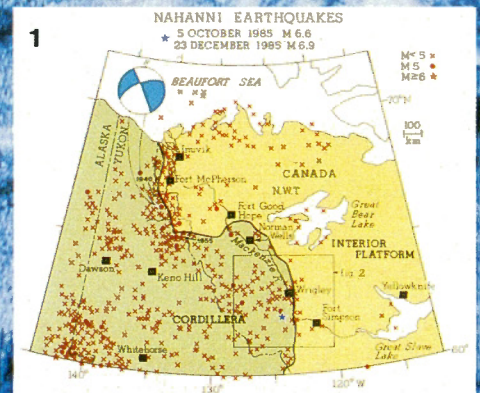


Figure 1 Earthquake activity in the northeast Canadian Cordillera has been widespread but not intense. The largest events occurred in 1944 and 1955 in the more northern Richardson Mountains. In the Mackenzie Mountains, earthquake activity had been subdued until the Nahanni events.

*L'activité sismique dans le nord-est de la Cordillère canadienne s'est fait sentir sur de grandes étendues, mais n'a pas été intense. Les secousses les plus fortes se sont produites en 1944 et 1955 dans les chaînons Richardson, situés plus au nord. Dans les monts Mackenzie, l'activité sismique était faible comparativement aux séismes de Nahanni.*

Earth scientists were surprised not only by the magnitude of these earthquakes but also by their locations. Earthquakes up to magnitude 6.5 have occurred farther north in the Richardson Mountains, but in the Mackenzie Mountains no events larger than magnitude 5 have been reported. However, little is known about the earthquake history of Canada's north; only recently have scientists been able to detect and locate small-magnitude earthquakes in the Far North (Figs. 1, 2). Prior to October 1985 the Nahanni Range was thought to be a relatively quiet earthquake zone.

The Nahanni earthquakes gave earth scientists a unique opportunity to examine two important aspects of earthquake seismology. First, earth scientists can study the effects of intense ground motion on buildings and on natural environments — a knowledge of building dynamics could help us design structures that would better withstand major shocks. Second, the study of major earthquakes gives us more information for earthquake

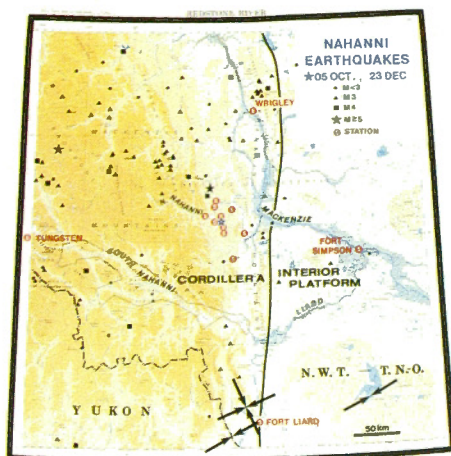


Figure 2 Earthquake activity in the Mackenzie Mountains. The largest events before the Nahanni earthquakes were only magnitude 5. Activity has been spread out and shows no linear trends that would suggest active fault systems. Map indicates the locations of temporary seismograph stations set up to study the Nahanni earthquakes' aftershocks.

Activité sismique dans les monts Mackenzie. Les plus fortes secousses enregistrées avant celles de Nahanni n'atteignaient qu'une magnitude 5. L'activité s'est étendue à de grandes régions et ne présente aucune tendance linéaire qui pourrait confirmer l'existence d'un système actif de failles. La carte montre les emplacements temporaires des stations de sismographes qui servent à enregistrer les répliques sismiques des tremblements de terre de Nahanni.

risk analysis: where, how, and how often such events can occur. A greater understanding of earthquake processes would tell us how to improve the National Building Code of Canada, to make Canadian buildings safer.

Before October 1985, most people in the N.W.T had never felt an earthquake. The first tremor came as a complete surprise. Because no community is closer than 100 km to the epicentres, no major structural damage was reported. Nevertheless, the earthquakes caused widespread alarm, particularly in Wrigley, Fort Simpson, Nahanni Butte and Fort Liard, the four communities closest to the epicentre.

At Wrigley, about 115 km north of the epicentre, residents reported seeing the ground roll. Vehicles bounced on the road and trees and power lines whipped back and forth. Sections of the banks of the Mackenzie River slumped into the water. Inside homes, furniture moved, dishes fell from cupboards, unsupported shelves toppled over, liquids slopped out of containers, doors swung open and shut and walls flexed in and out. One resident was asleep until a lamp fell on his head. Several people felt dizzy. This violent activity was accompanied by rumbling and thunderous sounds that lasted for about 30 seconds.

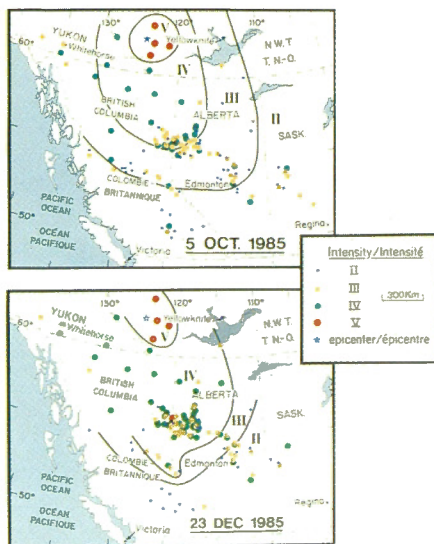
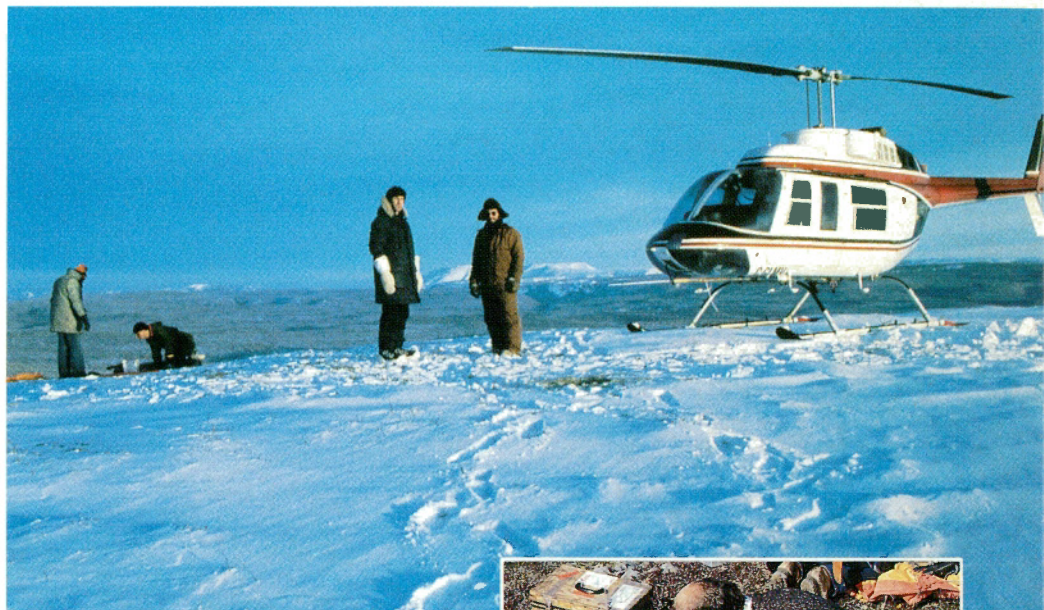


Figure 3 Areas where the two main shocks were felt. Strength of ground shaking is rated according to the Modified Mercalli Intensity Scale: I for barely noticeable to XII for complete destruction.

Régions où on a senti les deux secousses principales. La violence des secousses est donnée au moyen de l'échelle modifiée de Mercalli depuis le degré I — pour une intensité à peine perceptible à l'homme, mais enregistrable par les appareils — au degré XII — pour une intensité qui entraîne la destruction totale des œuvres humaines et des bouleversements de la morphologie du terrain.

Figure 4 Field crew at seismograph site in January. From left, R.J. Wetmiller, M. Lamontagne and D. Monsees of the GSC, and J. Phillips, Lakeland Helicopters pilot.

Équipe de travail à un emplacement de sismographes en janvier. De gauche à droite: MM. R. J. Wetmiller, M. Lamontagne, D. Monsees de la CGC et M. J. Phillips, pilote de l'hélicoptère Lakeland.



People reported feeling the October earthquake more than 1500 km away. The isoseismal map shows that intensities did not fall off uniformly (Fig. 3). Intensity IV was reported to at least 1000 km southeast of the epicentre but only to about 500 km to the west. At Yellowknife, 500 km east, the intensity was only III. At Inuvik, about 800 km to the north, no one reported feeling the earthquake. The significant elongation of intensity in the northwest-southeast direction along the strike of the Cordillera has been observed for other earthquakes in western Canada. The larger December earthquake had a similar intensity distribution but the area in which they were felt was slightly greater and included reports of ground movement in the northwestern United States.

The lack of serious damage can be attributed to sparse population in the epicentral region as well to the type of



Figure 5 M. Lamontagne calibrating digital seismograph during Nahanni field work.

M. Lamontagne, en expédition au chaînon Nahanni, règle un sismographe numérique.

buildings there. Most are one- or two-storey, wood-frame or log structures. These prove most resilient to earthquakes because they can bend and flex without damage.

To discover more about the causes and effects of the main shocks, earth scien-



Figure 6 Rock avalanche, triggered by the October 5 Nahanni earthquake, is one of the largest ever to have occurred in Canada and the first known to have been caused by an earthquake.

Un des plus imposants éboulements survenus au Canada et le premier provoqué par un tremblement de terre : il est attribuable au séisme de Nahanni survenu le 5 octobre 1985.

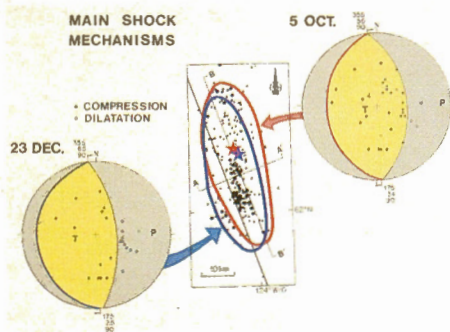


Figure 7 Fault-plane solutions for the two main shocks. The 'beach-balls' shows an equal-area plot of the lower focal sphere of the two possible fault planes that satisfy the event's polarity, compression or dilatation, recorded at all the seismograph stations. The two solutions are almost identical, and indicate that both main earthquakes were thrust type. The strike and dip of the west-dipping plane is almost identical to that of the area's major thrust faults (the Iverson or Nahanni faults). However, the dip of the west-dipping plane for the December event is shallower than that for October.

Plans de failles probables de deux secousses principales. Les diagrammes représentent un tracé d'une région, à la même échelle, de la partie inférieure des deux plans de failles qui confirme la polarité, la compression ou la dilatation de la secousse, enregistrée à toutes les stations de sismographes. Ces deux dispositions probables sont pratiquement identiques et montrent que les deux principaux tremblements de terre ont été provoqués par une poussée. L'orientation et l'inclinaison du plan d'inclinaison ouest sont presque identiques à celles des principales plis-failles de cette zone (les failles Iverson et Nahanni). Cependant, l'inclinaison magnétique du plan ouest de la secousse de décembre est moins prononcée que celle du plan de la secousse d'octobre.

tists conducted field experiments immediately after the two events. GSC seismologists and technicians from the Pacific Geoscience Centre in Sydney, B.C. and from the Geophysics Division in Ottawa and Yellowknife conducted surveys following both main shocks (Fig. 4).

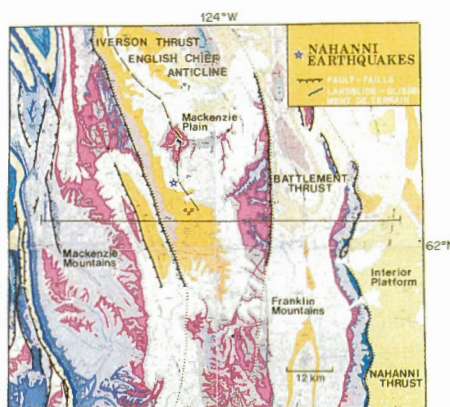


Figure 8 Geology of the Nahanni earthquake epicentral area. The earthquakes occurred in the Mackenzie Plain, a relatively undeformed plateau between the Nahanni Range and the Mackenzie Mountains. Paleozoic and Proterozoic carbonate and clastic sedimentary rocks at least 8 to 10 km deep are underlain by the Canadian Shield. The area was extensively faulted and folded in the Laramide Orogeny and the Iverson, Battlement and Nahanni thrust faults were created at that time.

Géologie de l'épicentre sismique de Nahanni. Les séismes se sont produits dans la plaine de Mackenzie, un plateau qui n'est presque pas déformé et est situé entre le chaînon Nahanni et les monts Mackenzie. Des carbonates et des roches détritiques, datant du Paléozoïque et du Protérozoïque, recouvrent le Bouclier canadien; elles se trouvent à une profondeur de 8 à 10 km. Cette zone a été très faillée et plissée lors de l'orogénèse laramienne; c'est à cette époque que les plis-failles de Iverson, de Battlement et de Nahanni se sont formés.

Helicopters from Fort Simpson deployed portable seismographs in the epicentral region. Each survey lasted about a week. The long distance from Fort Simpson and severe field conditions, with temperatures of  $-40^{\circ}\text{C}$  and very little daylight in January, limited to five or six the number of recording sites the scientists could maintain (Fig. 5). The seismographs clarified the location of the major shocks and the field surveys allowed scientists to

observe the effects of intense ground shaking.

The earthquakes occurred in a north-south elongated zone about 50 km long and 15 km wide. The two main shocks were centred near the middle of the zone and are separated by only a few kilometres. The events define a wedge dipping to the west.

In the central area, scientists discovered evidence of the strong ground motion associated with large earthquakes. Although no surface break was found, large landslides and rockfalls were observed. The biggest slide, a rock avalanche, was triggered by the October earthquake. The avalanche left a 70-metre vertical scarp (Fig. 6) — mute testimony to the huge volume of rock displaced. An estimated 5 to 7 million cubic metres of rocks crashed 1.6 km down from the crest to the toe of the slide.

Using data from Canadian and worldwide seismological networks, EMR seismologists defined the focal mechanisms of the earthquakes. The two large shocks each have two possible fault planes (Fig. 7). Both possible fault planes are striking nearly north-south; one dips shallowly to the west and the other dips more steeply to the east. By comparing this information with geological maps of the area, seismologists have deduced that the west-dipping plane represents the fault plane. The major faults of the area are of Laramide age and were created when the Mackenzie Mountains formed. The earthquakes probably occurred along a fault plane parallel to the region's major structural trend. It is puzzling that the earthquakes did not occur on faults mapped at the surface, but the existence of a hidden fault which does not reach the surface can not be ruled out.

An analysis of where the numerous aftershocks occurred emphasizes the similarity between the main shock mechanisms and the major faults of the region (Fig. 8). The temporary network of portable stations recorded many aftershocks. From these records, seismologists located 288 aftershocks, most smaller than magnitude 3.5, that happened in October 1985, and January 1986 (Fig. 9).

