SEISMICITE INDUITE AU RESERVOIR DE MANIC 3, PROVINCE DE QUEBEC

par

G. Leblanc et F. Anglin

Service Séismologique du Canada

Rapport Interne 76-7

Division de la séismologie
et des études géothermiques

Direction de la physique du globe

juillet 1976

This document was produced by scanning the original publication.

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

TABLE DES MATIEPES

Introduction		1
Ch. I	Notes Historiques	2
Ch. II	Séismicite Induite à Manic 3	9
Ch. III	Relevés Séismiques	19
Ch. IV	Etudes des Courants Magnétotelluriques	39
Ch. V	Relevés Microgravimétriques et Levés de Planimétrie	41
Ch. VI	Relevés D'Accéléromètres	43
Conclusions et Recommandations		45
Remerciements		47
Bibliographie		48
Appendice I	Activité Séismique Enregistrés à MNQ	49
Appendice II	Activité Séismique Enregistrés à T2	55
Appendice III	Magnetotellurics at Manicouagan - 3	62
Appendice IV	Magnetotellurics at Manicouagan - 3 Field Notes by R.D. Kurtz	67
Appendice V	Installation de stations gravimétrigues précises dans le voisinage de Manic 3	73
Appendice VI	Report of the Geodynamics Section Computation of Surface Yield due to Reservoir Loading near Manic 3A Dam	75
Appendice VII	Memorandum from J.H. Raines re Strong-Motion Seismographs at Manic 3	79

INTRODUCTION

Le 23 octobre 1975, un tremblement de terre de magnitude 4.3 se produisait à environ 10 km en amont du barrage Manic 3, à la Manicouagan, Québec. Ce tremblement de terre, avait été induit par le remplissage du réservoir qui avait débuté le 5 août 1975. Comme il s'agit du premier cas connu de séismicité induite au Canada, ce phenomène mérite une analyse minutieuse. Le but du présent rapport est de ramasser toute l'information disponible tant sur les évènements qui précédèrent et suivirent le séisme que sur toute l'activité scientifique qu'il occasionna. Cette information pourra servir à la préparation de rapports scientifiques ainsi qu'à la planification d'autres travaux sur le terrain. Du même coup le présent rapport servira à informer l'Hydro-Québec et remplacera les rapports trimestriels publiés depuis le début du projet conjoint à la Manic. A cause de la collaboration intense au cours des derniers huit mois entre la Direction de la physique du globe (DPG) et l'Hydro-Québec, il semble normal aussi de partager avec cet organisme la connaissance des difficultés encourues. Ceci permettra à tous de mieux saisir la raison d'être des recommandations qui semblent s'imposer après plusieurs mois de recherches.

CHAPITRE PREMIER

NOTES HISTORIQUES

L'Hydro-Québec a commencé en 1959 le développement du complexe hydro-électrique Manicouagan-Outardes. A cause des dimensions gigantesques, du nombre de barrages et de réservoirs créés, ce complexe est l'un des plus grandioses et des plus audacieux au monde. Sa capacité de 5.5 millions de kilowatts en est le témoin. Les structures à voûtes multiples du barrage de Manic 5, appelé aussi Daniel Johnson, donnèrent beaucoup de notoriété à l'Hydro-Québec durant les années soixantes. Il ne faudrait toutefois pas oublier que le complexe Manic-Outardes comprent seize autres barrages. La hauteur et le volume d'eau de plusieurs de ces réservoirs, soit de Outardes-3 et Outardes-4, de Manic 3 et Manic 5 attirent immédiatement l'attention du scientifique qui examine ces données sur une échelle internationale.

Le phénomène de séismicité induite n'est pas nouveau; même si quelques larges tremblements de terre furent induits au cours des années 1930-1940 il faut admettre que c'est surtout à partir des années soixantes que le phénomène capta l'intérêt tant des séismologues que des constructeurs de barrages. On peut se demander comment il se fait que l'Hydro-Québec, dont les capacités d'ingénierie et de technologie avaient acquis une réputation internationale dès les années soixantes, retarda jusqu'en 1974 la surveillance de l'activité séismique à Manicouagan? En effet, une station séismologique, avec le code international MNQ, opère depuis novembre 1974. Située entre Manic 5 et Manic 3, cette station joua un rôle clé dans la détection de l'activité séismique induite à Manic 3. En réponse à la question

posée, il sera très utile de refaire brièvement l'historique des évènements. De ces faits, il est possible de tirer quelques conclusions, tout en s'abstenant de déterminer les responsabilités.

En 1969, le Dr. Paul LeComte, Chef de la division des études spéciales à l'Hydro-Québec, discutait avec le Dr. Gabriel Leblanc, à cette époque, professeur de Géophysique à l'Université Laval, la possibilité d'étudier les micro-tremblements de terre à la Manicouagan. L'absence de fonds alloués à ce genre d'étude par les dirigeants de l'Hydro-Québec semble expliquer l'avortement de cette première tentative. Deux années passèrent. Le 22 novembre 1971 le Dr. P. LeComte recontacta le Dr. Leblanc, maintenant à la DPG, Ministère de l'Energie, des Mines et Ressources à Ottawa, au sujet du risque séismique près des barrages de la Manicouagan et à la Baie James, et plus particulièrement sur la possibilité d'un projet conjoint de surveillance séismique. La première réunion entre le personnel de l'Hydro-Québec intéressé à ce projet et le personnel de la DPG eut lieu à Ottawa le 28 janvier 1972, sous la présidence du Dr. K. Whitham, alors Chef de la Division de séismologie. Un représentant du Conseil National de Recherches du Canada était aussi présent, puisque les discussions devaient aussi porter sur l'installation d'accéléromètres dans les différents barrages à la Manic. Durant cette rencontre la séismicité de l'est du Canada fut passée en revue. Le niveau de détection du réseau national, tant pour la Manic que pour la Baie James fut discuté. Le problème de séismicité induite fut exposé, ainsi que la nécessité de stations locales expliquée. Les coûts d'un réseau et les dépenses pour

obtenir le personnel requis pour l'interprétation furent estimés. A cette première solution, beaucoup plus coûteuse, fut ajoutée une seconde possibilité, à savoir l'installation d'une seule station qui, au début tout au moins, servirait à détecter toute activité séismique dans un rayon d'au moins 125 km. La suite des évènements, c'est-à-dire le choix par l'Hydro-Québec de l'installation d'une seule station, et le rejet de la première option, c'est-à-dire le déploiement d'un réseau, semble bien indiquer que l'Hydro-Québec n'était pas suffisamment convaincue de la menace réelle de séisme induit pour affronter les dépenses qui résulteraient de ce projet. Par ailleurs, il faut signaler que l'Hydro-Québec, désireuse de mieux connaître le comportement dynamique de ses structures, accepta d'acheter et d'installer plusieurs accéléromètres pour le barrage de Manic 5 et celui de Manic 3. Un projet conjoint entre le Conseil National de Recherches, la DPG et l'Hydro-Québec résulta de ces consultations. Notons ici que les minutes de cette réunion signalent que, à cause de l'absence regrettable de surveillance pendant les années qui précédèrent le remplissage de Manic 5, les données qui seraient obtenues sur la séismicité locale après l'installation des séismographes, ne pourraient jamais être mises en corrélation avec le passé.

