



Énergie, Mines et  
Ressources Canada  
L'hon. Jake Epp,  
Ministre

Energy, Mines and  
Resources Canada  
Hon. Jake Epp,  
Minister



Affaires extérieures et  
Commerce extérieur  
Canada

Le très hon. Joe Clark  
Ministre

External Affairs and  
International Trade  
Canada

Right Hon. Joe Clark  
Minister

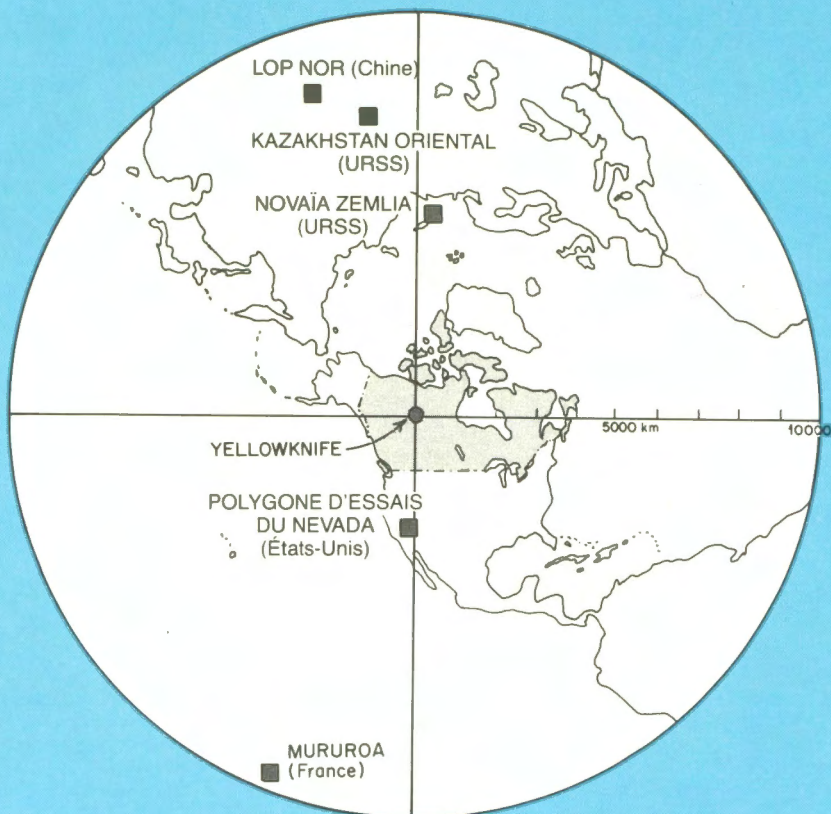
# *L'ENSEMBLE SISMOLOGIQUE DE YELLOWKNIFE*



Une contribution canadienne  
vers la vérification  
du respect d'un traité  
interdisant des essais nucléaires

Canada





Commission géologique  
du Canada

Énergie, Mines et  
Ressources Canada

Direction du contrôle des  
armements et du désarmement

Affaires extérieures et  
Commerce international Canada

This document was produced  
by scanning the original publication.

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

## PRÉFACE

---

Un objectif de la politique canadienne en matière de contrôle des armements et de désarmement est une interdiction complète de tout essai d'engin nucléaire, et ça, le plus tôt possible. Afin d'arriver à ce but, le Canada travaille de concert avec la communauté internationale, en vue de mettre au point des moyens fiables de vérifier le respect d'un traité d'interdiction des explosions nucléaires souterraines. Depuis la création du Groupe spécial d'experts scientifiques au sein de la Conférence du désarmement à Genève en 1976, des experts canadiens participent activement aux mesures de coopération internationale en vue de la détection et de l'identification des événements sismiques.