Perhaps the most important data recovered from the Nahanni earthquakes are three strong-motion accelerograph records for the December 23 shock. The instru-

Camsell Bend on the Mackenzie River where the river enters the Mackenzie Mountains and turns north toward the Beaufort Sea. The Nahanni earthquakes occurred about 50 km west of the bend.

Boucle de Camsell sur la rivière Mackenzie, là où la rivière pénètre dans les monts Mackenzie et tourne au nord vers la mer de Beaufort. Les séismes de Nahanni sont survenus à environ 50 km à l'ouest de cet endroit.

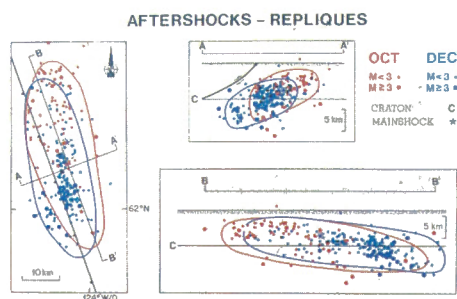


Figure 9 Distribution of aftershocks to the October event are shown in red, and to the December event shown in blue. Aftershock zones are similar in thrust faults and penetrate through the sedimentary column into Shield rocks. The December aftershocks appear deeper on average and are shifted a few kilometres west of the October aftershocks.

La répartition des répliques sismiques de la secousse d'octobre est indiquée en rouge, et celle de la secousse de décembre en bleu. Les zones des répliques sont identiques dans les plis-failles et traversent la colonne sédimentaire pour pénétrer dans les roches du Bouclier. En moyenne, les répliques de décembre semblent plus profondes et se déplacent de quelques kilomètres à l'ouest des répliques d'octobre.

ments that recorded these data were left deployed in the epicentral area following the October event in the hope that they would register strong aftershocks in the subsequent months. These recorders have a trigger mechanism that activates them when there is a strong event.

When the December shock struck, the instruments gave scientists a remarkable record of the event. Two of the three records are shown in Figure 10; the upper record (a set of three traces) shows ground accelerations more than twice the acceleration due to gravity. This is the strongest earthquake-induced acceleration ever recorded anywhere. Engineers and scientists are now pondering the implications of these records and will be using them in the future to improve the safety of important facilities throughout North America.

From our studies of how the large-magnitude Nahanni earthquakes have affected the northeastern Cordillera, we expect that future large earthquakes in the Mackenzie Mountains will be thrust-type events with shallow crustal depth and extensive aftershock zones. We will



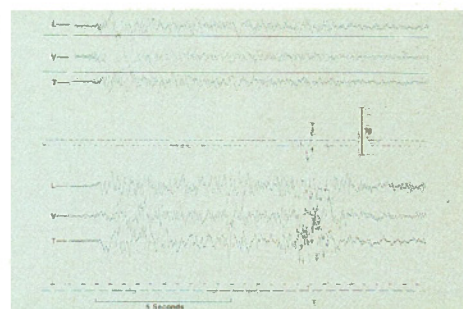
Figure 10 Strong-motion accelerograms for two of three sites recorded for the December shock. The upper three traces represent a three-component ground motion display during the event at a site approximately 8 km north and west of the epicentre. The event consists of about 10 seconds of strong ground motion with an extreme peak of motion late in the trace which contains vertical acceleration in excess of 2 g. The actual peak exceeded the range of this particular instrument and has been estimated from the state of the trace before and after the peak. The lower set of three traces shows another record of the same event at a site about 8 to 10 km north of the epicentre. Here the accelerations did not exceed about 30% g.

Accélérogrammes montrant la puissance de la secousse de décembre enregistrée à deux des trois sites. Les trois tracés supérieurs représentent le schéma du mouvement du sol en trois composantes lors d'une secousse à un emplacement situé à environ 8 km au nord et à l'ouest de l'épicentre. La secousse a consisté en un mouvement puissant du sol d'environ 10 s; le mouvement a atteint son point maximal en fin de trace avec une accélération en raison de la gravité de plus de 2 g. Le pic maximal a dépassé le champ d'enregistrement de l'instrument et a été évalué d'après l'état de la trace avant et après la secousse. Les trois traces du bas montrent un autre enregistrement de la même secousse survenu à environ 8 à 10 km au nord de l'épicentre. Les accélérations n'ont pas dépassé ici 0,3 g.

anticipate surface faulting, although none was found in this case.

Information obtained by studying the Nahanni earthquakes will have a profound effect on the future design of critical structures such as dams and pipelines in the Northwest Territories. The possible association of the Nahanni earthquakes with faults of Laramide age implies that similar earthquakes can occur anywhere along the margin of the Canadian Cordillera, where such faults lie.

A more accurate and comprehensive seismic zoning map of Canada will emerge from the study of these large shocks. In the long run, we will know better how to protect people from seismic hazard.

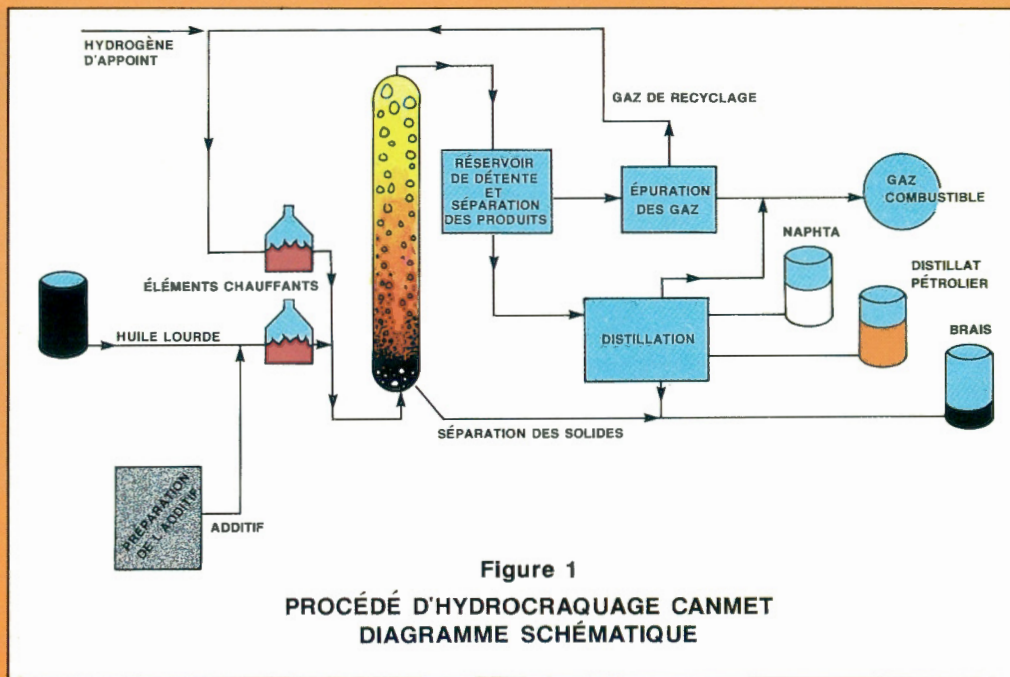


La région de Nahanni, dans les monts Mackenzie, située à l'ouest de Fort Simpson (T.N.-O.), est l'objet d'une série incroyable de séismes. Cette région a subi deux secousses principales en octobre et en décembre 1985, ce qui a déclenché une longue succession de répliques qui se prolonge encore aujourd'hui.

Les scientifiques ont été étonnés par le fait que cette zone ait été touchée par l'ampleur de ces séismes. Le public a également été surpris du fait que les secousses se produisent dans un endroit aussi tranquille. Les chercheurs de la Commission géologique du Canada (CGC) ont étudié les deux secousses principales. Des sismographes portatifs ont enregistré le mouvement au sol et situé les épicentres.

Les séismes de Nahanni représentent une occasion exceptionnelle pour les scientifiques d'étudier les effets des tremblements de terre de grande magnitude, phénomène rare dans le Nord-Est de la Cordillère. L'étude entreprise a pour but de compléter la carte des zones sismiques du Canada et de minimiser les risques découlant des séismes pour la population.

On peut obtenir cet article en français.



# Comment CANMET s'est débarrassé du coke

À Montréal, une usine pilote produisant 5 000 barils par jour met à l'épreuve le procédé d'hydrocraquage

Jean M. Denis, Keith Belinko et Michel Perreault

La récente mise en service de l'usine de démonstration du Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET) d'Énergie, Mines et Ressources Canada, à la raffinerie de Petro-Canada, à Montréal, est une magnifique réalisation pour CANMET, Petro-Canada et Partec Lavalin inc. Cette usine possède une capacité de production de 5 000 barils par jour. Nos experts ont uni leurs efforts pendant une dizaine d'années afin de mettre au point un nouveau procédé de valorisation du bitume, du pétrole lourd et des résidus de raffinage.

Ce procédé revêt une grande importance pour le Canada. En effet, les réserves de sables bitumineux et de pétrole lourd de notre pays comptent parmi les plus importantes au monde. Dans le cas de l'Alberta et de la Saskatchewan seulement, on évalue ces réserves à plus de 1 000 milliards de barils, dont 150 milliards seraient déjà récupérables avec les moyens classiques. Ces

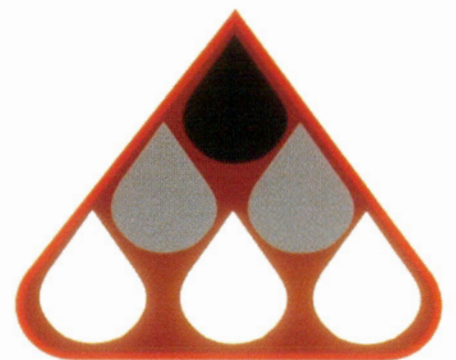
pétroles bruts lourds deviendront une importante source de carburant pour nos véhicules et de combustible pour chauffer nos maisons à mesure que nos réserves canadiennes de pétrole léger classique s'épuiseront.

Toutefois, ces pétroles doivent être traités avant même qu'on puisse les raffiner; leur viscosité est élevée et ils contiennent de nombreuses impuretés, tels que des métaux et du soufre. Au cours des années 70, des scientifiques des Laboratoires de recherche sur l'énergie (LRE) d'EMR, à Ottawa, cherchaient des moyens innovateurs de traiter le bitume et le pétrole lourd afin de synthétiser le pétrole brut léger, lequel pourrait alimenter des raffineries classiques.

À l'époque, les techniques de préraffinage, également appelées techniques de valorisation, gaspillaient une grande partie des matières premières. En effet, les divers pro-

Figure 1 Diagramme du procédé d'hydrocraquage de CANMET représentant l'écoulement de pétrole lourd, des additifs et de l'hydrogène à l'intérieur du réacteur pour la production de pétrole brut léger. Une matière résiduelle est produite lors du procédé, mais ne représente que 15 % du produit final de la réaction.

Schematic diagram of the CANMET Hydrocracking Process showing the flow of heavy crude, additive and hydrogen into the reactor and the production of light crude. A residual pitch, produced in the process, represents less than 15 per cent of the feed.



céds de cokéfaction, notamment par rejet du carbone, convertissaient une importante fraction du pétrole en un sous-produit solide: le coke. Les quantités de liquide que l'on cherchait à produire étaient relativement faibles. Par exemple, il n'était pas rare que l'on produise de 200 à 250 t de coke en préraffinant 1 000 t de bitume! Le procédé, dont on se servait à l'époque, don-



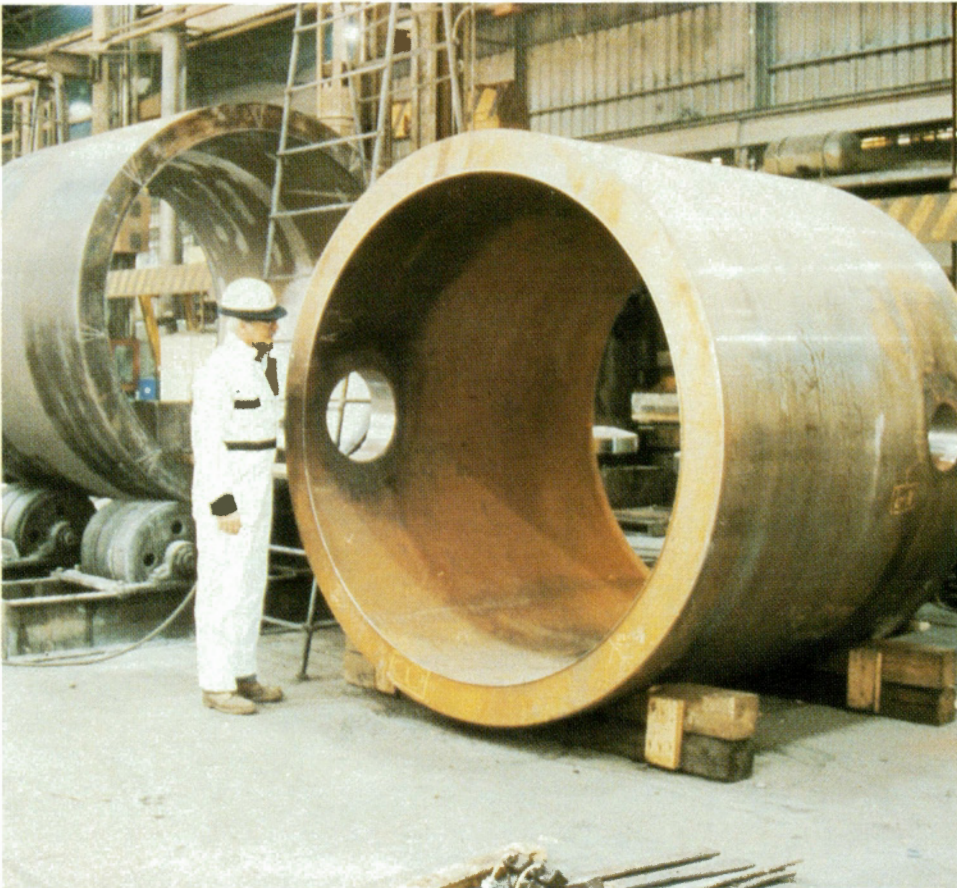


Figure 2 La fabrication des récipients sous pression à parois épaisses exige une technologie qui n'était pas disponible au Canada auparavant. Les lingots ont été achetés en Suède et forgés à l'intérieur des formes par la compagnie Hawker-Siddely, en Nouvelle-Écosse. Les sections des lingots ont été assemblées dans un récipient par la compagnie Versatile Vickers.

Making the high pressure vessels required technology which had not been previously available in Canada. Ingots, purchased in Sweden, were forged into cans by Hawker-Siddely of Nova Scotia. Versatile Vickers welded the sections into one vessel.

nait lieu à de grandes pertes. Près du quart des sables bitumineux de grande valeur, que nous avons extraits pour en récupérer le bitume, s'est transformé en morceaux de coke plutôt qu'en pétrole liquide.

CANMET visait à mettre au point un procédé grâce auquel on pourrait valoriser suffisamment de bitume ou de pétrole lourd sans générer de grandes quantités de résidus. La découverte d'un additif peu coûteux, en 1976, capable d'empêcher la formation du coke au cours de l'hydrocraquage des boues de pétroles bruts lourds, a permis l'élaboration d'une technique connue sous le nom de procédé d'hydrocraquage de CANMET. L'avantage de ce procédé est qu'il produit beaucoup plus de distillats que les méthodes de cokéfaction

classiques tout en éliminant la production de coke.