Dans l'optique du projet conjoint et de l'installation d'une seule station destinée à surveiller Manic 3 et Manic 5, (voir fig. 1) il fut décidé que la station MNQ serait rattachée à Ottawa par télémétrie. L'Hydro-Québec se chargerait de la télé-communication; la DPG de son côté installerait le séismomètre et ferait l'interprétation des signaux. Ceci apparut comme un compromis logique. En retour

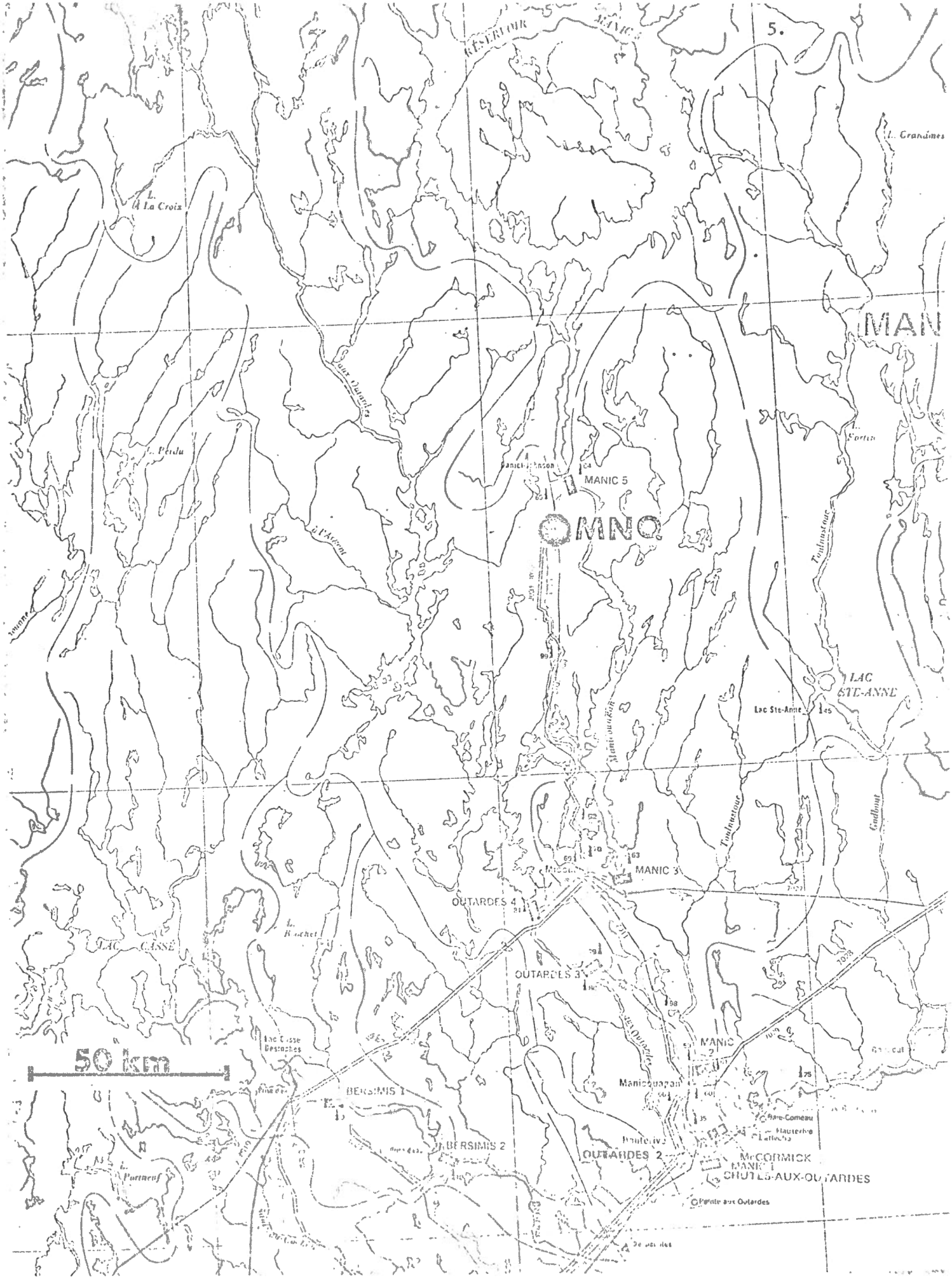


Figure 1: Situation géographique de MNQ par rapport aux barrages Manic 3 et Manic 5.

du service rendu à l'Hydro-Québec par la DPG, cette dernière bénéficierait d'une nouvelle station dans ses études de la séismicité de l'est canadien.

Le 15 décembre 1972, les autorités de l'Hydro-Québec approuvaient les recommandations quant à l'installation d'instruments séismiques, accéléromètres et séismographe, au barrage de Manic 3 et Manic 5. Le 13 mars 1973, M. T.E. Drouin, Directeur-adjoint, Projet de central de l'Hydro-Québec, définissait dans une lettre au Dr. K. Whitham les termes officiels du projet conjoint entre l'Hydro-Québec d'une part, la DPG et le Conseil National de Recherches d'autre part.

En mai 1973, quelques membres des laboratoires de séismologie de la DPG accompagnés de quelques membres de l'Hydro-Québec, se rendaient au complexe Manicouagan et procédaient à l'examen de sites propices à l'installation de la future station séismologique. En juin 1973, le site de la tour T4 de télécommunication de l'Hydro-Québec fut choisi comme étant idéal pour l'installation de la station.

Durant les mois qui suivirent, les laboratoires de la DPG et ceux de l'Hydro-Québec préparèrent de part et d'autre l'instrumentation requise pour la station séismique et la télédiffusion des données. Les techniciens de l'Hydro-Québec affrontèrent quelques difficultés dans l'obtention de certaines pièces électroniques requises pour l'injection dans le réseau micro-ondes du signal séismique à la tour T4. Ceci retarda de quelques mois l'installation de la station à son site permanent. La DPG et l'Hydro-Québec décidèrent alors de faire quelques essais de leur instrumentation respective en utilisant un site temporaire, soit à Hauterive. La télécommunication des

données à partir de Hauterive jusqu'à Ottawa commença le 18 mars 1974. Durant les 6 mois qui suivirent, l'Hydro-Québec réussit à préparer l'instrumentation requise pour le site MNQ. La télécommunication des données directement de MNQ commença le 28 novembre 1974.

Comme on le voit ici, il est important de souligner l'ampleur des délais qui s'intercalèrent entre la date des premiers pourparlers de projet conjoint et la date des premiers signaux en provenance de MNQ.