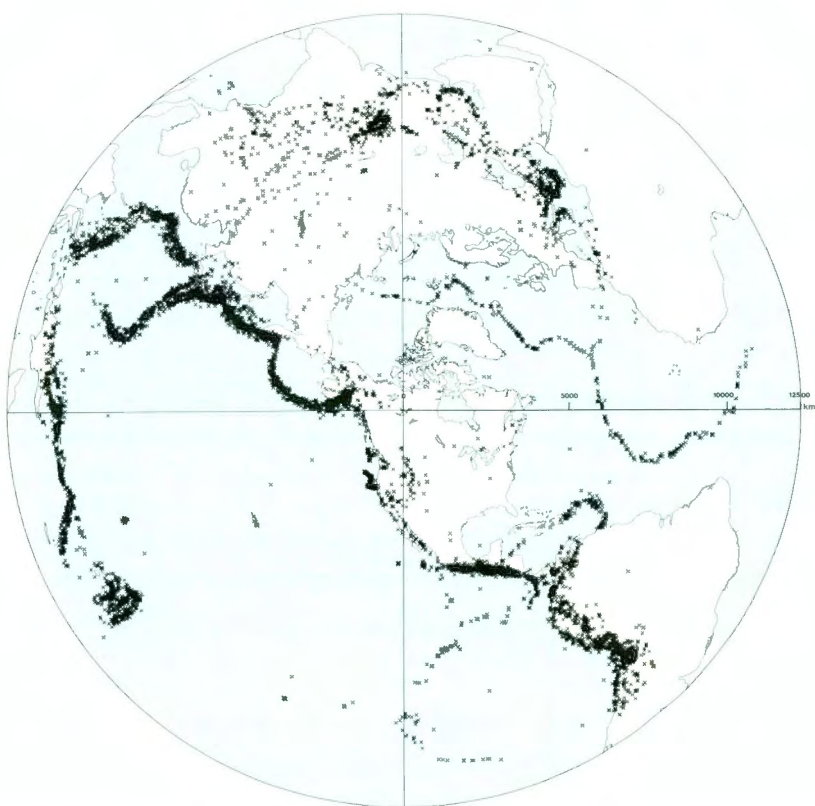
Dans le cadre d'une contribution nationale visant la mise sur pied d'un système de surveillance sismique global, des scientifiques canadiens, depuis le début des années 60, exploitaient l'ensemble sismologique de Yellowknife ainsi que d'autres installations sismologiques de nature canadienne et globale, afin d'effectuer des recherches sur la détection et l'identification des explosions nucléaires souterraines. Pendant la période s'étendant de 1986 à 1989, le gouvernement canadien modernisait l'ensemble de Yellowknife, mettant à profit des progrès récents dans les domaines de l'instrumentation sismographique, de l'informatique et de la télématique.

La présente brochure décrit l'ensemble de Yellowknife sous sa configuration actuelle (au milieu de 1989) après avoir passé en revue son historique.





La Commission géologique du Canada, un secteur au sein du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, exploite l'ensemble de Yellowknife et effectue des recherches sur la vérification sismique. Ces travaux servent d'appui à la politique du ministère des Affaires extérieures et du Commerce international en matière de contrôle des armements et de désarmement.



*Échantillon d'événements recueillis par l'ensemble sismologique de Yellowknife au cours de sept années (1978 à 1984), dont le plus grand nombre sont des tremblements de terre. Toutefois, certaines explosions nucléaires souterraines figurent parmi eux (voir les polygones d'essais à la figure précédente).*