La figure 1 représente un schéma de fonctionnement simplifié du procédé. La charge d'alimentation, contenant une faible concentration d'additifs, est chauffée et mise en présence d'hydrogène dans un réacteur chargé par le bas. Dans ce réacteur, on pratique par craquage une conversion en fractionnant des composants lourds en distillats légers. Le degré de conversion est fonction de variables comme la température et la durée d'exposition de la charge. Par la suite, le produit, qui sort par le haut du réacteur, est séparé en gaz, en distillats et en brai (un résidu pâteux). La charge ne passe normalement qu'une seule fois dans le réacteur bien qu'il soit possible de recycler le brai.

Manifestement, la clé de la réussite du projet a été la découverte de l'additif de CANMET qui empêche la formation de dépôts de coke dans le réacteur. Contrairement aux catalyseurs, dont on se sert généralement en hydrocraquage, cet additif est bon marché et n'est pas soumis à la désactivation. En outre, il contribue nettement à retirer par affinité les métaux contenus dans la charge d'alimentation.

Le Procédé d'hydrocraquage de CANMET a été mis à l'essai dans des usines pilotes des Laboratoires de recherche sur l'énergie qui ne produisent qu'un baril par jour. Durant les essais, qui ont duré 50 000 h, on



Figure 3 En décembre 1984, le réacteur de CANMET était mis en place à la raffinerie de Petro-Canada, à Montréal.

The CANMET reactor was lifted into position at Petro-Canada's Montreal Refinery in December 1984.



Figure 4 L'installation de la section du réacteur est complétée.

Reactor section fully installed.

a évalué le rendement obtenu avec des charges d'alimentation de pétrole provenant de diverses régions du monde, dont le Canada, la Venezuela et le Moyen-Orient. L'expérience a démontré que le procédé d'hydrocraquage de CANMET rend possible l'utilisation de charges d'alimentation importantes, même à haute teneur en métaux, comme le brut vénézuélien Boscan.

En octobre 1979, Petro-Canada a obtenu le droit exclusif de mettre au point et de commercialiser le procédé d'hydrocraquage. À la suite d'une évaluation technico-économique exhaustive, elle a décidé de construire une usine de démonstration, d'une capacité de 5 000 barils par jour, à sa raffinerie de Montréal. L'usine a été entièrement intégrée à la raffinerie, permettant ainsi un usage maximal de la machinerie, des services existants, comme l'approvisionnement en électricité et en hydrogène, ainsi que des installations d'entreposage du produit. À l'étape de la planification, on a pris soin de s'assurer que la raffinerie puisse fonctionner indépendamment de l'usine de démonstration, de façon à ce que la première ne souffre pas des temps d'arrêt de la seconde pendant qu'on procéderait aux modifications de

l'équipement indispensables à l'optimisation du procédé.

Nous avons fait appel à Partec Lavalin Inc., les grands spécialistes canadiens en génie, pour la conception et la construction de l'usine; en outre, nous avons invité les diverses entreprises canadiennes à fabriquer l'équipement nécessaire. Par exemple, pour la fabrication des récipients sous pression à parois épaisses, nous avons encouragé la société Versatile Vickers à se procurer de l'équipement ultra-moderne non disponible au Canada, c'est-à-dire des soudeuses automatiques en continu de bandes de revêtement, des soudeuses à faible écartement et de l'équipement de contrôle et d'inspection perfectionné.

La construction de l'usine de démonstration a été terminée dans les délais prévus, soit en juillet 1985. L'usine, qui est située sur un terrain de 120 m sur 105 m, abrite la section de la réaction, l'atelier de préparation de l'additif, les machines de fractionnement et les installations de manutention du brai. Pour la charge d'alimentation, on utilise essentiellement un résidu sous vide d'un pétrole brut que

reçoit la raffinerie via le pipeline interprovincial.

L'usine est dotée d'une instrumentation complète, ce qui rend possible un suivi extrêmement précis du rendement opérationnel du réacteur. C'est ainsi qu'on a installé, à différents endroits sur le réacteur, des densimètres (détecteurs de rayons gamma perfectionnés) afin de pouvoir observer par ces « fenêtres » l'hydrodynamique du système. De tels instruments nous procurent des données fort utiles pour une éventuelle application du procédé à une plus grande échelle dans des usines commerciales. Par ailleurs, EMR a conclu avec des universités canadiennes des ententes de collaboration dans des domaines techniques et liés à l'ingénierie. EMR joue donc un rôle crucial en perfectionnant une technique qui présente manifestement de grandes possibilités d'applications industrielles.

L'usine de démonstration a été mise en opération au cours de l'automne et de l'hiver 1985. À cette étape, on a constaté que le procédé de production de l'additif était trop complexe sous certains aspects; il fallait donc le simplifier pour le rendre rentable. En modifiant le procédé, les



Figure 5 Vue d'ensemble de l'usine de démonstration. Au premier plan : la section de récupération du produit.

View of demonstration plant. Product recovery section in foreground.

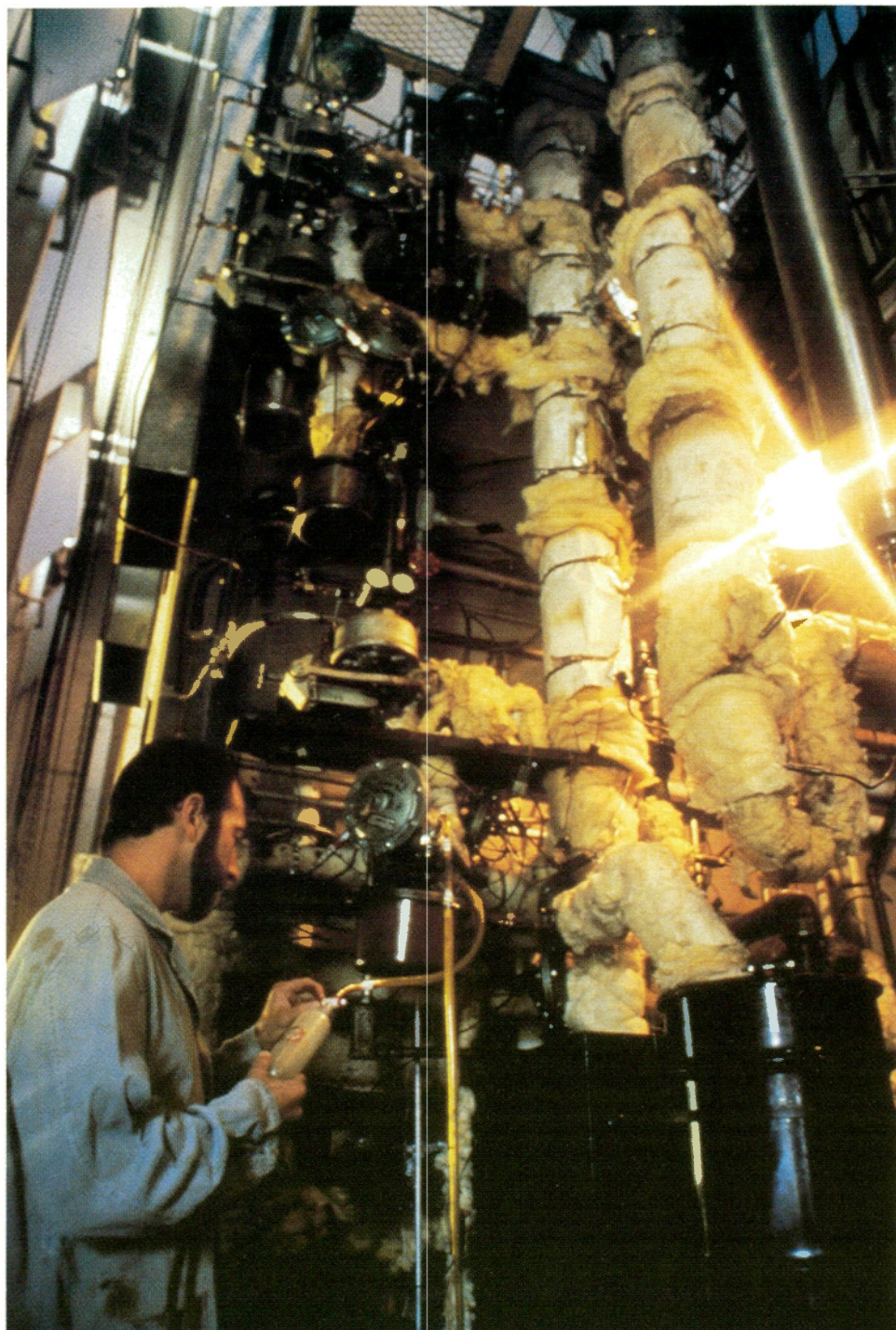


Figure 6 Réacteur de l'usine pilote aux Laboratoires de recherche sur l'énergie de CANMET, à Bells Corners près d'Ottawa. Le procédé a été développé au moyen de cette usine pilote qui ne produit qu'un baril par jour.

Pilot plant reactor at CANMET's Energy Research Laboratories in Bells Corners near Ottawa. The process was developed using this one barrel-per-day unit.

As domestic reserves of conventional crude oil decline, Canada will rely more on nonconventional sources such as bitumen and heavy oil. These oils must be upgraded to synthetic fuels before they can be processed in existing refineries.

CANMET's hydrocracking process is an emerging new technology for upgrading bitumen and heavy oils. The process, developed at EMR in the late 1970s, was the result of an intensive effort to more efficiently use our energy resources. Petro-Canada has been granted exclusive rights to commercialize the process and,

résultats des essais du nouvel additif se sont révélés très encourageants. En effet, au cours de la première expérience du procédé d'hydrocraquage de CANMET, en avril 1986, le réacteur a fait preuve d'une remarquable stabilité opérationnelle, sans donner le moindre signe d'instabilité thermique. On a ainsi obtenu un taux de conversion de la charge de distillats qui s'est élevé à 80 %. En outre, on n'a observé aucun signe de corrosion ou de contraintes mécaniques.

Dans le contexte mondial actuel, où la surproduction des bruts classiques est combinée à une baisse des prix du pétrole, l'intérêt que l'industrie canadienne porte à la valorisation du bitume et du pétrole lourd s'est temporairement estompé. Néanmoins, Petro-Canada est convaincue plus que jamais de l'intérêt du procédé d'hydrocraquage de CANMET; elle poursuit avec dynamisme ses travaux de démonstration et de commercialisation. Pour sa part, le gouvernement fédéral s'est rendu compte qu'ils s'agissait là d'une occasion unique pour le Canada de s'imposer comme spécialiste du traitement du bitume et du pétrole lourd et, conséquemment, d'assurer pour des générations l'autosuffisance énergétique des Canadiens.

Jean M. Denis, gérant du Laboratoire de recherche sur les combustibles synthétiques. Présentement, le Laboratoire développe le nouveau procédé d'hydrocraquage de CANMET pour raffiner le bitume, les huiles lourdes et les résidus de la raffinerie. M. Denis est l'auteur de plus de 70 rapports publiés et détient sept brevets d'invention.

M. Keith Belinko est un chercheur scientifique dans le Laboratoire de recherche sur l'énergie à CANMET. Il est l'auteur de plusieurs articles scientifiques et détient quatre brevets d'invention sur le procédé d'hydrocraquage CANMET.

M. Michel Perreault occupe le poste de directeur des opérations de l'usine de démonstration de CANMET. Il est responsable de l'intégration de l'usine de démonstration de CANMET dans la raffinerie et de ses diverses structures parallèles.

jointly with Partec Lavalin, has built a 5000 barrels-per-day demonstration plant in its Montreal refinery. The plant has been running since late 1985.

The Canadian oil industry has traditionally been an importer of high-technology refining processes. Development of the CANMET hydrocracking process has strengthened Canadian engineering capability and has encouraged our manufacturing sector to acquire technology and techniques for making specialty equipment previously unavailable in Canada.

This article is also available in English.

# Plants: Living Weather Stations

by S.A. Edlund



*A gravelly terrace on northern Amund Ringnes Island with sparse clumps of purple saxifrage, one of the champions of cold tolerance*

*Terrasse caillouteuse au nord de l'île Amund Ringnes avec quelques bouquets clairsemés de saxifrage pourpre, la plante la plus résistante au froid*

Short, compact, ground-hugging plants and a complete absence of trees tell us that the Canadian Arctic is cold. But these plants can tell us much, much more . . .

We are all curious about the weather, wherever we travel. In inhabited parts of the world we can simply ask the local residents to describe the climate. But how do we satisfy our curiosity about the weather in the vast uninhabited stretches of the Canadian Arctic? Even there the locals, in this case the flowering plants, can tell us about the climate if we understand their language.

The complete absence of trees in the north tells us that the climate is cold. So does the abundance of short, compact, ground-hugging plants. But these plants can tell us more. Because they cannot withstand winter's desiccating winds and ice crystal abrasion, their height rarely exceeds snow depth. So they indicate the presence and, in some places, the depth of snow. The presence, robustness, height, density and even the conspicuous absence of some flowering plants and plant associations tell us much about summer climate, the melt season and the short two- to three-month growing season. Even at these high latitudes temperature varies considerably; July means range from 1° to 10°C. This variation has a noticeable effect on the vegetation.

Sylvia Edlund has been with EMR's Geological Survey of Canada since 1974. She is now part of the newly formed Quaternary Environments Subdivision, where she continues her studies of the relationships of plant communities and surficial materials. She began integrating the influence of climate into her work in the early 1980s when her regional mapping showed major changes in vegetation that were not geologically controlled. She received her Ph.D. in botany from the University of Chicago in 1970.