Une fois que la station MNQ fut en opération, le personnel de la DPG à Ottawa commença le dépouillement quotidien des données. A cause des nombreux travaux de dynamitage tant à Manic 3 qu'à Outardes 2, l'identification des arrivées séismiques était très délicate. Il était nécessaire d'obtenir la liste complète de toutes les explosions à ces deux chantiers. L'Hydro-Québec se charga de fournir à la DPG. ces listes, avec un délai moyen d'environ deux semaines. Il était alors possible de procéder à une analyse détaillée de tous les évènements enregistrés à la station. Des rapports trimestriels sur cette opération furent fournis par la DPG en avril 75 sur le premier trimestre et en août sur le second trimestre. En général cette façon de procéder s'avéra logique et efficace. Occasionnellement, il fut nécessaire de vérifier si l'heure et la date de quelques explosions n'étaient pas en erreur. Durant ces premiers six mois, quelques difficultés d'ordre technique furent affrontées et corrigées avec succès. La plupart de ces difficultés se produisaient dans la transmission des signaux par micro-ondes entre la station MNQ et Ottawa. Les services de la Cie Bell, utilisés entre Montréal et Ottawa furent souvent la cause de pannes. Quelques autres difficultés se produisirent à Ottawa même, dans le système d'ordinateur chargé de reconstituer le

signal séismique. Fort heureusement, il est possible de dire que vers la fin de juin 1975, l'opération était devenue assez routinière et la qualité de la surveillance très satisfaisante. Le pourcentage de télédétection couvrait 92% du temps réel.

SECOND CHAPITRE

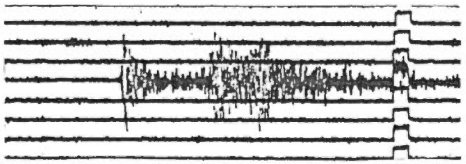
SEISMICITE INDUITE A MANIC 3

Vers la mi-septembre, le personnel de la DPG chargé d'interpréter les séismogrammes de MNQ, soit le Dr. G. Leblanc et M. F. Anglin, remarquèrent quelques évènements séismiques correspondant à une distance d'environ 80 km de la station. Ces évènements resssemblaient fortement aux signaux déjà identifiés comme des explosions en provenance du barrage de Manic 3. Toutefois les temps d'origine ne se conformaient pas aux heures de tir normales. Il fallait attendre la liste des explosions 15 jours plus tard, pour confirmer la nature de ces évènements. On peut voir sur la figure 2 que les évènements séismiques induits ressemblent beaucoup aux dynamitages. Ceci s'explique assez bien dans l'hypothèse que les séismes induits sont très superficiels et peuvent donc ressembler aux explosions qui elles aussi sont faites presque à la surface.

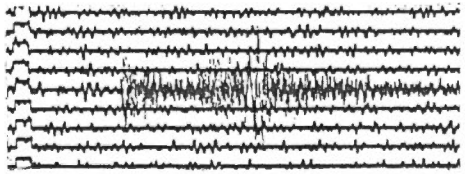
Quelques semaines plus tard, en comparant les heures des arrivées avec les heures des explosions faites par l'Hydro-Québec, il apparut que ces quelques évènements présents sur les séismogrammes n'étaient pas identifiés comme des explosions. Après avoir contacté l'Hydro-Québec pour vérifier l'absence d'explosions aux temps de ces évènements, il devint assez clair qu'il s'agissait de séismes naturels. On apprit à ce moment que le remplissage du réservoir de Manic 3 avait commencé le 5 août. Le fait que l'Hydro-Québec avait omis, ou oblié d'avertir la DPG que le remplissage avait déjà débuté peut laisser croire que l'Hydro-Québec n'était pas suffisammant convaincue du danger réel qui existe lors du remplissage d'un large

MNQ

EXPLOSIONS

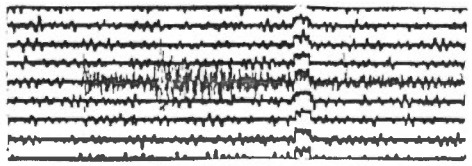


24-07-75 17400 lbs

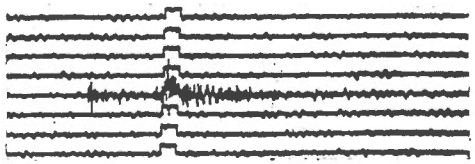


26-09-75 34600 lbs

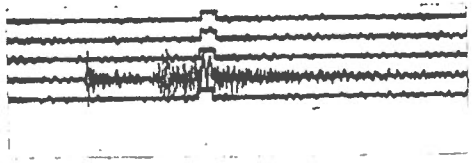
SEISMES EARTHQUAKES



27-09-75 M_1=1.0



11-10-75 M_1=1.2



11-10-75 M_1=1.2

Figure 2: Séismogrammes illustrant explosions et tremblements de terre en provenance de Manic 3

réservoir. Cette omission est d'autant plus regrettable que les statistiques disponibles sur différents cas de séismicité induite à travers le monde (voir Simpson 1975, et Gough 1976) incitent pour le moins à une grande prudence.

A partir de ce moment, le personnel de la DPG, sûrement plus conscient des dangers, insista pour une surveillance quotidienne plus intensifiée. Chaque jour où des évènements séismiques étaient lus sur les séismogrammes, on contacta l'Hydro-Québec afin de procéder à la discrimination immédiate des explosions et des séismes réels. Lorsque la magnitude et le nombre de ces évènements commencèrent à augmenter, plus particulièrement à partir du 9 octobre, la DPG fut portée à croire qu'il s'agissait en toute vraisemblance d'un cas typique d'induction séismique. L'Hydro-Québec avec qui le dialogue était devenu quotidien, par téléphone, fut mise au courant de cette opinion. Vers le 20 octobre, le Dr. G. Leblanc, chargé du projet de la surveillance séismique de Manic crut nécessaire d'avertir l'Hydro-Québec par écrit que le temps était venu d'envisager la possibilité d'un cas de séismicité induite. Dans la même lettre, la DPG manifestait son désir d'installer immédiatement des stations portatives en amont du barrage. De plus, il était fait mention que la responsabilité de continuer ou de ralentir le remplissage relevait, en toute évidence, de l'Hydro-Québec. Si on regarde l'histogramme présentée à la Fig. 3 où la magnitude du séisme maximal de chaque jour est indiquée, on peut réaliser qu'à ce moment il n'était pas facile de faire des prévisions sur l'ampleur des séismes à venir.