## *HISTORIQUE DE L'ENSEMBLE SISMOLOGIQUE DE YELLOWKNIFE*

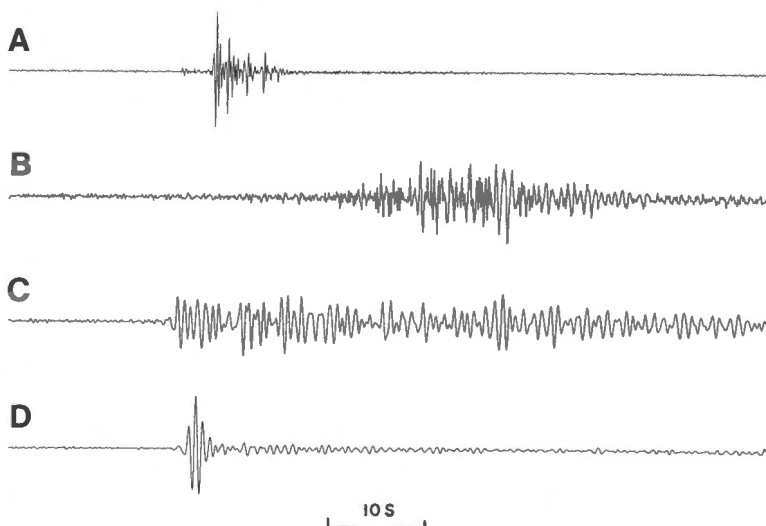
---

La première série de négociations sur une interdiction globale des essais d'explosion nucléaire s'est déroulée à Genève, à la fin des années 50, entre les états possédant des armes nucléaires, soit l'U.R.S.S., le Royaume-Uni (R.-U.) et les États-Unis (É.U.). En 1958, des sismologues de plusieurs pays, y compris le Canada, étaient inclus dans les délégations techniques à la «Conférence d'experts chargée d'examiner des méthodes pour détecter des infractions d'un accord possible sur un moratoire des essais nucléaires». Les experts sont venus à la conclusion que des explosions nucléaires souterraines, dans l'intervalle de 1 à 5 kilotonnes, pouvaient être détectées et identifiées, si des installations sismologiques étaient établies à 170 postes de contrôle terrestres. Bien que des études ultérieures aient révisé ces recommandations préliminaires, des recherches ont commencé presque immédiatement afin de préciser le type d'installation sismographique qui conviendrait.

Le Royaume-Uni a débuté ses expériences par l'installation d'un petit ensemble sismologique au Wyoming, aux États-Unis, qui a servi à démontrer qu'on pouvait détecter assez efficacement les ondes sismiques provoquées par des explosions nucléaires à des distances de 3000 à 10 000 km. Par contraste à une station sismographique standard, où un seul ou quelques détecteurs (sismomètres) sont installés à un emplacement unique, un ensemble comprend plusieurs sismomètres répartis sur une région. Le traitement par ordinateur des données ainsi recueillies permet l'orientation de l'ensemble, à la manière d'une antenne, afin non seulement de rehausser la détection de signaux sismiques mais également d'estimer, d'une façon indépendante, les emplacements des événements sismiques à l'origine de ces signaux.

Le Royaume-Uni concentrait donc ses recherches sur l'intervalle de distances lointaines (télésismiques), intervalle de 3000 à 10 000 km. En outre, il a modifié ses ensembles de sorte que 20 sismomètres soient répartis sur une région de 25 km de diamètre. Quatre de ces ensembles étaient installés en Écosse, au Canada, en Australie et en Inde au début des années 60 et sont toujours en service.

En avril 1962, le Ministère de la défense britannique s'est adressé à la Commission canadienne de recherche sur la défense, à propos des possibilités de situer un ensemble sismologique au Canada. On a signé un accord aux termes duquel le Royaume-Uni fournirait et installerait tout l'équipement et le Canada se chargerait du site et de toute construction nécessaire et, par l'entremise de son ministère des Mines et des Relevés techniques, maintenant devenu



*Exemples d'événements sismiques détectés à Yellowknife. (A) sautage dans une mine d'or près de Yellowknife; (B) tremblement de terre de magnitude modérée, localisé à 500 km à l'ouest de Yellowknife, dans la région de Nahanni des Territoires du Nord-Ouest; (C) tremblement de terre provenant des îles Kouriles (U.R.S.S.); (D) explosion nucléaire souterraine provenant du polygone d'essais français dans le Pacifique du Sud, à une distance d'environ 10 000 km de Yellowknife.*



*Station périphérique avec le boîtier d'équipement électronique monté sur le mât radio, ainsi que le réservoir de propane servant à alimenter les génératrices thermoélectriques. Le sismomètre (hors de vue) est installé à proximité dans une voûte peu profonde creusée dans le granite.*

ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, fournirait le personnel requis pour l'exploitation de l'ensemble.

On a choisi la région de Yellowknife en raison de sa situation par rapport aux polygones d'essais nucléaires connus, de son éloignement des côtes, des centres urbains et d'autres sources humaines de bruit de fond sismique, de ses bonnes installations de communication et, en plus, de sa localisation sur le Bouclier canadien stable. L'installation de l'ensemble était achevée vers la fin de l'année 1962.

L'ensemble original comptait 19 voûtes pour sismomètres, distantes chacune de 2,5 km et disposées en croix. Le signal provenant de chaque sismomètre modulait l'amplitude d'une tonalité audio qui était transmise au Centre de contrôle au moyen de câbles suspendus sur des trépiéds en



bois. Au Centre de contrôle, on enregistrait ces signaux sur bande magnétique MF à 24 voies, et chaque bobine stockait les données de trois jours. Les voûtes étaient alimentées en électricité à partir du Centre de contrôle au moyen de ces mêmes câbles.