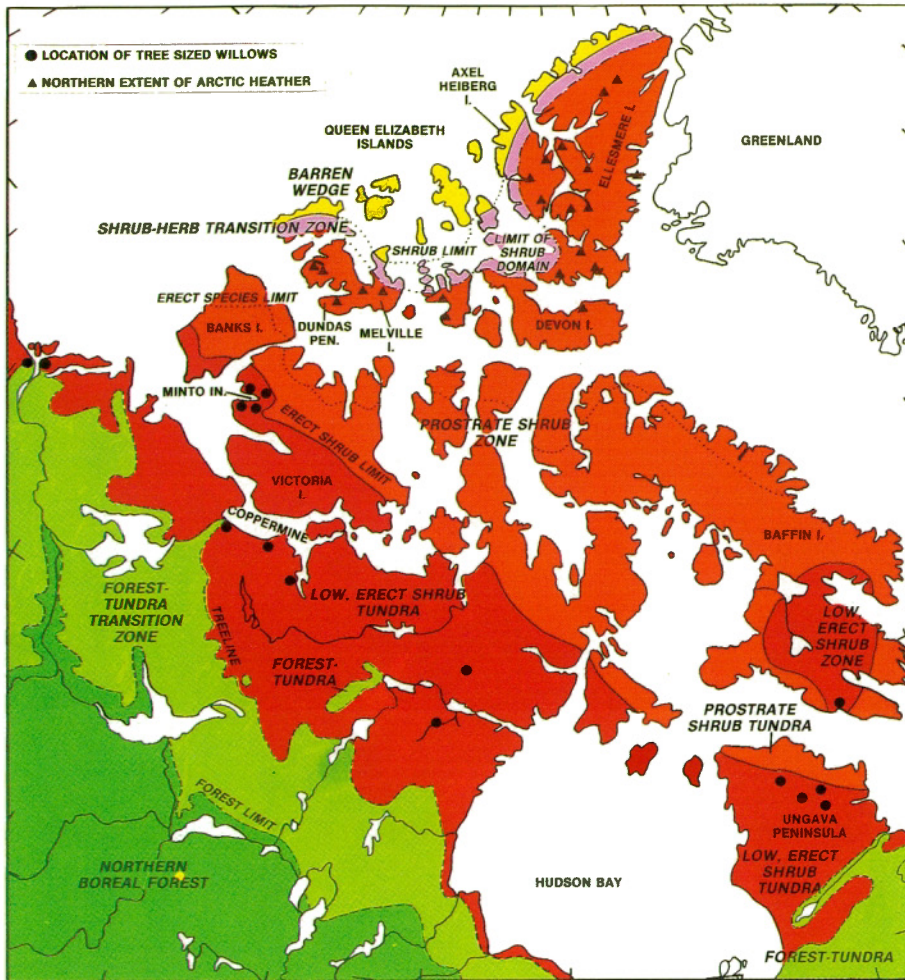


Figure 1 Major vegetation patterns of northern Canada, showing the limits of growth forms of dominant woody plants

Répartition géographique des principales espèces végétales dans le Nord du Canada. Cette figure présente les limites de croissance des espèces ligneuses dominantes.

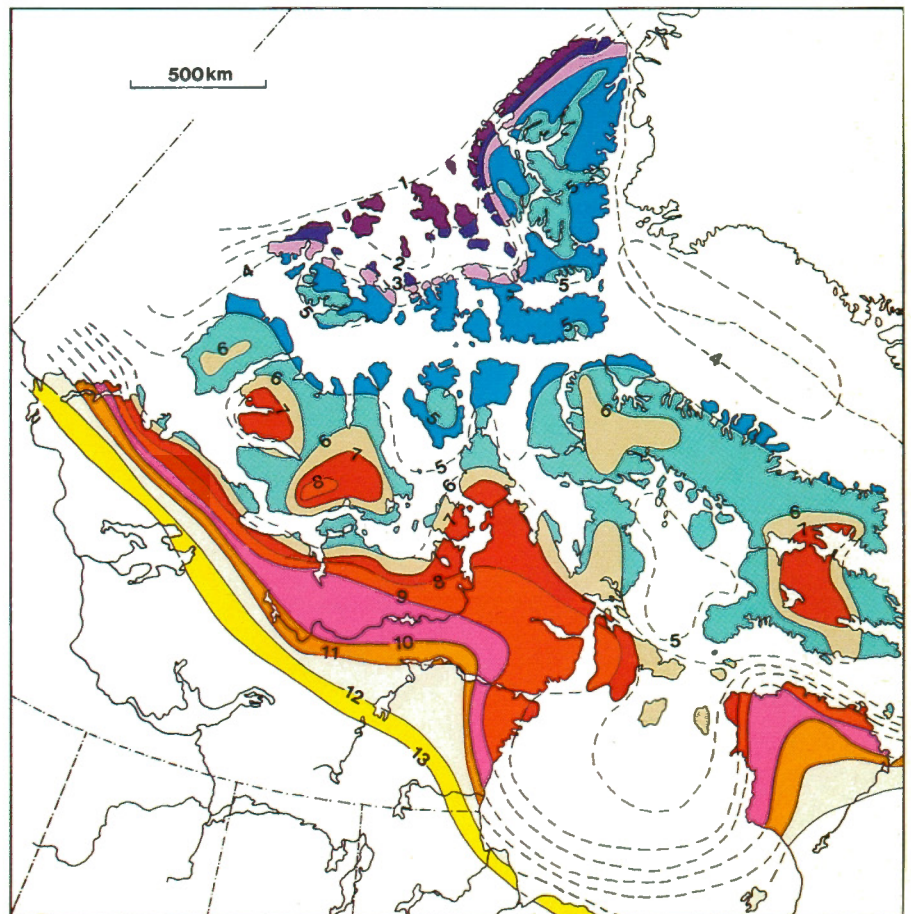


Figure 2 Mean July temperatures in northern Canada

Température moyenne du mois de juillet enregistrée dans le Nord du Canada



Figure 3 Treeline near the Coppermine River. Note dense thickets of low, erect willow and birch (photo: D.A. St-Onge)

Limite forestière près de la rivière Coppermine. À signaler : les fourrés épais de saules et de bouleaux de basse futaie (photo : M. D. A. St-Onge)

Figure 4a J.C. Fyles beside a tree-sized felt leaf willow thicket near Minto Inlet, Victoria Island, close to the northern limit of the tree form (photo: J.-S. Vincent)

M. J. C. Fyles près d'un fourré de saules à feuilles feutrées (de la taille d'un arbre) aux alentours de la formation de Minto Inlet, dans l'île Victoria, à proximité de la limite nord de sa forme arbustive (photo : M. J.-S. Vincent)



Figure 4b J.-S. Vincent beside a low, erect felt leaf willow thicket on western Victoria Island

M. J.-S. Vincent près d'un fourré de saules à feuilles feutrées de basse futaie dans la partie ouest de l'île Victoria

Figure 4c Felt leaf willow at its northern limit on Banks Island has a severely dwarfed growth form

Saules à feuilles feutrées à sa limite nord du saule, rabougri, dans l'île Banks

a



b



c

My work and that of my GSC colleague Dr. Bea Alt, a climatologist, demonstrates striking similarities between regional vegetation and climate patterns. This tenuous link encourages us to begin interpreting regional summer climate from the vegetation.

The diversity, density and, in a few cases, maximum height of some plant species decline as mean July temperatures decline. But neither the vegetation nor the climate follow a simple, linear, latitudinal progression (Figs. 1, 2). Topography, origins of air masses, proximity to open water or sea ice and distance inland all influence the thermal regimes and create a complex pattern.

The influence of climate on plants, particularly the coldness of summer, is better understood in the boreal forest ecosystem, immediately to the south, than it is in the Arctic itself. Treeline, the northerly limit of evergreen tree growth (Fig. 3), is a well known bioclimatic marker which corresponds roughly to the 10°C mean July isotherm. Farther south, the northern limit of continuous boreal forest roughly coincides with both the 13°C mean July isotherm and the summer mean position of the Arctic front, the southern edge of the major air mass originating in the Arctic.

Until recently no bioclimatic indicators were known for the Arctic. Now, however, my studies suggest that regional vegetation patterns are indicators as useful as the treeline farther south.

Deciduous woody species capable of attaining small tree size, 2 to 8 m high, include willows, alder, birch and poplar. Usually limited to the region around the evergreen treeline, they occur locally as



Figure 5a A profusion of mastidon flower, 60 to 80 cm high at the dump, Baker Lake, N.W.T.

Profusion de séneçons des marais, au lac Baker (T.N.-O.); elles atteignent de 60 à 80 cm de hauteur près de la décharge.

Figure 5b Mastidon flower near its northern limit on Dundas Peninsula, Melville Island

Séneçon des marais près de sa limite nord dans la péninsule Dundas, île Melville

much as 250 km farther north (Fig. 4a). Their presence in tree form indicates mean July temperatures above 9°C. The most striking example is the felt leaf willow (*Salix alaxensis*) at Minto Inlet, which, at 3 to 6 m tall, holds the record for height at high latitudes. In areas with slightly cooler mean July temperatures, 7° to 8°C, this same willow no longer grows as a tree but forms low thickets a half to one metre high (Fig. 4b). Where mean July temperatures remain below 7°C, this and other willow species capable of erect growth appear in a dwarfed form about 10 cm high (Fig. 4c). An absence of these species indicates mean July temperatures below 5° to 6°C.

Another common Arctic shrub, the genetically dwarfed arctic willow (*Salix arctica*), can also be used as a rough bioclimatic indicator. Its branches hug the ground throughout its range from the treeline to its northern limit, which occurs at approximately the 3°C mean July isotherm. In regions with mean July temperatures above 5° to 6°C the arctic willow has a sturdy, sprawling branch system, a metre in diameter in some places. At cooler temperatures the species tends to form a dense cushion.

Other woody plant species are also promising bioclimatic indicators. Some low, thicket-forming shrubs, such as bayberry, soap berry, wild rose and common Labrador tea, rarely occur beyond tree-line, and their presence indicates mean July temperatures of at least 9° to 10°C. The presence of dwarf birch suggests mean July temperatures of at least 7°C.

The heath family, common on acidic soils of the Canadian Shield, includes numerous species that could eventually become recognized as bioclimatic indicators. Northern Labrador tea (*Ledum decumbens*) and Lapland rosebay (*Rhododendron lapponicum*) extend beyond treeline

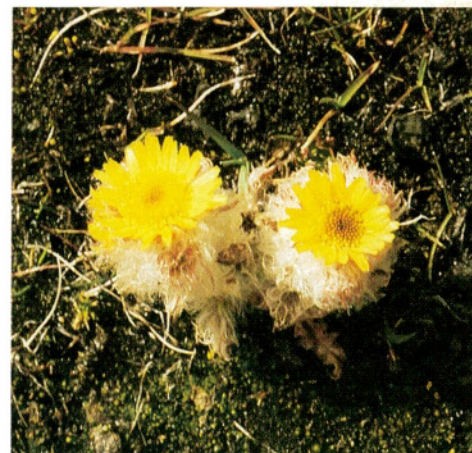
but do not occur in the regions where temperatures are below 6° to 7°C. Arctic white heather (*Cassiope tetragona*) lives the farthest north of any heath species, but not in regions with mean July temperatures below 5°C. Northern blueberry (*Vaccinium uliginosum*) does not survive in regions where July means are below 6°C.

Herbaceous (non-woody) flowering plants, particularly those that almost exclusively colonize disturbed terrain, may become some of the most dramatic, but ephemeral, bioclimatic indicators. For example, common fireweed (*Epilobium angustifolium*), a temperate region colonizer, persists locally into areas with mean July temperatures of 9° to 10°C, but does not survive in colder climates.

The growth form of some other widespread Arctic species varies with summer warmth, reflecting amounts of radiant energy available for plant metabolism. Mastidon flower (*Senecio congestus*) has multiheaded flowering stalks up to one metre tall (Fig. 5a) at mean July temperatures of 8° to 10°C. At 6° to 8°C the species is less than 10 cm tall and has fewer flowers. At its northern limit, where mean July temperatures reach only 5°C, it is 3 to 4 cm high and produces only one or two flowers (Fig. 5b).

Another common colonizing species, arctic fireweed or willow herb (*Epilobium latifolium*), also varies in size at different temperatures. Although not as tall as the common fireweed, it still reaches heights of half a metre and flowers profusely (Fig. 6a) in regions with mean July temperatures of 7° to 10°C. At its northern limit, however, it sprawls along the ground and has only a few flowers (Fig. 6b).

Most Arctic flowering plants grow in regions with mean July temperatures of at least 4° to 5°C. Regions with tempera-



tures below this, such as the northwest sector of the Queen Elizabeth Islands, deserve the name 'Barren Wedge'; they generally support no more than 35 species of flowering plants and less than 5 per cent of the ground is covered by such plants (title photo). Prizes in the cold tolerance olympics must go to plants like purple saxifrage (*Saxifraga oppositifolia*), arctic poppy (*Papaver radicans*) and grasslike species such as fox tail grass (*Alopecurus alpinus*), ice woodrush (*Luzula nivalis*), and snow grass (*Phippisia algida*), which survive and reproduce in the Barren Wedge.

Summer in the Barren Wedge is similar to that on the polar ice pack, while temperatures remain near freezing and skies are cloudy and foggy. However, at the same latitude, a zone in the northeastern sector of the Queen Elizabeth Islands (christened the 'banana belt') has anomalously warm temperatures and accompanying rich, dense plant communities.

What causes this difference? For at least 90 per cent of the summer the Barren Wedge is dominated by air masses which roll directly off the polar ice pack. The

Figure 6a Arctic fireweed, 25 cm tall, flowers abundantly on floodplains in the 'banana belt' of Ellesmere Island

*Épilobe à feuilles larges* atteignant une hauteur de 25 cm. Cette espèce de fleur abonde sur les plaines d'inondation dans une région de l'île d'Ellesmere.

Figure 6b Arctic fireweed at its northern limit on Melville Island is prostrate and has few flowers

*Épilobe à feuilles larges*, à sa limite nord dans l'île Melville. Cette plante est recroquevillée et n'a guère de fleur.



banana belt of Axel Heiberg and Ellesmere islands, however, is ringed by mountains which block the flow of frigid air off the polar ice pack and cause moisture to fall on the windward side of the highlands. Therefore this warm belt has drier air and sunnier skies. More solar radiation reaches the ground, and the snow often melts completely in June. The radiation maximum for July is in fact nearly identical to that of Edmonton, Alberta, 3000 km south.

Climate alone does not control the distribution of plant species. Some species require certain soil types or are restricted to areas where moisture is abundant. And some places with suitable soils and climatic conditions are so isolated that species capable of growing there have not found their way over the icy straits and hostile terrain.

The extent to which modern plant distribution patterns reflect the current climate is not certain. In the Arctic they probably reflect the slightly warmer climate of the early 1900s.

We are also studying how these northern vegetation patterns behaved in the past.

Most of our information comes from the treed zone. Present-day plant community and species distributions do not reflect maximum range extensions occurring since the last glaciation, which ended 9000 to 10 000 years ago. About 8000 years ago the limit of continuous forest, as well as dense, low, erect shrub thickets, extended far beyond their current positions, reflecting summer temperatures at least 2°C warmer than now. Maximum range extensions were not uniformly timed across Canada. In northwestern Canada they occurred 8000 to 10 000 years ago, in Keewatin about 6000 years ago, and in Ungava about 5000 years ago. As climate again cooled, shrub communities and treelines retreated and have remained relatively stable near their present positions for several thousand years.

We know little about how plant species fluctuated in the Far North. During the climatic optimum of about 3000 to 4000 years ago, warmer and wetter conditions prevailed, as is indicated by a period of peat development in the Arctic. Preliminary work suggests that several species of vascular plants occupied areas where they are now absent. Much more work is needed to unravel this story.

Understanding the interrelationship between vegetation and climate may help us predict how plants will respond should a global increase in carbon dioxide levels alter temperatures and precipitation. Some indications suggest that changes might be detected first in circumpolar regions, and that these regions might be among the most severely affected. Such changes would certainly alter species densities and distributions.

The first signals might be increases in the stature, vigor and density of plants, as well as in seed production and viability. Several hundred to several thousand

years' lag time, however, would elapse before plant assemblages would become greatly altered. If a warming trend were accompanied by increased moisture, more wetlands and peatlands might be expected. A decrease in moisture would see peatlands shrink and barren lands expand. There may simply be a northward displacement of communities, following the pattern of the recent past. Communities with no modern analogs may arise. We cannot predict what will happen.

Although our research generates more questions than it answers, it signals directions for future investigation into modern conditions and paleoenvironments.