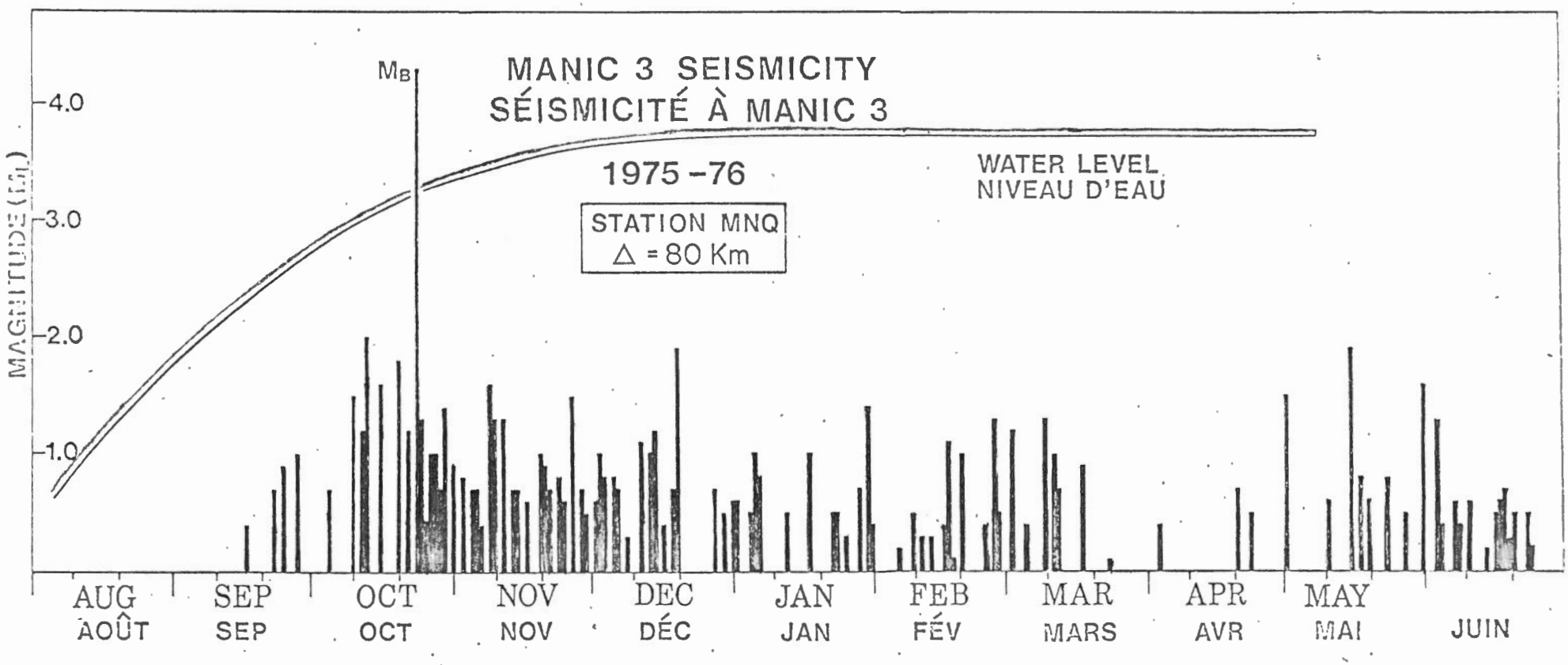


Figure 3: Histogramme illustrant la magnitude maximale enregistrée quotidiennement et la courbe de remplissage du réservoir

Le 20 octobre au soir un technicien de la DPG, M. J. Thomas, arrivait à Manicouagan et se préparait à installer deux stations portatives. Malheureusement, pour cause de mortalité, on le rappela dès les premières heures de la journée suivante. Le Dr. Leblanc se vit donc dans l'obligation d'envoyer un autre membre de la DPG à Manic. Il fut décidé que le Dr. F. Kollar, qui devait partir pour la station de Sept-Iles dans quelques jours se chargerait d'arrêter faire le déploiement des stations dans la région de Manic 3. A partir de cet instant, les évènements se précipitèrent. Le 23 octobre, à 5h 15 de l'après-midi, heure de l'est, un tremblement de terre de magnitude 4.3 se produisit. Ce tremblement de terre fut ressenti au Poste Micoua et selon des rapports difficiles à vérifier, par quelques autres employés de l'Hydro-Québec dans la région même du barrage. Rien n'avait été senti à Baie-Comeau; un autre signe que le foyer était superficiel.

Le Dr. Kollar arriva le soir même à Baie Comeau et déploya vers la fin de la soirée les stations portatives. La Direction de l'Hydro-Québec, avertie en toute urgence par le Dr. Leblanc, vers 6:30 p.m. de ce qui s'était produit, se vit dans l'obligation de prendre une décision pour ce qui concernait les équipes de travailleurs encore à l'intérieur de la centrale et des galeries. Après un long dialogue au cours de la soirée avec le Dr. Leblanc, les dirigants de l'Hydro-Québec décidèrent de ne pas permettre l'entrée de l'équipe de nuit dans les galeries. Les quelques jours de la fin de semaine furent utilisés par l'Hydro-Québec pour organiser des inspections de tous les chantiers et la lecture de tous les instruments disponibles. On décida aussi à ce moment de réduire au minimum le taux de remplissage. Celui-ci est contrôlé en grande partie par les eaux qui s'écoulent de Manic 5.

Le lendemain matin le 24 octobre 1975, le Dr. Gabriel Leblanc de la DPG préparait un communiqué de presse qu'il passa aux agences de nouvelles, tant de presse que de la radio. Ce communiqué se limitait à décrire la localisation et la magnitude de l'évènement. Aucune mention explicite de la cause de cet évènement était faite, puisque les scientifiques de la DPG n'étaient pas en mesure à ce moment, d'être dans une certitude absolue sur ce point crucial. De son côté l'Hydro-Québec préparait aussi un communiqué de presse dans lequel il était annoncé que tout le personnel travaillant à Manic 3 avait été placé en état d'alerte et retiré des galeries jusqu'à ce que des inspections sécuritaires soient terminées. Dès le mardi de la semaine suivante, lorsque les rapports des inspections faites par l'Hydro-Québec révélèrent l'absence totale de tout dégat ou de tout dommage les employés retournèrent au travail.

Le 24 octobre, le Dr. Kollar pouvait dépouiller les enregistrements des stations locales, ce qui permit de déterminer avec un peu plus de précision la localisation de l'épicentre principal et des nombreuses répliques. Il apparut alors que la profondeur des foyers était très faible, une indication assez nette en faveur du phénomène du séismicité induite.

Dans les journées qui suivirent, la collaboration entre le personnel de l'Hydro-Québec, particulièrement du Dr. Paul LeComte, de M. Jean-Paul Desbiens, de l'ingénieur en charge à Manic 3, M. R. Martin et ses assistants, particulièrement M. Boisclair, offrirent toute leur collaboration pour le déploiement dans des sites plus propices et le service quotidien des station portatives. De plus

l'Hydro-Québec offrit un membre de son personnel pour l'opération quotidienne de ces stations portatives, durant les mois qui suivirent. Ces stations portatives, au nombre de deux dès les premiers jours, furent augmentées à trois à partir du 29 octobre. Il faut ici signaler les difficultés qui s'opposaient à l'installation de stations multiples. Notons que le réservoir était encore en train d'être rempli. Il était presqu'impossible de traverser le réservoir puisque les berges étaient constamment changées. L'accès par la rive est n'était pas recommandé à cause des escarpements.

Les trois stations portatives furent installées à la station de micro-ondes T2, au village Micoua, et au barrage de Manic 3 même. Ces sites étaient donc sous la jurisdiction de l'Hydro-Québec, dans des abris qui offraient beaucoup de sécurité pour les instruments, tant contre les intempéries de la nature que contre le vandalisme.