L'entretien des câbles posait un problème majeur à l'exploitation de l'ensemble original. La foudre, au cours d'orages violents, pouvait occasionner assez de ruptures de câbles et de dommages à l'équipement pour mettre en panne tout l'ensemble pendant quelques jours. En 1971, on a mis fin à ce problème en remplaçant les câbles par des liaisons radio THF entre chaque voûte et le Centre de contrôle. En outre, à chaque voûte, on installait des génératrices thermoélectriques utilisant du propane comme combustible.

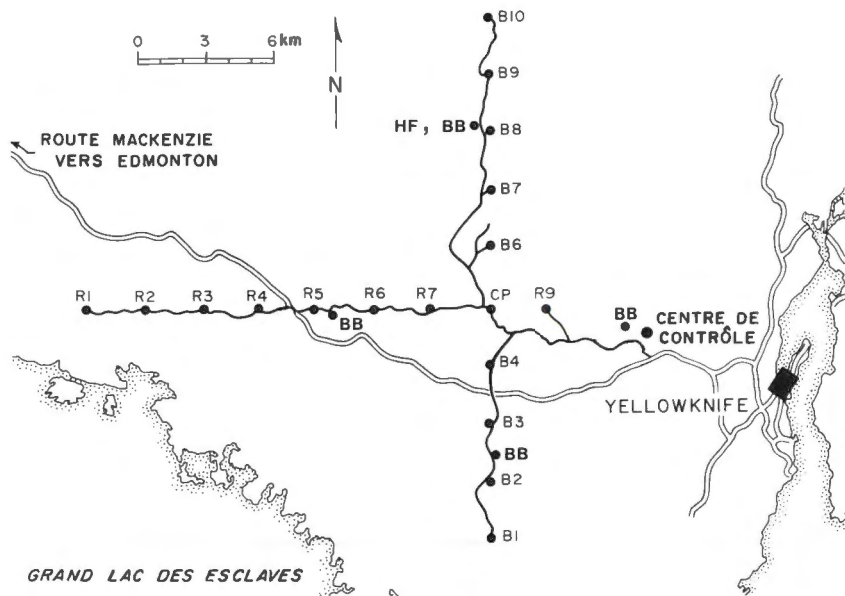
Au cours des premières années, on a réalisé plusieurs améliorations au niveau du traitement des données sismiques recueillies sur des bandes magnétiques MF. Une découverte capitale s'est produite, cependant, au début des années 70, avec la baisse des prix et l'augmentation de puissance des miniordinateurs. En 1974, l'ancien système, qui utilisait des bandes magnétiques MF, était remplacé par un ordinateur dont le logiciel effectuait, en direct, une détection automatisée de signaux sismiques, puis une ré-orientation de l'ensemble pour localiser leur source, suivi d'un stockage des données sur bande numérique. L'ensemble gardait cette configuration jusqu'au milieu de l'année 1989, période à laquelle sa remise à neuf prenait fin.

## *L'ENSEMBLE SISMOLOGIQUE DE YELLOWKNIFE EN 1989*

---

En janvier 1986, le Cabinet fédéral, répondant à une proposition conjointe des ministères de l'Énergie, des Mines et des Ressources et des Affaires extérieures, a





*Nouvelle configuration de l'ensemble de Yellowknife. Le nouvel ensemble télésismique se sert des mêmes voûtes que l'ancien. Les quatre voûtes de station à bande large sont désignées par les lettres «BB» et le site à haute fréquence par les lettres «HF».*

approuvé un projet de modernisation important de l'ensemble de Yellowknife et a, par la suite, autorisé à cette fin une affectation de 3,5 millions de dollars répartis sur trois ans, soit de 1986 à 1989.

Dans sa nouvelle configuration, l'ensemble de Yellowknife maintient la disposition «en croix» de l'ensemble télésismique original. Toutefois, on a remplacé à fond l'équipement des stations périphériques qui se compose d'un sismomètre, d'un dispositif d'alimentation et de matériel de radiotélémetrie. À chacune des stations, les améliorations les plus notables sont la numérisation à haute résolution sur place des signaux de sortie du sismomètre ainsi que leur transfert au Centre de contrôle par radiotélémetrie numérique à ultra haute fréquence (UHF).