Dans le vaste territoire inhabité de l'Arctique canadien, les plantes fleurissantes et les associations végétales donnent des indices bioclimatiques : température, durée de la saison de la fonte, degré d'humidité et de sécheresse, quantité d'ensoleillement et épaisseur de la neige en certains endroits. En effet, le climat influe sur la présence ou l'absence de végétaux, la rusticité, la hauteur et la densité de la population végétale.

À l'approche de l'hiver, au mois de juillet, les plantes se recroquevillent près du sol et produisent moins de fleurs. Par exemple, le saule à feuilles feutrées atteint de 3 à 6 m de hauteur lorsque les températures moyennes dépassent 9 °C. Il forme un fourré de moins d'un mètre de haut entre 7 et 8 °C. À une température inférieure à 7 °C, il prend une forme rabougrie qui atteint à peine les 10 cm de haut. Il ne pousse tout simplement pas à des températures inférieures à 5 °C.

On peut obtenir cet article en français.



# La technologie spatiale : un transfert réussi

par Doug Heyland

La communication des possibilités sur le plan technologique est une activité qui prend de plus en plus d'importance dans le secteur scientifique.

En 1981, le Conseil du Trésor du Canada approuvait un programme de transfert des applications technologiques connu sous le nom de **Programme d'avancement des applications technologiques (PAAT)**. Ce programme, prôné par le Centre canadien de télédétection (CCT), vise à aider les exploitants de ressources naturelles des provinces à acquérir une foule de renseignements utiles grâce aux images acquises par satellite. Ces images révèlent une gamme de renseignements qui dépasse largement celle que l'œil humain peut percevoir.

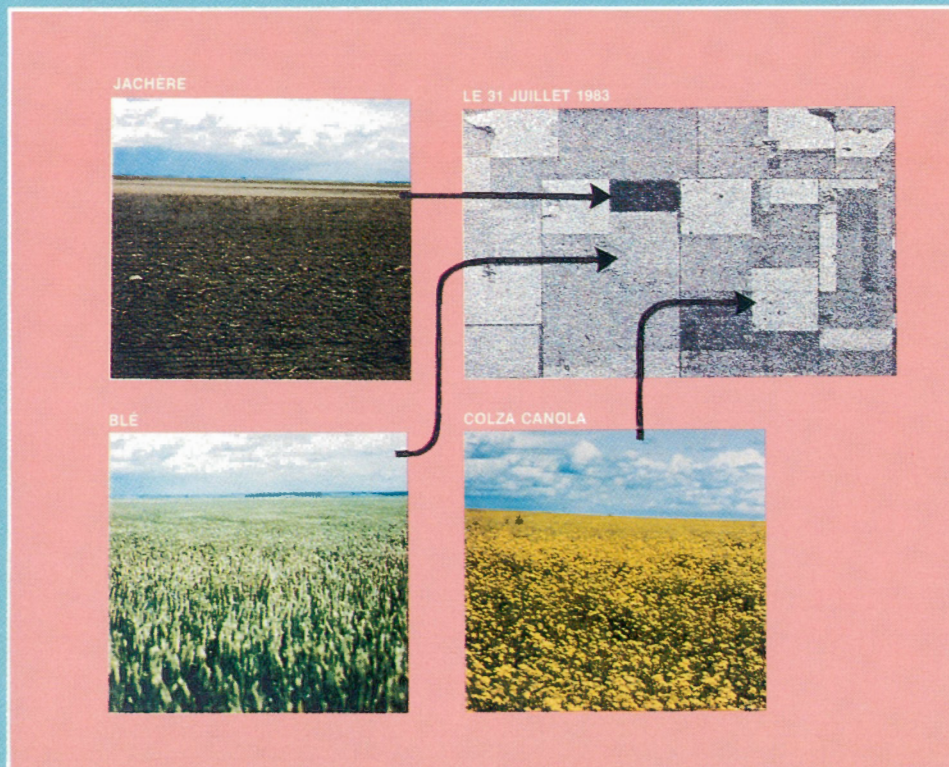
Voici un exemple de l'utilité de ces images. Comment recenser des populations d'originaux dans un rayon de 152 000 km<sup>2</sup> au Centre-Nord du Manitoba, à un coût raisonnable, tout en s'assurant de la fiabilité des données? À partir des images du satellite LANDSAT, on peut délimiter des régions qui contiennent des habitats propices aux originaux. Il suffit de concentrer les recherches sur ces régions et d'effectuer le recensement par des survols aériens. Cette

technologie nous permet d'évaluer nos ressources d'une façon plus précise et plus complète que jamais auparavant.

Dès le début du Programme canadien de télédétection, en 1972, les scientifiques du CCT ont mis au point des méthodes d'utilisation des données acquises par satellite et par avion afin d'assurer, de concert avec leurs partenaires provinciaux, le contrôle et la gestion des ressources du Canada. À la fin des années 70, les résultats des recherches ont été tels que les scientifiques du CCT ont pu procéder à un transfert technologique uniforme des données aux exploitants des richesses naturelles des provinces et des territoires.

La juridiction de la plupart des ressources naturelles du Canada, telles les forêts, l'agriculture, la géologie et la faune, relève de la compétence des gouvernements des provinces et des territoires. Ainsi, même si le gouvernement fédéral peut faire de la recherche dans ces domaines, ce sont des organismes provinciaux et territoriaux qui en assument la gestion.

C'est pour régler ce dilemme qu'en 1981 le CCT instituait le PAAT qui devait mettre en place un mécanisme de transfert technologique. Il permettait aux exploitants de faire l'essai de la télédétection, sans pour autant investir des sommes d'argent considérables ni mobiliser des membres du personnel. Par conséquent, il évitait aux entreprises et aux organisations de se lancer dans un projet



*Figure 1 Zone agricole située près de Melfort, en Saskatchewan. L'image radar en bande C (coin supérieur droit) a été prise le 31 juillet 1983 à l'aide du radar à ouverture synthétique (ROS), monté à bord du Convair 580 du CCT. On y a indiqué la position d'un champ en jachère, d'un champ de blé et d'un autre de colza canola. Il est facile de distinguer le colza canola des autres cultures parce que la rétrodiffusion radar élevée, qui est caractéristique de cette plante, produit des tons clairs sur l'image radar. Les petits points apparaissant dans les deux lacs (en bas à droite) sont de petites îles construites par Canards Illimités pour servir de nidification à la sauvagine.*

*C-band synthetic aperture radar (SAR) image (upper right) of an agricultural area near Melfort, Saskatchewan acquired using the CCRS Convair 580 aircraft on July 31, 1983. Photos taken by ground observers of a fallow, a wheat and a canola field are identified on the imagery. Canola is easily distinguished from other crops because of its characteristic high radar backscatter and hence light tones on the radar image. Small dots in the two lakes at lower right are tiny islands created by Ducks Unlimited as nesting structures for waterfowl.*

qui risquerait, à long terme, de ne pas être rentable pour eux.

Pour donner le coup d'envoi du Programme, on a conclu un protocole d'entente demandant aux gouvernements fédéral et provinciaux de fournir des ressources, selon leurs moyens, sans qu'il y ait de transferts de fonds.

Cette entente prévoit une collaboration entre le CCT et la province hôte pour mener à terme un certain nombre de projets proposés par les exploitants provinciaux des ressources. Dans chaque cas, à l'exploitant de travailler avec le spécialiste en télédétection et d'apprendre les fondements de la technologie. Cet exercice a pour but de déterminer les avantages que comporte l'utilisation de cette technologie dans l'exécution des tâches quotidiennes.

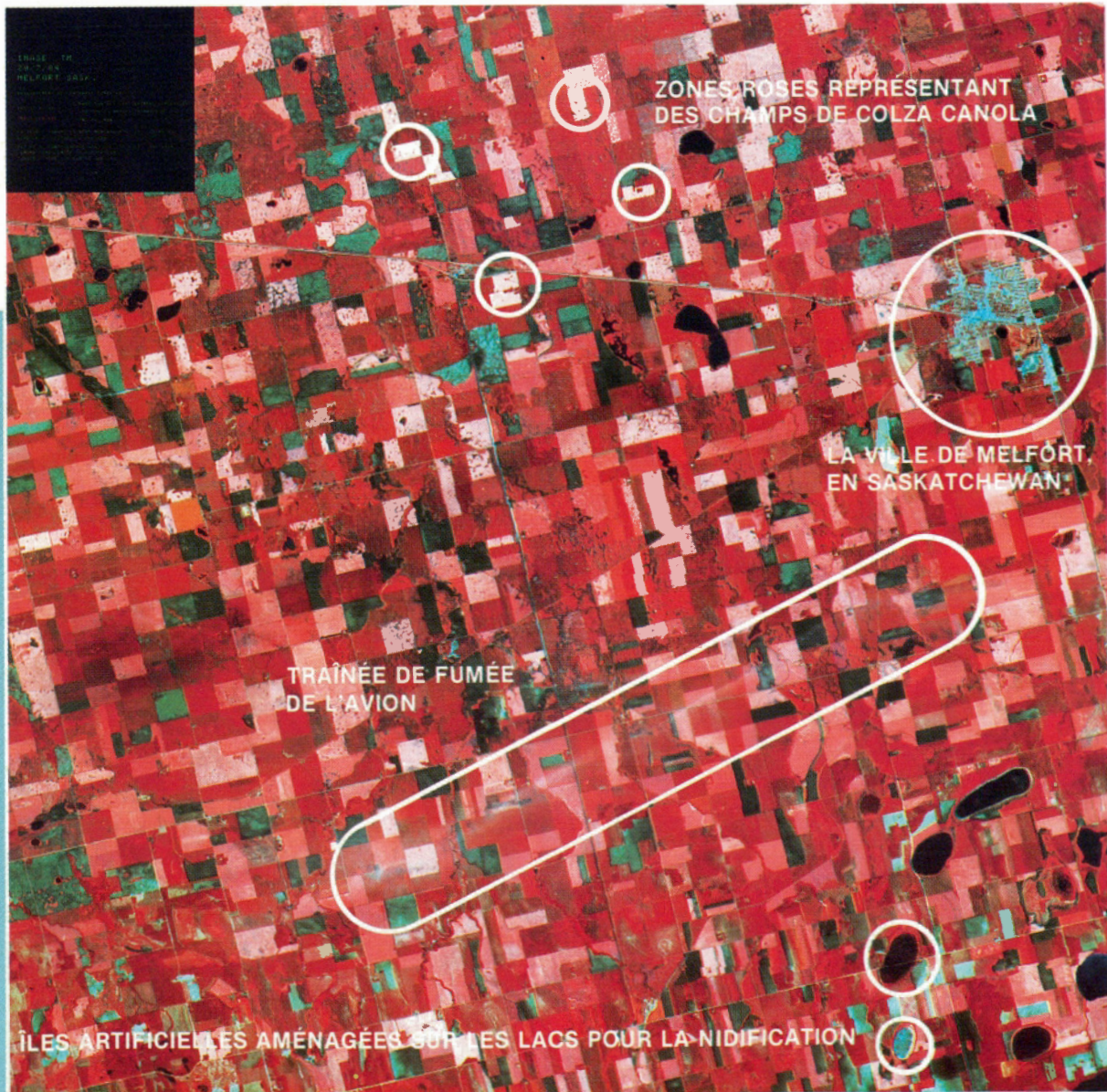
Le gouvernement du Manitoba a été le premier partenaire du CCT dans le cadre du PAAT. En novembre 1982, une entente a été

signée avec le Centre canadien de télédétection du Manitoba, hôte de ce programme, en vue de mener à terme sept projets conjoints reliés à la faune, à l'agriculture, aux parcs provinciaux et aux ressources hydriques. De son côté, le CCT a délégué un spécialiste en télédétection au Centre de Winnipeg afin d'aider les directeurs de projets dans leur travail. Il a également prêté au Manitoba, pour une durée de 18 mois, un système informatisé spécial d'analyse d'images numériques. À son tour, toujours dans le cadre du Programme, le Centre du Manitoba a désigné deux techniciens spécialisés pour qu'ils se familiarisent avec les techniques tout en travaillant en collaboration avec les exploitants des ressources qui ont adhéré au Programme.

En avril 1983, ce fut au tour du Conseil des premiers ministres des provinces de l'Atlantique de signer un second protocole d'entente en vertu du PAAT. Dans le but d'appuyer ce programme, le CCT a affecté un spécialiste en télédétection à Frederic-

Figure 2 Image du capteur thématique (TM) LANDSAT qui a été prise le 29 juillet 1984 et qui montre une zone agricole située près de Melfort, en Saskatchewan. Cette composition colorée s'obtient en affichant la bande 2 du TM en bleu, la bande 3 en vert et la bande 4 en rouge. La ville de Melfort apparaît en bleu clair dans le coin supérieur droit. Les champs de colza canola sont représentés dans différentes nuances de rose, selon la densité des fleurs. Les champs de céréales sont en rouge, et les champs en jachère en diverses nuances de vert.

LANDSAT thematic mapper image acquired July 29, 1984 of an agricultural area near Melfort, Saskatchewan. Colour composite is formed by displaying TM band 2 as blue, band 3 as green and band 4 as red. The town of Melfort is the light blue area in the upper right corner. Fields appear in pink shades depending upon the amount of flowering present, grain fields appear red, and fallow fields appear in various shades of green.