Dans les semaines qui suivirent le choc principal, les média de communication furent référés à la DPG à Ottawa pour de plus amples informations scientifiques. La possibilité que le séisme était de nature induite fut mentionnée.

Dans les jours qui suivirent le 23 octobre, un très grand nombre de répliques furent enregistrés par le réseau de stations locales, comme on peut le voir l'histogramme de la Figure 4. Ce grand nombre de répliques permit aux scientifiques de la DPG de dissiper le doute sur la nature de l'activité séismique. En général, les séismes purement naturels de l'est du Canada ne sont pas suivis de répliques multiples. En toute évidence, il s'agissait vraiment d'une séquence typique de séismicité induite telle qu'on peut en voir dans les revues de séismologie.

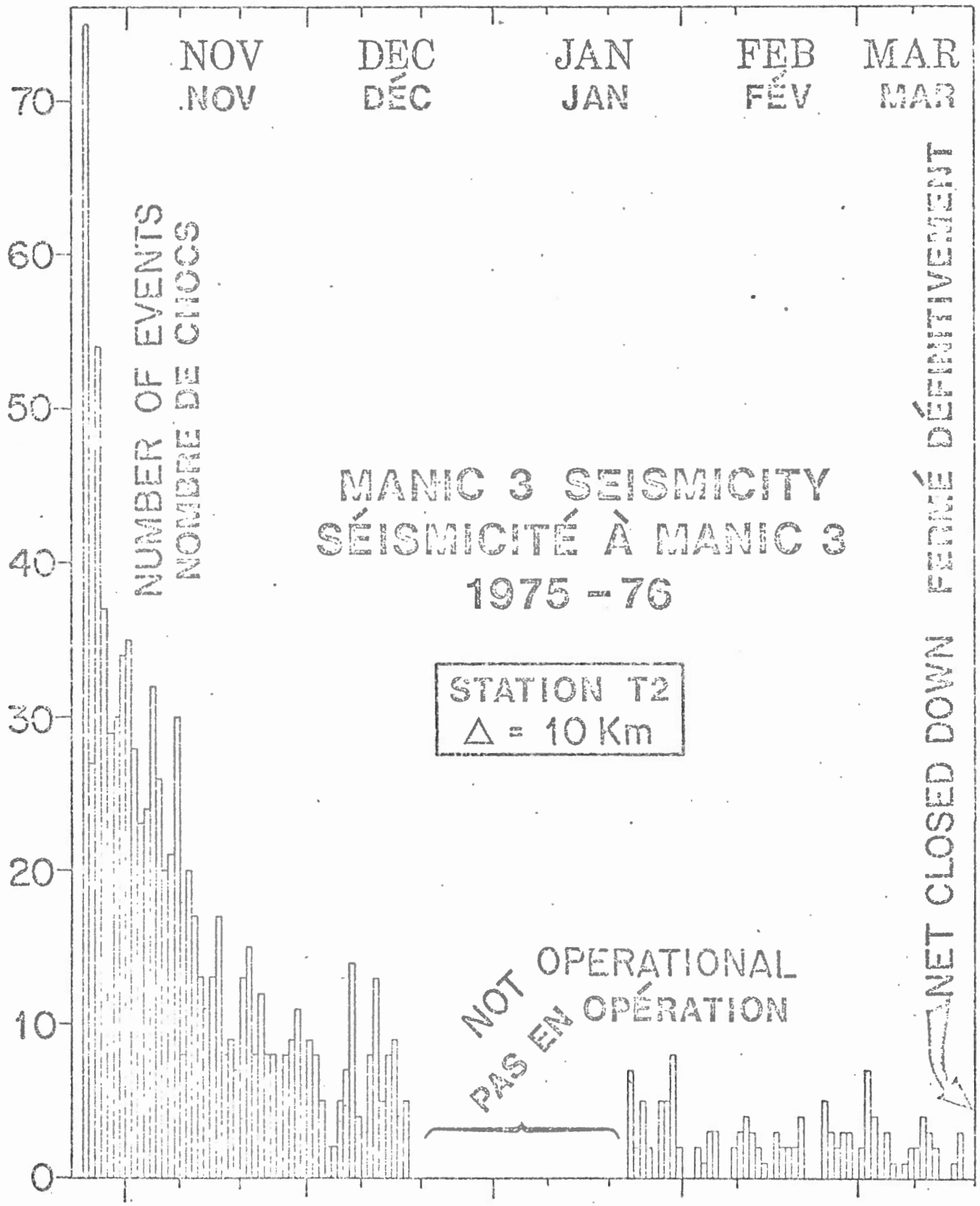


Figure 4: Histogramme des répliques enregistrée à T2

Maintenant convaicu que les séismes étaient induits par le remplissage du réservoir, le Directeur de la Division de la Séismologie et des Etudes Géothermiques, Dr. M.J. Berry, décida vers la mi-novembre de suggérer à l'Hydro-Québec, de songer à faire un second communiqué de presse sur ce point. En toute honnêteté, l'organisme fédéral se devait de partager avec le public et les autres scientifiques du monde, le fait de cette activité induite à Manic 3. L'intérêt théorique suscité aussi bien que les dangers d'autres secousses toujours probables supportaient cette décision. Dans une lettre datée du 17 novembre, l'Hydro-Québec fut avertie de cette demande de la DPG. Un mois plus tard, l'Hydro-Québec acquiescait à cette demande, et plusieurs journaux du Québec publièrent, soit intégralement ou en partie, le communiqué de l'Hydro-Québec, en date du 18 décembre.

Le 17 novembre 1975, le Dr. G. Leblanc se rendit à Montréal pour rencontrer les experts concernés de l'Hydro-Québec. Il leur exposa avec plus de details toutes les données séismologiques acquises au cours des derniers mois, ses vues personnelles et celles de ses collègues sur la nature de la cause des séismes, les possibilités à envisager et répondit aux questions posées. Le but de cette visite était d'informer l'Hydro-Québec afin de maintenir et d'intensifier la collaboration au cours des mois à venir.

Au début de décembre le Directeur Général de la DPG, Dr. K. Whitham, réunit quelques membres de chacune des Divisions afin

d'examiner dans quelles mesures les autres divisions ou encore d'autres directions pourraient contribuer à l'étude théorique de cette séquence de chocs induits. En principe, la probabilité était assez forte qu'un autre tremblement de terre, tout au moins aussi grand, se produirait dans cette région. Une étude systématique de plusieurs paramètres géophysiques pourrait donc apporter quelques éclaircissements sur tout le mécanisme de séismicité induite. Il fut donc décidé que la DPG initierait au plus tôt un programme de mesures magnéto-telluriques, (division du géomagnétisme) et un aussi des mesures microgravimétrique (division de la gravité), qui pourraient être mises en corrélation avec les mesures faites par la division de la séismologie et des études géothermiques. Enfin, il fut décidé qu'on demanderait à la direction des levés et de la cartographie de faire à l'été 1976 des mesures géodésignes de planimétrie. Ces levés établiraient des points de référence qui, advenant un autre séisme, pourraient permettre de mesurer les déformations topographiques.