En outre, quatre nouvelles stations «à bande large» ont été installées dans des voûtes aménagées dans des tunnels, chacune dotée de sismomètres à trois composantes, sensibles aux vibrations du sol sur une gamme très large de fréquences et d'amplitudes. Dans une des nouvelles



*Voûte de station à bande large. Afin de garder une température stable et de réduire au minimum l'inclinaison du sol due aux changements de pression atmosphérique, les voûtes abritant les sismomètres à bande large sont situées dans des tunnels horizontaux, creusés à une distance d'environ 10 m dans une falaise de granite. Les sismomètres sont, en outre, protégés par deux portes isolées.*



*Bâtiment abritant le Centre de contrôle à Yellowknife. À droite, les antennes UHF, montées sur la tour rouge et blanc, captent des données émises depuis des stations périphériques. Le véhicule tout terrain rouge stationné au garage est le seul moyen de transport terrestre permettant d'assurer l'entretien de ces stations. On voit, au centre gauche de la photo, l'antenne parabolique de la liaison commutée Terre-satellite Anik.*

voûtes se trouve aussi un groupe de sismomètres à trois composantes de haute fréquence qui font l'échantillonnage des vibrations du sol à une cadence de 100 fois à la seconde. Les signaux de tous les détecteurs sont numérisés sur place, comme le sont ceux de l'ensemble télé-sismique, avant d'être transmis par radiotélé-métrie au Centre de contrôle.

Abrités dans un nouveau bâtiment, les ordinateurs et la télématique du Centre de contrôle travaillent ensemble à l'acquisition des données, à leur stockage sur disque optique et à leur remise en forme en vue de leur transmission par satellite Anik vers Ottawa en temps presque réel. À l'aide des signaux horaires d'un autre satellite, on s'assure que tous les sismomètres procèdent à un échantillonnage synchrone des vibrations du sol. Les processus minutieux de correction et de retransmission de données réduisent au minimum les possibilités de perte de données sur les liaisons radio et satellites.

Dès leur réception à Ottawa, les données sont traitées en mode automatique et en mode interactif afin d'en extraire les signaux d'événements enregistrés à Yellowknife et, par



*Bâtiment de sismologie à Ottawa, montrant, sur le toit, la liaison commutée satellite Anik-Terre.*



la suite, de fournir une estimation rapide de l'heure, de l'emplacement et de l'ampleur des tremblements de terre ou des explosions qui les ont engendrés. Les nouveaux systèmes de traitement sont de beaucoup plus exacts et plus flexibles que les systèmes antérieurs. Deux systèmes de disque optique enregistrent des données en continu ainsi que celles correspondant à des fichiers-événements.