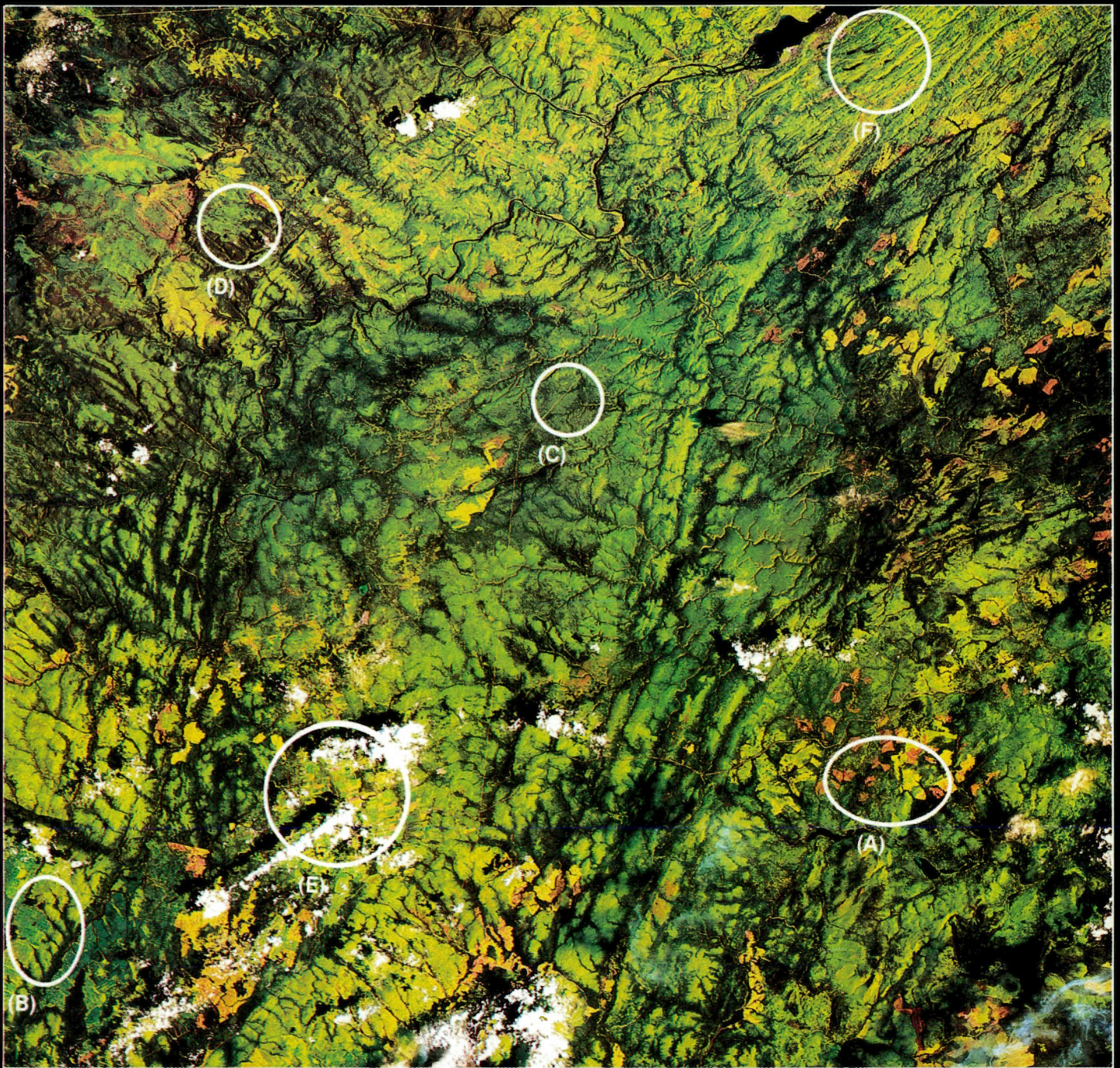


Figure 3 Scène du Nouveau-Brunswick

Un bon exemple d'une image du capteur thématique (bandes 3, 4 et 5) représentant la forêt mixte du Nouveau-Brunswick. La forêt apparaît en des tons variant du vert foncé (conifères) au vert jaunâtre (feuillus). On peut facilement voir le réseau hydrographique dendritique.

- a) Dans cette région, on distingue différentes étapes du renouvellement du peuplement forestier et de nombreuses coupes à blanc. Les taches rougeâtres représentent des coupes qui sont maintenant couvertes d'une végétation herbacée (arbustes et dicotylédones herbacées). Les zones verdâtres indiquent de nouveaux peuplements de conifères.
- b) Le motif polygonal régulier et le vert vif de ces zones sont les signes d'un reboisement systématique.
- c) Ligne de transport d'électricité
- d) Ces zones brun foncé indiquent les ravages causés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette.
- e) Champs cultivés
- f) Baie des Chaleurs

New Brunswick scene

A typical thematic mapper (bands 3,4,5) image of the mixed forest region of northeastern New Brunswick. The forest is represented by tones ranging from dark green (conifers) to yellowish (deciduous forest). The dendritic stream network is clearly visible.

- a) Area contains different stages of forest regeneration after clear-cutting. Reddish patches represent new, unregenerated cuts covered by herbaceous vegetation (bushes and shrubs). Greenish areas show coniferous regeneration.
- b) The even polygonal shape and bright green of these areas indicate extensive reforestation activity.
- c) Power line.
- d) Dark brown areas indicate severe spruce budworm damage.
- e) Agricultural fields.
- f) Baie des Chaleurs.

ton, au Nouveau-Brunswick, et un autre à Amherst, en Nouvelle-Écosse. En outre, le comité de télédétection des Maritimes et le comité du Conseil des premiers ministres des provinces de l'Atlantique ont obtenu la permission d'utiliser l'équipement d'analyse d'images numériques à l'Université du Nouveau-Brunswick ainsi qu'au Collège des sciences géographiques à Lawrencetown, en Nouvelle-Écosse.

Lorsque le Programme a pris fin en août 1985, on avait déjà complété 12 projets conjoints dans des domaines aussi variés que l'agriculture, l'hydrographie, la foresterie et la géologie.

Actuellement, le bilan se lit comme suit :

- En Saskatchewan :
  - Neuf projets conjoints sont sur le point de se terminer;
  - Un projet est en marche.
- À Terre-Neuve :
  - Sept projets sont en cours de réalisation.

#### Pour l'ensemble du Canada

D'une province à l'autre, les projets peuvent varier, mais ils gravitent tous autour des ressources économiques et sociales particulières à chacune d'elles. Par exemple, les ressources forestières constituent une grande richesse pour chaque province et leur gestion est importante. C'est pourquoi un projet permettant de cartographier et de contrôler le déboisement des forêts, causé par le défrichement ou les feux, a été inscrit à chaque programme du PAAT. Le contrôle des cultures maraîchères s'avère nécessaire dans certaines régions. C'est pourquoi on retrouve habituellement un ou deux projets reliés à ce domaine.

Certaines provinces ont des besoins particuliers. Au Nouveau-Brunswick, par exemple, l'image satellitaire sert à dresser des cartes de la couverture neigeuse qui recouvre le sol tout le long de la vallée de la rivière Saint-Jean. Il est important pour cette province de prévoir l'ampleur des inondations au printemps et le moment où elles se déclencheront. Vers la fin de l'hiver, le Centre de prévision des inondations de la rivière Saint-Jean reçoit les mesures de l'étendue neigeuse, son épaisseur et son degré d'humidité. En considérant ces facteurs, on peut espérer réduire les dégâts causés par la crue des eaux.

En Saskatchewan, la perte des sols, imputable à une augmentation de la salinité, constitue un problème de plus en plus épineux pour les agriculteurs. On a donc conçu un projet pour détecter les sols à forte salinité. Ce projet fait partie du PAAT de la Saskatchewan.

#### Un franc succès

Peut-on dire que le Programme est un succès? La réponse est un « oui » sans hésitation. Le PAAT au Manitoba a pris fin en juin 1984. Depuis, le Centre de télédétection de cette province a mis en œuvre plus de 30 projets pour des clients du gouvernement provincial et de l'industrie privée.

Les gouvernements des provinces de l'Atlantique ont souvent recours à la télédétection pour gérer les forêts et effectuer des études géologiques ou agricoles. Le capteur thématique du satellite LANDSAT-5 saisit des images à haute résolution. Ces images sont très efficaces dans les Maritimes : les parcelles de cultures y sont petites et donc beaucoup moins faciles à détecter que les immenses champs des Prairies. Le problème permanent de l'Est canadien est la couverture nuageuse qui empêche les capteurs optiques de LANDSAT de prendre des images de la Terre. Pour cette raison, les quatre provinces voient dans le radar monté sur satellite une solution à leur problème. En effet, la couverture nuageuse n'empêche pas les hyperfréquences émises par le radar d'atteindre la surface de la planète et de retourner vers l'antenne réceptrice du satellite pour constituer une image.

En Saskatchewan, le PAAT ne sera pas mis en opération avant le printemps de 1987, mais divers clients ont déjà confié plus de 14 projets au Conseil de recherche de la Saskatchewan.

À Terre-Neuve, le Programme n'est en vigueur que depuis juin 1986 et déjà on obtient des résultats encourageants. L'organisme hôte, le ministère du Développement et du Tourisme, sollicite déjà une collaboration entre les organismes provinciaux en vue de l'élaboration de nouveaux projets; ils remplaceront les six premiers qui se termineront bientôt.

L'industrie canadienne a également bénéficié des retombées du PAAT. Jusqu'à ce jour, quatre systèmes d'analyse d'images numériques et trois instruments d'analyse visuelle de photographies ont été vendus par des fabricants canadiens à des membres actuels et anciens du PAAT. On prévoit une augmentation des achats au fur et à mesure que le PAAT s'étendra à tout le pays.

Grâce au PAAT, un certain nombre d'entreprises offrent maintenant un service d'analyse des données de télédétection. Elles sont ainsi plus en mesure d'entrer en concurrence avec des industries canadiennes et étrangères pour obtenir des contrats.

Le PAAT a permis à un grand nombre d'exploitants des ressources naturelles au

Canada de profiter des avantages de la télédétection. Ils ont pu participer à des expériences sans avoir à débours des sommes excessives. Ils ont également démontré que les données de télédétection peuvent faciliter grandement la tâche des exploitants de ressources naturelles.

M. Doug Heyland a obtenu un baccalauréat de l'Université Carleton et une maîtrise ès Sciences en biologie de l'Université Guelph.

De 1964 à 1976, M. Heyland travaille au Service québécois de la faune. Il s'occupe, en tant que biologiste, de recherches sur la bernache du Canada et de la grande oie-blanche en Arctique-Est. Dès le début des années 70, M. Heyland utilise la télédétection comme outil de recherche.

Par la suite, M. Heyland se retrouve à Parcs Canada et, en 1976, au Service de protection de l'environnement.

En juillet 1982, M. Heyland devient responsable du Programme d'avancement des applications technologiques (PAAT) du Centre canadien de télédétection.

The Canada Centre for Remote Sensing's (CCRS) application Technology Enhancement Program (TEP) is designed to introduce remote sensing to provincial and territorial natural resource managers. Because provincial governments are responsible for managing resources such as agriculture, forestry, soil and wildlife, it is important that they are aware of the latest management techniques available to them.

The cooperative program is designed to operate under memoranda of understanding between CCRS and host agencies in the provincial or territorial governments. Each party contributes to the TEP on a best-effort basis and no funds are exchanged. CCRS contributes the services of a remote sensing specialist for the duration of the program, and in some cases the loan of a computer-based digital image analysis system.

Some joint projects are undertaken to show the resource manager how technology can be used. Studies in forest and wildlife usually make up the six- to ten-project portfolio.

To date, programs have been completed with Manitoba and Newfoundland. TEPs are currently underway with Saskatchewan and Newfoundland.

This article is also available in English.



# Catastrophic Outburst Floods

by John Clague

## Lakes dammed by glaciers or moraines can suddenly drain and tons of water, mud and debris may threaten to destroy development in mountain valleys in western Canada

On December 13, 1941 a torrent of water, mud and bouldery debris swept through the Peruvian city of Huaraz, killing more than 6000 people. A mountain lake, dammed by an unstable end moraine had suddenly drained, causing this unparalleled catastrophe. Lakes dammed by moraines have burst out destructively elsewhere in Peru and in mountain ranges in North America, Europe, and Asia.

Catastrophic outbursts are not restricted to moraine-dammed lakes. Lakes dammed by landslides can drain suddenly and produce severe floods. Even more common are outbursts from glacier-dammed lakes, or 'jökulhlaups' (glacier floods). In recent decades, there have been many destructive jökulhlaups in Iceland, the Alps, Andes, Himalayas and other glacierized mountain ranges.

Outburst floods are common in western Canada (Fig. 1). In the past, most have occurred in remote mountain valleys and have received little attention from all but a small group of earth scientists. Because some valleys that are susceptible to floods from glacier- and moraine-dammed lakes have been increasingly developed in recent years, the public must be made aware of the hazards posed by these natural phenomena. This article discusses the characteristics and causes of outbursts from glacier- and moraine-dammed

*Breach in Russell Lake ice dam one day after the catastrophic outburst of October 8, 1986. Hubbard Glacier at left, Russell Fjord in distance. Within hours of the outburst's start, floodwaters poured unimpeded through this 300-m-wide breach into Disenchantment Bay (foreground)*

*Brèche au barrage glaciaire du lac Russell le lendemain du déversement catastrophique du 8 octobre 1986. Le glacier Hubbard (à gauche) et le fjord Russell (un peu plus loin). En l'espace de quelques heures, après le début de la rupture, les eaux d'inondation se sont échappées à travers cette brèche de 300 m de large dans la formation de Disenchantment Bay.*

Figure 1 Outburst floods and debris flows

### Déversement et coulées de débris



lakes and describes in detail two spectacular recent examples, Russell Lake, Alaska and Nostetuko Lake, British Columbia.

Although lakes can form within and beneath glaciers, most develop at ice margins (Fig. 2). Commonly, a tributary valley is blocked by an advancing glacier, creating a closed basin which fills with water; occasionally, a glacier flows across a trunk valley to block drainage over a large area.

An ice-dammed lake may be relatively stable for a long time after it first forms. However, if the ice dam weakens, because, for example, the glacier recedes, the lake may drain suddenly. A jökulhlaup begins when forces exerted by the water in the lake exceed the strength of the dam.

The ice dam may become buoyant, or one or more englacial or subglacial tunnels may begin discharging water from the lake. Escaping waters rapidly enlarge the tunnels and the deluge swells until the lake is completely drained or until its level falls below that of the tunnel system (Fig. 3). Occasionally, tunnels become so large that the ice dam collapses and is swept away in the floodwaters.

The drainage process usually takes from one to several days. In general, the larger the lake, the larger the resulting flood, although maximum discharge is also affected by other factors, including lake temperature and tunnel gradient. The ice dam may reseal after the jökulhlaup, allowing the lake to form again. Many lakes empty and refill repeatedly, some on an annual cycle.

End moraines, which impound many mountain lakes in western North America (Fig. 4), were built by glaciers during the Little Ice Age, a period of cooler climate which lasted from the early 1500s to the middle 1800s. Lakes developed behind these moraines when glaciers retreated during the late 1800s and early 1900s. The moraines comprise loose, sandy and gravelly sediment; many are unstable and are susceptible to failure by removal of fine sediment by groundwater, collapse during earthquakes, rapid incision, or landsliding. As in the case of jökulhlaups, outflow discharges increase rapidly until the supply of water is exhausted. A functional relationship exists between peak discharge and the total volume of water released.

**Recent outburst floods**

One of the great natural events of the twentieth century was the sudden drainage of Russell Lake, Alaska, on October 8, 1986. This lake formed in late May 1986 when Hubbard Glacier advanced and sealed off Russell Fiord from Disenchantment Bay (Fig. 5), turning it into Russell Lake. This resulted, in part, from a surge or very rapid advance, of Valerie Glacier, the southernmost tributary of the Hubbard system. Once the ice dam was in place, the lake began to rise, fed by numerous streams flowing from nearby glaciers and mountain slopes. In early October, the lake extended 26 m above sea level and held more than 6 km<sup>3</sup> of fresh water. Russell Lake at that time was the largest glacier-dammed lake on earth.

Its spectacular demise, however, was imminent, for on October 7 large amounts of water began to discharge at the front of the narrow tongue of ice between Osier Island and Gilbert Point. Finally, at midnight on October 7, the outburst began in earnest. Tunnels within or at the base of the ice dam enlarged rapidly, and



Figure 2 Ape Lake, a large glacier-dammed lake in British Columbia's Coast Mountains. Top: view down the lake towards the glacier dam. Bottom: the glacier dam—ice face is about 25 m high. Photos taken in July 1985, nine months after the first Ape Lake jökulhlaup

Le lac Ape, un grand lac de barrage glaciaire dans la chaîne côtière de la Colombie-Britannique. En haut : du lac au barrage glaciaire. En bas : le front de glace du barrage atteint environ 25 m de haut. Les photos ont été prises en juillet 1985, neuf mois après le premier déversement sous la glace d'un glacier (jökulhlaup) du lac Ape.