Le 11 décembre 1976, les Drs. G. Leblanc, M.J. Berry, R. Kurtz et A. Lambert se rendaient à Montréal exposer à l'Hydro-Québec leur projet d'études. L'Hydro-Québec réagit très favorablement et promit d'appuyer cette recherche dans la mesure du possible. Cet appui se traduisit dans l'aide apporté lors de la visite des scientifiques de la DPG: guide, abri, transport, gîte et couvert, et coopération dans le maintien de l'appareillage, durant les mois à venir.

CHAPITRE TROISIEME

RELEVES SEISMIQUES

Nous voudrions présenter dans le présent chapitre, la majeure partie des données séismiques accumulées au cours des derniers dix mois. Nous ajouterons aussi plusieurs commentaires sur les différents problèmes qui se sont présentés durant l'acquisition de ces données. Nous avons choisi le 30 juin comme dernier jour de la période couverte par le présent rapport. Il faut toutefois indiquer que cette date est tout-à-fait arbitraire pour fin de rédaction. Les auteurs considèrent que la séquence des évènements n'est pas encore terminée.

Nous avons déjà montré dans la figure 3 la progression dans le temps des magnitudes des précurseurs. La courbe illustrant le remplissage du réservoir y est superposée. Il faut noter que les premiers chocs se produisirent environ un mois après le début du remplissage, alors que la hauteur avait à peine atteint 55 mètres. Il est à remarquer que le choc principal du 23 octobre se produisit lorsque le réservoir avait atteint 80 mètres. Signalons que la corrélation entre la croissance de la séismicité induite et la hauteur du réservoir semble frappante. La réaction du réservoir au remplissage semble presque instantané. Contrairement aux statistiques souvent présentées, la séismicité induite débuta bien avant que la hauteur "classique" de 100 mètres fut atteinte. Nous sommes d'avis que dans le cas de Manic 3, le facteur le plus

important de l'induction n'est pas nécessairement le simple changement de la pression d'eau, mais peut-être davantage les faiblesses de la structure géologique.

Dans la figure 5, nous présentons le nombre d'événements enregistrés chaque jour à la station MNQ située, comme on le sait, à une distance d'environ 80 kilomètres de la zone activée. La corrélation entre la figure 5 et la figure 3 semble assez bonne; on peut donc dire que le nombre des événements parait tout autant caractéristique que la magnitude. A la station MNQ, 244 évènements ont été enregistrés à partir du 16 septembre 1975 jusqu'au 30 juin 1976. Ce nombre correspond à une période d'opération qui couvre 97 % du temps réel écoulé. Les quelques heures de panne signalées au cours de cette période sont relativement peu nombreuses surtout en comparaison avec les pannes notées dans les trois rapports trimestriels précédents. Ces pannes furent causées en bonne partie par l'ordinateur de la DPG, très sensible aux bruits parasites de la ligne de transmission. Pour remédier à cette perte, si minime soit-elle, la DPG décida d'installer en parallèle avec l'ordinateur un second système d'enregistrement indépendant, nullement affecté par le bruit de ligne. C'est donc dire que depuis le début de juin, la surveillance de la séismicité en provenance de la station MNQ couvre 100% du temps réel.

Lorsque la figure 4 est comparée pour la même période d'opération avec la figure 5, il est assez clair que la station MNQ a rempli et peut remplir son rôle de détection d'une façon très

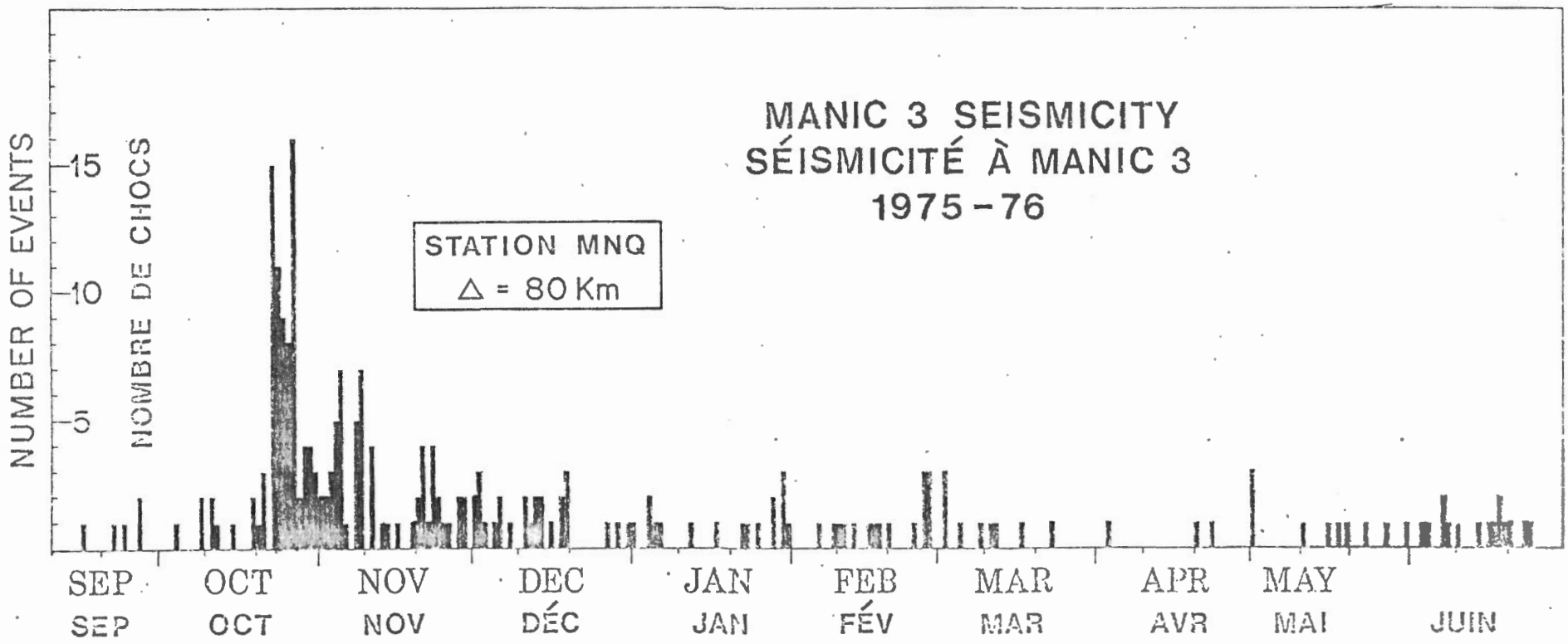


Figure 5: Histogramme des évènements comptés à MNQ

satisfaisante. Sans doute le niveau de détection est légèrement plus faible que celui des stations portatives déployées de 10 à 20 kilomètres de la source; on peut remarquer toutefois que le rythme de la séismicité est assez bien révélé par la station MNQ: les temps forts aussi bien que les temps de silence sont assez clairs.