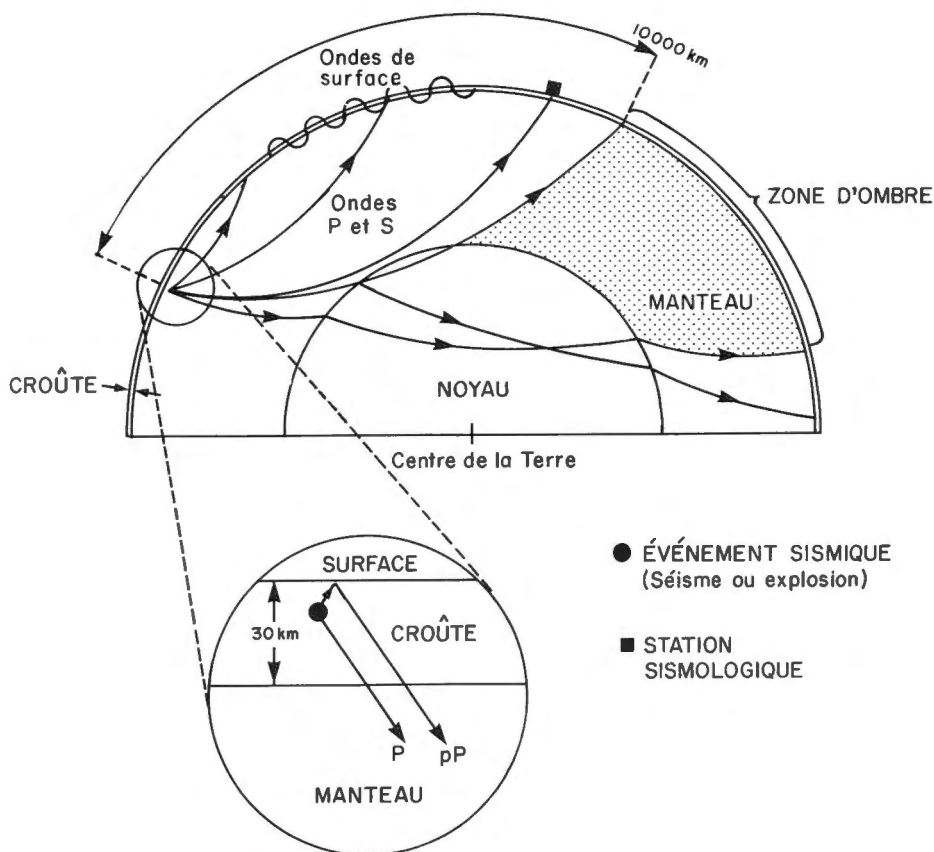
La conception des nouveaux systèmes met l'accent sur la fiabilité. Les ordinateurs à Yellowknife et à Ottawa sont tous équipés d'ordinateurs complémentaires de secours. On a vu à les munir de dispositifs d'alimentation ininterrompue, comprenant des batteries d'accumulateurs et une génératrice à diesel. Les logiciels comprennent des mesures de rattrapage de données sur la liaison satellite, au cas où cette liaison ou les systèmes de traitement à Ottawa seraient interrompus.



*Ordinateurs (au fond) servant au traitement automatisé et à l'analyse, au laboratoire de sismologie à Ottawa, soit le centre de contrôle principal du réseau sismologique canadien.*

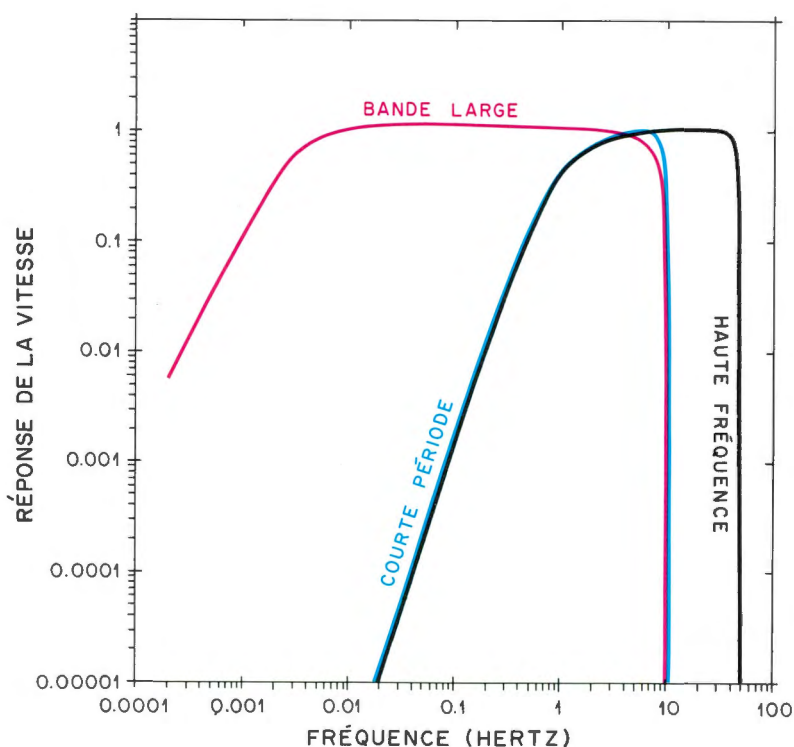
## LA «FENÊTRE» DE YELLOWKNIFE SUR LES ÉVÉNEMENTS SISMOIQUES

Étant donné la structure interne de la Terre, les ondes sismiques de volume, qui traversent la Terre, peuvent être détectées assez facilement par des sismographes sensibles jusqu'à des distances d'environ 10 000 km (fenêtre télé-sismique) de la source, qu'il s'agisse d'un tremblement de terre ou d'une explosion souterraine. Les stations plus éloignées se trouvent dans une «zone d'ombre» parce que les ondes sont infléchies vers le noyau de la Terre.