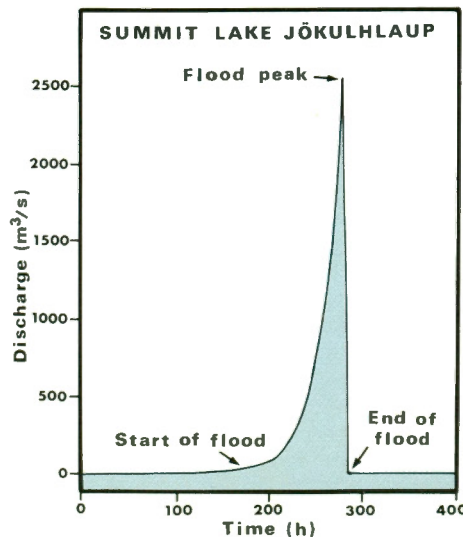


Figure 3 Hydrograph of the 1967 jökulhlaup from Summit Lake, B.C. Most outburst floods display this type of discharge pattern, specifically an exponential increase in flow during the rising stage of the flood, a brief discharge maximum, and a subsequent rapid decrease in flow as the water supply is exhausted

Carte hydrographique du jökulhlaup au lac Summit, en Colombie-Britannique, en 1967. La plupart des déversements présentent ce même type d'écoulement, en particulier un accroissement exponentiel du débit au stade le plus accentué de l'écoulement — un écoulement maximum bref — et donc une baisse rapide du flux dès que l'apport en eau tire à sa fin.



increasing amounts of water escaped. Within a few hours, the dam between Osier Island and Gilbert Point collapsed and water poured almost unimpeded from Russell Lake into Disenchantment Bay across a front 300 m wide. At this stage in the outburst, discharges exceeded  $100\,000\text{ m}^3$  a second — roughly equivalent to the mean flow of the Amazon River at its mouth. Icebergs, some the size of shopping plazas, were swept from the lake into the bay. By 8 a.m. on October 8, Russell Lake was half empty; the outburst ended less than 18 hours later.

Because the floodwaters emptied directly into a large bay, they posed no hazard to people living in the area. There were, however, other concerns. If the dam had held, the lake would have continued to rise until it overflowed across a moraine at the south end of Russell Fiord into Old Situk Creek. The silt-laden overflow waters would very likely have damaged the important salmon fishery of Situk River.

The Russell Lake outburst received widespread media attention and thus alerted the public to the general hazards posed by jökulhlaups. There have been many similar, although much smaller, jökulhlaups in western Canada in recent years, including those from Hazard Lake in the St. Elias Mountains and from Tulsequah, Flood, Summit and Ape lakes in the Coast Mountains.

Although outburst hazards are most severe in the vicinity of present-day glacial lakes, we are also concerned about areas around former water bodies. In southwest Yukon, large unstable lakes existed at the lateral margins and toes of some valley glaciers during the Little Ice Age. These lakes have since disappeared because of glacier retreat, but they could form again if glaciers were to readvance. For example, if Donjek Glacier advanced only a few hundred metres, it would block drainage in the Donjek valley and impound a lake up to 6 km long and



Figure 5 Russell Lake, Alaska. The lake drained through a breach in the Hubbard Glacier ice dam (arrow) on October 8, 1986. Two terminal positions of Hubbard Glacier are shown, one in 1961 when Russell Fiord was open to the sea, and the other in September 1986 when the fiord was a freshwater lake

Lac Russell, en Alaska. Le 8 octobre 1986, le lac s'est vidé par une brèche du barrage glaciaire du glacier Hubbard (flèche). On peut distinguer deux positions frontales du glacier Hubbard: l'une en 1961 lorsque le fjord Russell s'est ouvert à la mer et l'autre, en septembre 1986, lorsque le fjord était un lac d'eau douce.

55 m deep (Fig. 6). Jökulhlaups from this lake might seriously damage the Alaska Highway 50 km downstream. A similar, but much larger, body of water, Lake Aelsek, repeatedly formed against the toe of Lowell Glacier in the Aelsek valley 120 km southeast of Lake Donjek. During the last major ponding episode about A.D. 1850, Lake Aelsek, extending eastward beyond the front of the St. Elias Moun-

Figure 4 A moraine-dammed lake in the southern Coast Mountains, B.C. The bulky end moraine which impounds this lake (arrow) formed at the margin of a valley glacier which has since receded

Un lac de retenue (flèche) dans une moraine au sud des chaînes côtières, en Colombie-Britannique. Cette moraine, que l'on distingue par son extrémité volumineuse, s'est formée à la marge d'un glacier de vallée (alpin) qui a depuis reculé.

tains to the outskirts of the present community of Haines Junction, was only slightly smaller than Russell Lake at its maximum in October 1986. Earlier and more extensive phases of Lake Aelsek are known from geologic and geomorphic evidence. Each, including the last, ended with a catastrophic jökulhlaup (Fig. 7), which devastated the Aelsek valley below Lowell Glacier.

Outbursts from moraine-dammed lakes, although less common than jökulhlaups, are equally impressive and destructive. The most recent such event in western Canada occurred in the Homathko River basin, B.C., in July 1983 (Fig. 8). On July 19, part of the toe of Cumberland Glacier fell away from a steep rock slope and plunged into Nostetuko Lake, a moraine-dammed lake at the head of the Nostetuko valley. The impact generated waves that swept down the lake and over the huge moraine at its north end. Overflowing waters rapidly cut through the loose, bouldery morainal debris, lowering the surface of the lake more than 38 m in a few hours. Floodwaters traveled 120 km down the Nostetuko and Homathko valleys to tidewater at the head of Bute Inlet. The flow of Homathko River at a gauging station 65 km from Nostetuko Lake increased from  $330$  to more than  $900\text{ m}^3$  a second within one hour as the flood wave passed. In places, sediments and trees on the valley floor were swept away, only to be redeposited in huge debris piles where the flow was lower.

Although most outbursts from glacier- and moraine-dammed lakes are water floods, some evolve into viscous flows of water-saturated, bouldery debris, called debris flows, as they move down valley. Generally, such debris flows do not travel as far as floods, but they have more momentum and can be extremely destructive. A debris flow is likely to develop during an outburst if the valley below the lake is steep, relatively narrow, and contains abundant sediments. These conditions are met, for example, in the Klattasine Creek basin, 35 km west of Nostetuko Lake. In the early 1970s, the sudden emptying of a moraine-dammed lake at the head of a tributary of Klattasine Creek produced a large, fast-moving debris flow which traveled 8 km before



Figure 6 Lake Donjek, Yukon Territory. Although now empty, this lake would re-form if Donjek Glacier advanced. Jökulhlaups from this lake would threaten the Alaska Highway

Lac Donjek, au Yukon. Bien que le lac soit vide aujourd'hui, il pourrait se remplir de nouveau si le glacier Donjek avançait. Des jökulhlaups menaceraient sérieusement la route de l'Alaska.

coming to rest. This flow deposited an apron of bouldery sediment up to 20 m thick, which briefly stemmed the flow of Homathko River.

#### What can we learn from these events?

First, outburst floods are sufficiently common in many mountain ranges in western Canada to pose a significant hazard to development in areas vulnerable to flooding. Fortunately, outburst-prone, glacier- and moraine-dammed lakes can be identified before development takes place and effective countermeasures or appropriate zoning regulations implemented.

Then, outburst floods can have far-reaching effects. Under certain circumstances, a flood can damage or destroy a community more than 100 km away.

Also, although glacier-dammed lakes can empty and refill many times, most moraine-dammed lakes burst only once. After the moraine is breached, the lake cannot refill to its former level.

And although many existing glacier-dammed lakes are self-dumping and thus a source of concern, even larger lakes could form during a glacier advance, as



Figure 7 Flood dunes in the Aelsek valley, Yukon Territory (flow from lower left to upper right). The dunes formed during an outburst of Lake Aelsek about A.D. 1850



Figure 8 Breached end moraine at the head of Nostetuko valley, B.C. The moraine was incised when Nostetuko Lake drained suddenly in July 1983. Cumberland Glacier is visible beyond the remnant of Nostetuko Lake. Note the huge bouldery debris fan below the moraine

Moraine à l'extrémité érodée au sommet de la vallée Nostetuko, en Colombie-Britannique. La moraine s'est encaissée lorsque les eaux du lac Nostetuko se sont soudainement échappées en juillet 1983. On peut voir le glacier Cumberland au-delà de ce qui reste du lac Nostetuko. À signaler: l'énorme cône de déjection de débris de gros blocs sous la moraine.

happened for example in 1986 in Russell Fiord. In the short term, special attention should be paid to glaciers which are known to surge and which are positioned to block off river valleys.

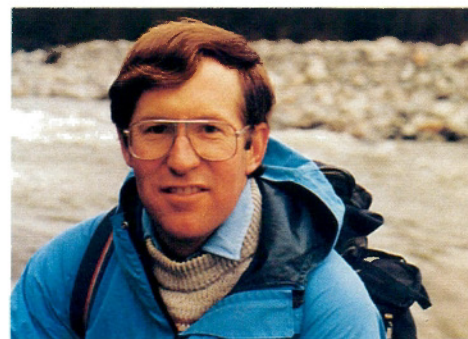
Finally, the nature and extent of the hazard posed by a glacier- or moraine-dammed lake depend on many factors, the most important being lake volume, the type and geometry of the dam, sediment availability and the gradient of the valley below the dam. A careful appraisal of these factors is essential for the safe development of many valleys in the glaciated mountains of western Canada.

Dunes alluviales dans la vallée Aelsek, au Yukon (écoulement allant du bas à gauche vers le haut à droite). Les dunes se sont formées lors d'une rupture du lac Aelsek vers 1850.

Les lacs, retenus par des glaciers ou des moraines, peuvent se vider brusquement, provoquant ainsi des inondations ou des coulées boueuses. La rupture d'un barrage glaciaire survient quand la glace, une fois sapée, se met à flotter. La rupture peut également être due à un élargissement rapide de tunnels situés à la base ou à l'intérieur du glacier.

Les déversements de lacs morainiques sont causés par un bris rapide du barrage à la suite d'un niveau d'eau trop élevé. Un barrage morainique peut s'affaisser en blocs en raison d'un glissement de terrain ou d'un tremblement de terre. Les récents déversements au fjord Russell, en Alaska, en octobre 1986, et les déversements du lac Nostetuko, en Colombie-Britannique, en juillet 1983, ont sensibilisé le public aux dangers que posent de tels phénomènes naturels.

On peut obtenir cet article en français.



Dr. John Clague is a research scientist with the Geological Survey of Canada's Terrain Sciences Division in Vancouver. He joined GSC in 1973 after graduating from the University of British Columbia with a Ph.D. Dr. Clague's principal research interests are Quaternary geology and natural hazards in the Canadian Cordillera.



# Le recyclage des boues d'usine d'épuration des eaux usées à des fins de fertilisation forestière

par Yvon Grenier et Denis Couillard

Dans toute société industrialisée, les individus peuvent se procurer de nombreux biens de consommation qui leur rendent la vie plus agréable et plus confortable. Cette amélioration des conditions de vie, par rapport à celles de nos ancêtres, a également sa contre-partie, à savoir la prolifération de nombreux déchets sous diverses formes, soit liquide, solide ou gazeuse. Ces déchets ont malheureusement la caractéristique commune de polluer l'environnement.

Depuis quelques décennies, on assiste cependant à une prise de conscience générale face à cette situation et au désir de l'améliorer. On souhaite conserver un environnement sain, intact, tout en voulant maintenir un mode de vie et, donc, un même niveau de consommation. La lutte contre la pollution est coûteuse et n'est pas toujours justifiée sur le plan économique. Cependant, dans le cas de la récupération des déchets, il est possible d'affecter ces coûts à une nouvelle forme de production : le recyclage.

Dans ce contexte, l'eau est considérée comme un bien de consommation, mais une fois qu'elle a servi aux usages domestique et industriel, elle ressort souillée et, de ce fait, impropre à un second usage.

À ce niveau, la solution la plus simple et la plus expéditive consiste à renvoyer les eaux résiduaires dans le milieu naturel (lac ou rivière). Cette façon d'agir a considérablement détérioré l'environnement, rendant les plans d'eau d'abord impropres à la consommation, puis finalement inutilisables à des fins récréatives. La situation est devenue intolérable et certains gestionnaires ont décidé de prendre les choses en main afin de la corriger.

Les usines d'épuration des eaux usées rejettent des déchets que l'on appelle les boues résiduaires. Celles-ci sont de nouveau susceptibles de polluer l'environnement à moins que l'on ne procède à leur recyclage. Cet article traite de la gestion éventuelle des boues résiduaires et de leur usage comme fertilisant.

Pour que le recyclage devienne une réalité, il faut trouver un débouché, c'est-à-dire un marché. Il peut s'agir de la valorisation agricole ou, comme nous le préférons, de la valorisation sylvicole. Bien que les risques de contamination par des organismes pathogènes soient minimes lorsque les boues résiduaires sont stabilisées, elles contiennent des métaux lourds et des composés synthétiques. Puisque les produits sylvicoles n'entrent pas dans la

chaîne alimentaire humaine, les dangers associés à de telles pratiques sont donc écartés.

Ce projet de recherche a été guidé par deux objectifs. Le premier est la valorisation (ou recyclage) des boues résiduaires produites par les usines de traitement des eaux usées, et le second est l'augmentation des rendements sylvicoles grâce à la fertilisation.

Cette recherche a été concrétisée par une application expérimentale, menée en serre, où l'on a fait croître du mélèze laricin dans du sable fertilisé avec différentes quantités de boues anaérobies. L'expérience a été concluante : les boues d'usines d'épuration des eaux usées peuvent avantageusement être utilisées pour la fertilisation forestière.