On peut regretter ici, en regardant le passé que le réseau des stations portatives ait dû cesser son opération durant la période de vacances accordée à tous les employés de l'Hydro-Québec à l'occasion des fêtes. Cette lacune dans les données n'est pas tellement grave du côté détection mais plutôt du côté localisation des épicentres. Pour cette période de plus d'un mois, il n'est pas possible de suivre la migration des hypocentres.

On trouvera en appendice l'heure et la magnitude de tous les évènements enrégistrés à MNQ (appendice I). Dans l'appendice II, on trouvera l'heure des 998 microchocs enregistrés à la station T2. En moyenne, cette dernière était située à environ 10 kilomètres de la zone active. A cause de sa haute magnification, cette station donna d'excellents séismogrammes. On peut voir dans la figure 6, la qualité des enregistrements aux trois stations du réseau. Même pour des magnitudes très petites, le signal reste fort clair aux trois stations. Ceci permit la lecture de six temps d'arrivées, trois P_1 et trois S_1, avec une précision du vingtième de seconde.

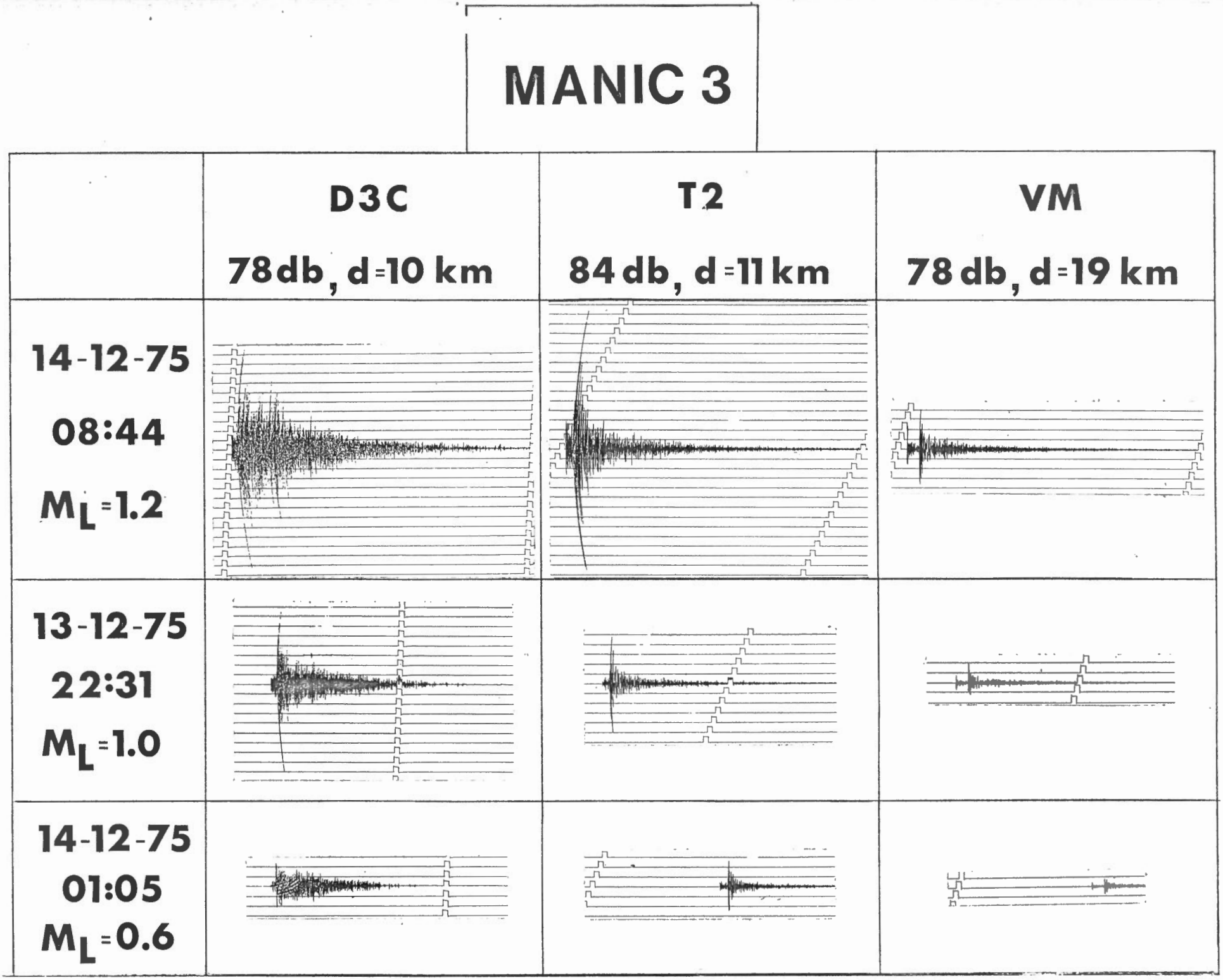


Figure 6: Signaux séismiques de trois répliques enregistrés aux trois stations portatives

INSTRUMENTATION

Un des premiers objectif d'un réseau temporaire de stations portatives est de préciser les frontières de la zone séismique. Le seul point de repère fiable dont on disposait pour optimiser la configuration du réseau portatif était la distance épicentrale obtenue à partir des enregistrements de MNQ, soit environ 80 kilomètres. On pouvait aussi logiquement supposer que la zone était rattachée à la localisation du réservoir même. Il était d'ultime importance de ne pas surmiser la précision de cette localisation en créant un réseau trop petit qui n'aurait pas inclus les répliques. Avec l'aide de l'Hydro-Québec, le Dr. Kollar en consultation avec le Dr. Leblanc choisit donc trois sites; soit D3, au barrage, VM, au Village Micoua, et T2, tour de transmission. En plus d'offir la sécurité d'un abri et l'accès facile, ces sites étaient aussi près que possible de la zone critique et dans des directions variées. Voir figure 7 pour les sites, relativement aux épicentres et au barrage. Le seul site qui dut être déplacé, parce que trop exposé au bruit des travaux de construction, fut D3. La table 1 donne les coordonnées des stations. Il faut expliquer que la rive est n'est pas accessible par chemin. Traverser le reservoir en cours de remplissage n'était pas recommandé, ni par chaloupe ni par motoneige. Il fallut donc renoncer à une quatrième station au nord est des épicentres, même si théoriquement on était conscient de son utilité. Les instruments "Sprengnether" MEQ-800 s'avérèrent très pratiques pour cette étude