*Coupe transversale de la Terre montrant les chemins empruntés par les ondes sismiques de volume et de surface.*

Grâce à la fenêtre téléseismique de Yellowknife, l'ensemble peut surveiller plusieurs des zones sismiques de la Terre, ainsi que tous les polygones pour l'essai d'explosions dont se servent actuellement les cinq états possédant des armes nucléaires. (Le Royaume-Uni se sert du polygone d'essais américain au Nevada.) L'ensemble nouvellement modernisé permet une vue plus détaillée par cette fenêtre.



*Courbes de réponse des trois types de sismographes dont est doté l'ensemble de Yellowknife. Les détecteurs téléseismiques (SP) sont sensibles à l'énergie sismique se manifestant dans une bande de fréquence étroite, située entre 2 et 7 Hertz. Les instruments à haute fréquence (HF) sont sensibles aux fréquences allant jusqu'à 50 Hertz. Les instruments à bande large (BB) sont sensibles à une gamme de fréquences plus large, allant de 0,003 Hertz (période de 300 secondes) jusqu'à 7 Hertz.*



## *SIGNAUX SISMIQUES À BANDE LARGE DE HAUTE FIDÉLITÉ*

---

Pour capter des signaux sismiques, les systèmes de sismographes précédents utilisaient des bandes passantes étroites, à courte et à longue période, afin de maximiser la probabilité de détection des signaux provenant de sources éloignées. Toutefois, les détails des sources sismiques, surtout celles de magnitude supérieure à 5, se manifestent dans le spectre à bande large des ondes sismiques. Les événements les plus importants créent des ondes de surface ayant des périodes d'oscillation parfois aussi longues qu'une heure. On n'a que récemment mis au point des instruments susceptibles d'enregistrer les ondes correspondant à toute une gamme de périodes ainsi que les systèmes électroniques capables de convertir en numérique avec précision de tels signaux.

Après un filtrage convenable, les données de l'ensemble à bande large, formé des quatre sites à bande large, permettent la détection très efficaces des ondes de surface. Une des meilleurs méthodes pour distinguer entre une explosion et un tremblement de terre, est la comparaison des amplitudes des ondes de volume à celles des ondes de surface. D'autres informations sur les caractéristiques propres à la source, également utiles à l'établissement de cette distinction, sont extraites des signaux à bande large, que l'on peut maintenant enregistrer à Yellowknife.

## *ÉVÉNEMENTS SISMIQUES LOCAUX ET RÉGIONAUX*

---

Des événements sismiques régionaux, qui se produisent à moins de 2 000 km d'une station sismologique, créent des ondes sismiques très complexes à cause de la structure compliquée de la croûte terrestre. Des événements locaux,

jusqu'à une distance de 400 km, peuvent engendrer des vibrations du sol à des fréquences plus élevées que 50 Hertz (cycles par seconde). Selon des études récentes en Scandinavie, des fréquences atteignant 20 Hertz peuvent être enregistrées jusqu'à 4 000 km d'une source. Dans le cas de l'ensemble modernisé de Yellowknife, l'instrumentation spéciale à trois composantes de haute fréquence fournit des données de haute qualité, de sources régionales et locales, aux fins d'études semblables en Amérique du Nord.

L'enregistrement à courte distance de faibles événements sismiques pourrait prendre beaucoup d'importance à l'égard de la surveillance du respect d'un traité interdisant des essais nucléaires sur les territoires des états possédant des armes nucléaires. De nouvelles études ayant recours aux données de Yellowknife pourraient contribuer à établir les caractéristiques de futures stations à courte distance.

## *LA COOPÉRATION INTERNATIONALE SE POURSUIT*

---

Le Groupe spécial d'experts scientifiques de la Conférence du désarmement de Genève cherche présentement à mettre sur pied une expérience d'échange international de données sismologiques à grande échelle. Le Canada continue d'apporter un appui solide au travail de ce Groupe et projette également de contribuer des données recueillies par l'ensemble de Yellowknife et d'autres stations sensibles du réseau national sismographique à l'expérience en question, prévue pour 1990. On espère que, dans un proche avenir, un système mondial de surveillance sismique rendra possible la vérification du respect d'un traité interdisant des essais nucléaires.