Pendant une période de 119 jours, nous avons fait croître du mélèze laricin dans du sable. Cette culture a été fertilisée en utilisant différentes quantités de boue anaérobie provenant de l'usine de la base militaire de Valcartier, près de la ville de Québec. Cette boue a été appliquée en surface pour les 14 premiers traitements, après que les graines aient été semées (figure 2). Seulement dans le cas de deux traitements, 19 et 20, elle a été enfouie

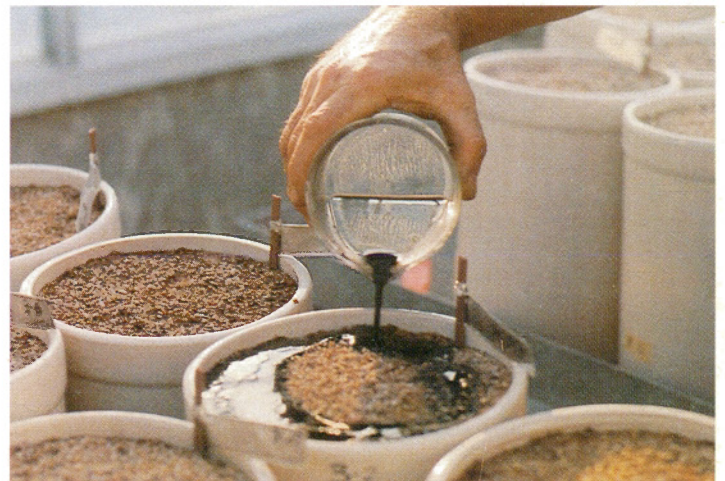
Figure 1 Tous les pots à la fin de l'expérience (119 jours)

All the pots at the end of the experiment



Figure 2 Application de la boue

Application of sludge



**Tableau 1 : Résultats des moyennes de croissance en hauteur à divers temps; des diamètres et des masses des tiges à la fin de l'expérience**

Numéro de traitement	Caractéristiques finales		Hauteur moyenne après 69 jours (mm)	Hauteur moyenne après 105 jours (mm)	Hauteur moyenne après 119 jours (mm)	Diamètre après 119 jours (mm)	Masse foliaire moyenne après 119 jours (mg)
	Nombre d'applications x	Quantité de boue					
1	Témoin	0	30,8	33,6	27,9	0,58	17,6
2	Su,	1 x 25 = 25	34,5	46,1	46,1	0,77	38,3
3	Su,	1 x 50 = 50	33,1	44,5	43,6	0,73	33,8
4	Su,	1 x 125 = 125	38,9	55,1	58,9	0,91	56,1
5	Su,	2 x 25 = 50	35,3	53,7	59,4	0,85	53,5
6	Su,	2 x 50 = 100	35,4	55,4	63,2	0,95	62,3
7	Su,	2 x 125 = 250	39,6	67,5	82,5	1,15	92,2
8	Su,	5 x 25 = 125	36,9	65,5	80,9	1,10	90,6
9	Su,	5 x 50 = 250	42,8	86,0	112,0	1,48	155,0
11	Su,	9 x 25 = 225	47,2	92,2	122,5	1,62	190,6
12	Su,	9 x 50 = 450	44,3	90,1	114,7	1,60	176,2
13	Su,	17 x 6,25 = 106	45,8	83,4	110,1	1,43	149,3
14	Su,	17 x 12,5 = 213	46,8	96,5	125,3	1,66	200,4
15	Su,	17 x 25 = 425	46,2	98,3	124,9	1,80	218,5
19	En,	1 x 50 = 50	34,9	41,0	42,2	0,77	37,3
20	En,	1 x 125 = 125	40,2	52,7	63,1	1,07	87,6

Su = boue appliquée en surface

En = boue enfouie dans 10 cm de sable

dans 10 cm de sable avant que les graines ne soient semées. Les différents traitements étaient basés sur leur charge en azote.

On a mesuré plusieurs fois la hauteur des mélèzes au cours de l'expérience (tableau 1). De plus, à la fin, des mesures de diamètre au collet et de biomasse sèche ont été effectuées. Les résultats sont présentés sous forme d'un tableau, accompagné de photographies et de graphiques parmi les plus représentatifs. Les graphiques présentent l'évolution de la croissance en hauteur entre le début et la fin de l'expérience (119 jours).

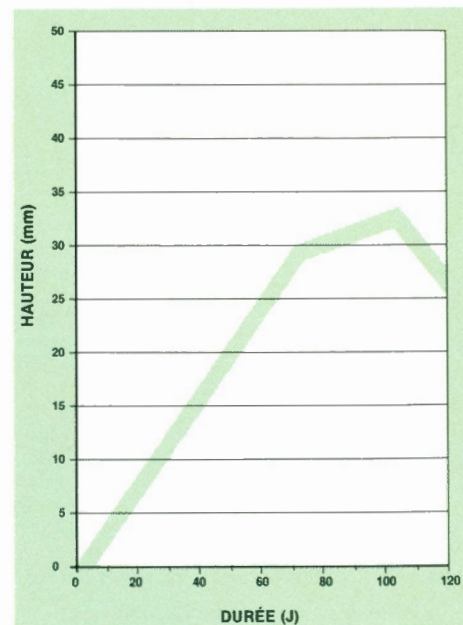
Les meilleurs résultats sont obtenus avec le plus grand nombre d'applications combiné à la charge totale. Malgré de faibles différences, les traitements 14 et 15 sont meilleurs que le traitement 13. À doses

*Tableau 2 Évolution de la croissance en hauteur (moyenne) dans le temps par répétition pour le traitement 1*

*Changes in height growth (average) over time by repeating treatment 1*

égales, des applications multiples donnent de meilleurs résultats que des applications uniques. Ainsi, le traitement 9 est meilleur que le 7, et le traitement 8 est meilleur que le 4. Cette croissance en hauteur est particulièrement importante, car plus les arbres grandiront, plus vite pourront-ils entrer en compétition avec les mauvaises herbes.

Les traitements qui ont reçu 17 fois de suite des applications de boue sont ceux qui présentent les meilleurs résultats, sauf dans le cas du traitement 13. Avec neuf applications de boue, le diamètre moyen des mélèzes est plus gros que s'il en avait reçu cinq fois (tableau 2). Les



*Figure 3 La répétition 2 du traitement 1 après 119 jours de croissance*

*Second repetition of treatment 1 after 119 days of growth*



*Figure 4 La répétition 2 du traitement 4 après 119 jours de croissance*

*Second repetition of treatment 4 after 119 days of growth*



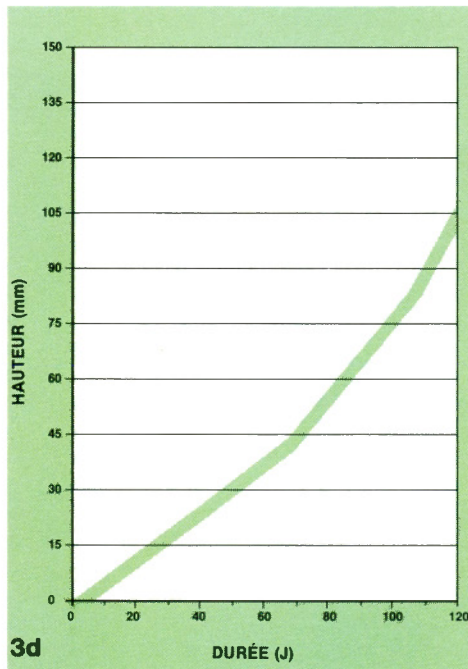
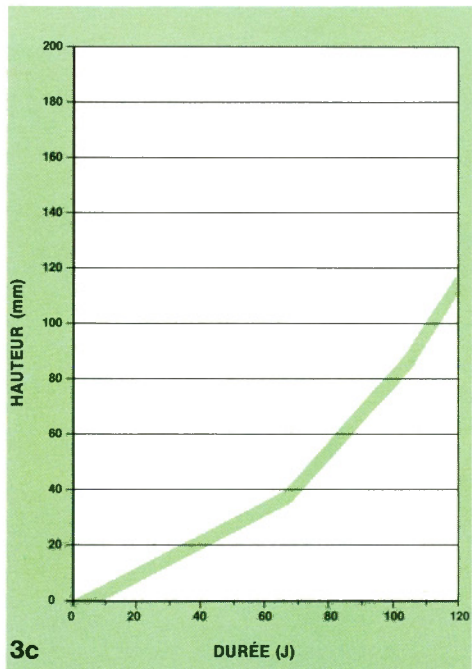
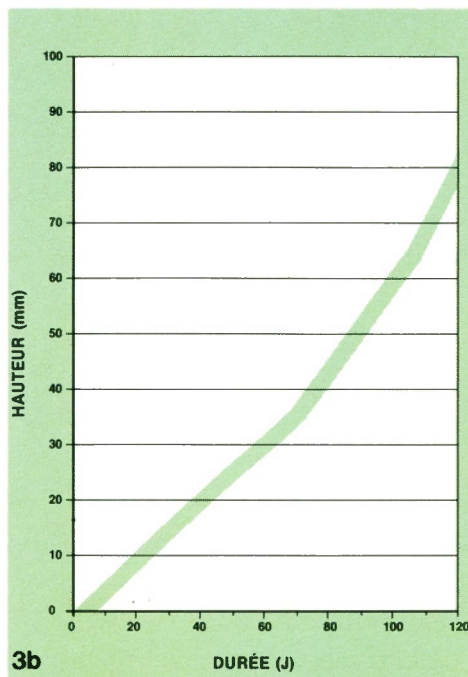
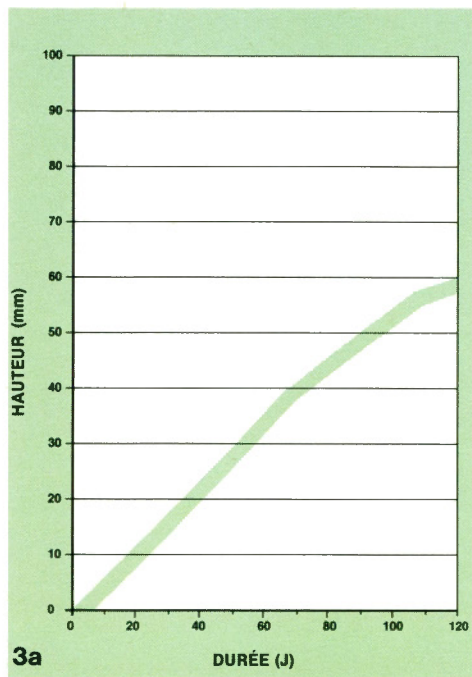


Figure 5 La répétition 2 du traitement 8 après 119 jours de croissance

Second repetition of treatment 8 after 119 days of growth

Figure 6 La répétition 2 du traitement 13 après 119 jours de croissance

Second repetition of treatment 13 after 119 days of growth



Tableau 3 Évolution de la croissance en hauteur (moyenne) dans le temps par répétition pour les traitements 4 (tableau 3a), 8 (tableau 3b), 12 (tableau 3c) et 13 (tableau 3d)

Changes in height growth (average) over time by repeating treatments 4 (Table 3a), 8 (Table 3b), 12 (Table 3c) and 13 (Table 3d)

traitements, dont on a appliqué seulement une ou deux doses, présentent des résultats guère différenciés. Les mélèzes sont plus petits que lors des traitements ayant subi plusieurs applications. On constate que lorsque la boue a été enfouie, les résultats sont légèrement meilleurs, à dose égale, que leurs équivalents fertilisés en surface.

La biomasse des tiges inclut aussi celle des feuilles. C'est une mesure qui est particulièrement intéressante car elle permet de constater plus globalement les résultats d'une expérience (tableau 3). Non seulement intègre-t-elle la hauteur et le diamètre des tiges, mais c'est de plus la valeur qui est finalement recherchée lors de la production de fibres, puisqu'elle donne la matière totale produite.

Les traitements qui ont donné les plus petites masses sont ceux qui ont reçu une seule application de boue. Par contre, la dose totale d'azote combinée au nombre d'applications semble avoir provoqué un effet. C'est ainsi que la dose de 125 kg N/ha est meilleure que les doses de 50 kg N/ha et 25 kg N/ha, et à l'intérieur de la dose de 125 kg N/ha, cinq applications répétées de 25 kg N/ha (traitement 8) ont produit plus de biomasse qu'une seule application de 125 kg N/ha (traitements 4 et 20).

Si l'on passe aux traitements ayant reçu 9 et 17 applications, ce sont ceux qui ont reçu le plus de boue en tout et qui présentent les meilleurs résultats, sauf pour les traitements 11 et 12 où c'est l'inverse (fig. 7a, 7b, 7c et 7d).

En conclusion, les boues constituent un bon fertilisant forestier quand il s'agit d'améliorer un substrat voué à la croissance du mélèze laricin. Même si cette expérience a été menée en serre, il serait fort probable que des résultats semblables seraient obtenus sur le terrain.

Il est difficile d'identifier avec exactitude la dose et le nombre d'applications idéales. D'une part, on peut déjà conclure, d'après les résultats expérimentaux, que pour une même dose totale, la production de biomasse est plus grande qu'avec des applications répétées comparativement à une application massive (le traitement 9 est meilleur que le traitement 7 et le 8 est meilleur que le 4). D'autre part, les coûts associés à plusieurs applications sont plus élevés. En outre, pour un même nombre d'applications, des doses plus grandes produisent de meilleurs résultats (le traitement 15 est meilleur que le 14, lui-même meilleur que le 13).

Les résultats indiquent aussi qu'un plus grand nombre d'applications, avec des petites doses à chaque fois, donnent de meilleurs résultats qu'un plus petit nombre d'applications avec des doses plus grandes (le traitement 14 est meilleur que le traitement 12). Le traitement 13 est une exception car cette dose de 6,25 kg N/ha-sem. ne produit jamais les meilleurs résultats.

Il aurait été intéressant d'étudier le comportement d'un traitement ayant reçu une application (massive) de 425 ou 450 kg N/ha afin de le comparer avec les traitements qui ont reçu cette dose de façon cumulative. Finalement, nous ne pouvons pas déterminer si l'enfouissement est préférable à la fertilisation en surface, les différences entre ces traitements n'étant pas assez importantes.



Figure 7(a) La répétition 2 du traitement 12 après 25 jours de croissance  
(b) après 69 jours de croissance  
(c) après 105 jours  
(d) après 119 jours

Second repetition of treatment 12 after 25 days of growth  
(b) after 69 days  
(c) after 105 days  
(d) after 119 days

Cette expérience en serre a révélé qu'une plus grande proportion de biomasse a été produite en utilisant les boues résiduelles comme fertilisant. Puisque les boues pro-

duites devront être déposées quelque part, il est logique d'en tirer le meilleur parti possible en les recyclant.

M. Yvon Grenier est ingénieur forestier de l'Université Laval (1982) et possède une maîtrise en Sciences de l'eau de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS-Eau) de l'Université du Québec. Il a travaillé en foresterie au Québec, en Irlande et en Finlande. Il a aussi été assistant de recherche à l'INRS-Eau, où il a travaillé à l'enlèvement des métaux des boues résiduelles par des processus biologiques. Il est maintenant à la tête d'une firme de consultation dont les intérêts professionnels vont vers le recyclage, l'amélioration de la qualité de l'environnement et la valorisation des boues résiduelles.

Docteur en génie chimique de l'Université Laval, M. Denis Couillard est professeur depuis 1971, et titulaire depuis 1981, à l'Institut national de la recherche scientifique (INRS-Eau).

M. Couillard bénéficie actuellement de subventions provenant de plusieurs milieux pour ses travaux de recherche sur le traitement des eaux usées et sur l'impact des rejets dans le milieu environnemental.

M. Couillard est également récipiendaire de nombreux prix, et auteur de plusieurs articles scientifiques et de rapports de recherche.

L'article publié dans ce numéro ne couvre qu'un des aspects du projet mené par les auteurs. Une version plus détaillée existe sous forme d'une thèse de maîtrise déposée à l'INRS-Eau sous le titre « La valorisation des boues d'usine d'épuration des eaux en fertilisation forestière ».

This research project had two objectives: upgrading, or recycling, residual sludge produced by water-treatment plants, and increasing silvicultural yields through fertilization.

We conducted an experiment in greenhouses over a four-month period. We grew larches in sand fertilized with varying quantities of anaerobic sludge. The experiment proved conclusively that sludge from water-purification plants can be put to good use in forest fertilization.

This article is also available in English.

**RESOURCES**

DATE RECEIVED JUL 1 1987

DATE CHECKED JUL 1 1987

DATE INDEXED JUL 1 1987

---

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

---

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

---