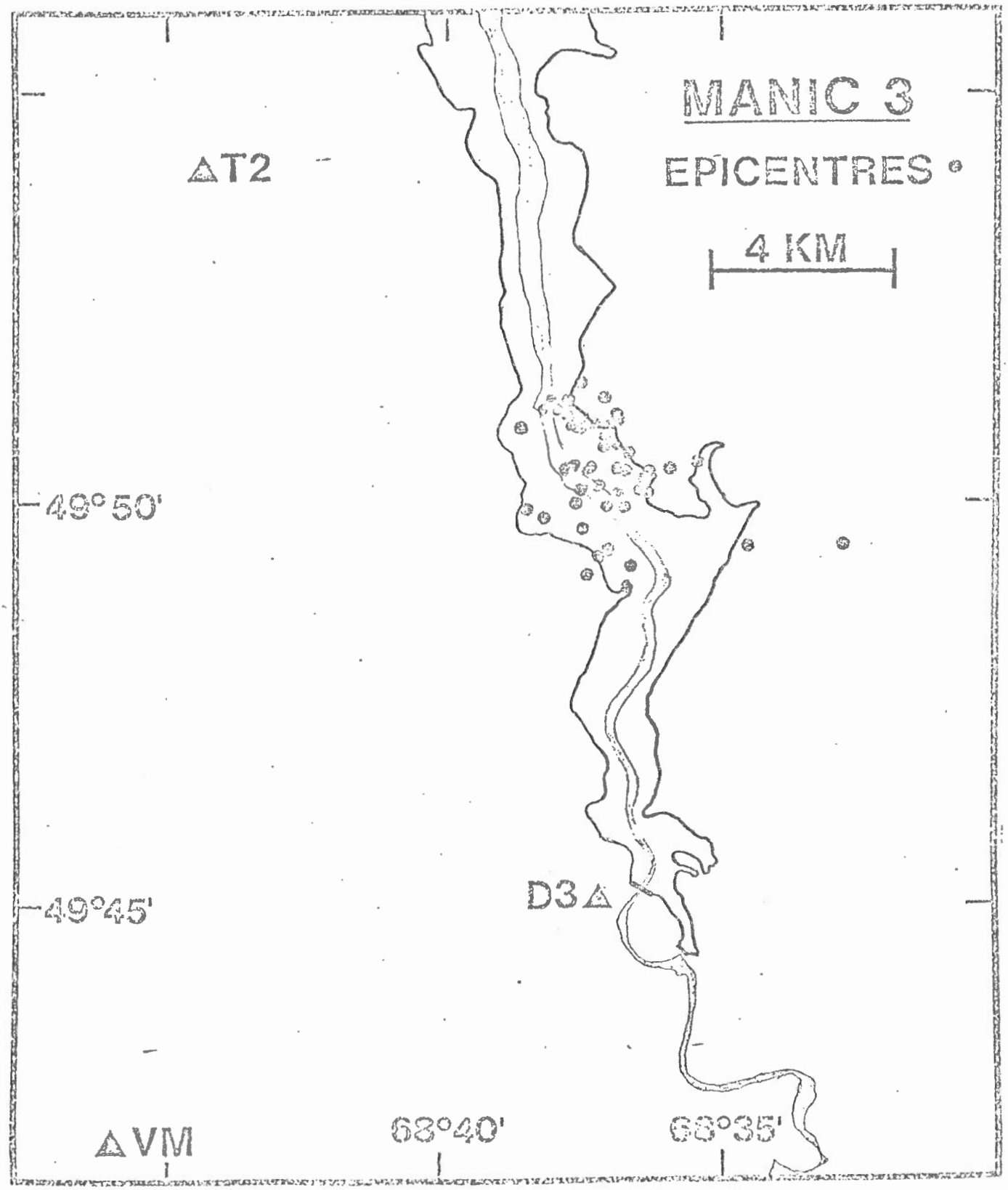


Figure 7: Carte illustrant a) la position des trois stations portatives
b) un groupe d'épicentres
c) l'ancien lit de la rivière et les berges du vouveau réservoir
d) le barrage

TABLE 1

COORDONNEES DES STATIONS

CODE	LATITUDE	LONGITUDE	ELEVATION
MNQ	50.533	68.774	0.487
T2	49.901	68.742	0.472
VM	49.701	68.770	0.314
D3	49.750	68.609	0.107
D3M	49.753	68.611	0.320
D3C	49.751	68.620	0.341

des répliques. Les chronomètres ne parurent pas dériver au-délà de leur norme, sans doute parce que les instruments étaient à l'abri de la pluie ou de la neige. Les tambours affichèrent un déroulement assez constant. La flexibilité de choix de la bande passante permit au Dr. Kollar de trouver sans délai le réglage idéal: 5-10 Hz et gain de 78-84db.

La seule difficulté sérieuse fut de nouveau la même qu'on rencontra au Yukon en 1972, et à La Malbaie en 1970 et 1974, à savoir la mauvaise réception des signaux horaires. Ceci résulta dans une imprécision notable dans la synchronisation du réseau, durant plus d'un mois, et une diminution dans la précision des hypocentres. Le 29 octobre, une horloge maîtresse était dépêchée à La Manic et régla le problème. L'opérateur put donc utiliser chaque jour cette horloge pour injecter aux trois stations le signal de correction. Il faut ici signaler la qualité du travail de maintien quotidien fait par MM. Boisclair et Langhof de l'Hydro-Québec. On sait que le MEQ-800 requiert un enregistrement au noir de fumée et un procédé de fixation que plusieurs opérateurs n'arrivent jamais à maîtriser. Aucun des 275 séismogrammes ne fut gâté: véritable record. Par ailleurs, notons une autre difficulté depuis longtemps reconnue à la DPG: l'injection des signaux horaires lors de mauvaise réception. Cette difficulté ne fut pas toujours surmontée par le personnel de l'Hydro-Québec, et indique à nouveau l'importance d'une initiation minutieuse et d'un contrôle fréquent par le personnel de la DPG. A cause des distances

et de la grève postale, le dialogue entre la DPG et les opérateurs à la Manic fut difficile et ralenti. Certaines erreurs eurent pour effet la perte de certains jours d'enregistrement.

INTERPRETATION

La lecture des séismogrammes obtenus aux quatre stations fut confiée à M.F. Anglin. Plusieurs centaines des répliques furent analysées, particulièrement dans le but de suivre le progrès dans le temps et l'espace de la zone affectée. Un nombre plus restreint d'évènements furent choisis comme ensemble typique. Pour ceux-ci, les lectures furent refaites par G. Leblanc, afin d'établir la stabilité des résultats en évaluant tout biais subjectif. Les lectures furent faites au microscope et à l'aide d'un voltmètre digital mesurant les temps d'arrivée. Ce procédé est nécessaire pour assurer une précision au vingtième de seconde. De plus, on put vérifier que les deux séries de lectures obtenues par deux séismoloques devenaient alors en excellent accord.

Les temps d'origines et hypocentres furent calculer par ordinateur selon le programme CANCESS adapté pour des lectures ayant deux décimales. Différentes vitesses furent essayées, mais comme pour les autres expériences, la vitesse 6.20 km/ s s'avère la meilleure. A cause du nombre réduit (six) des arrivées, on jugea préférable de fixer la profondeur focale à 0.1, 2, 4, 6, 8 kilomètres et de choisir comme valeur acceptable celle qui produit le plus faible écart durant le processus de régression.

On peut voir à la figure 7 les épicentres de 51 répliques qui chevauchent d'octobre à mars. La figure 8 montre à l'échelle agrandie

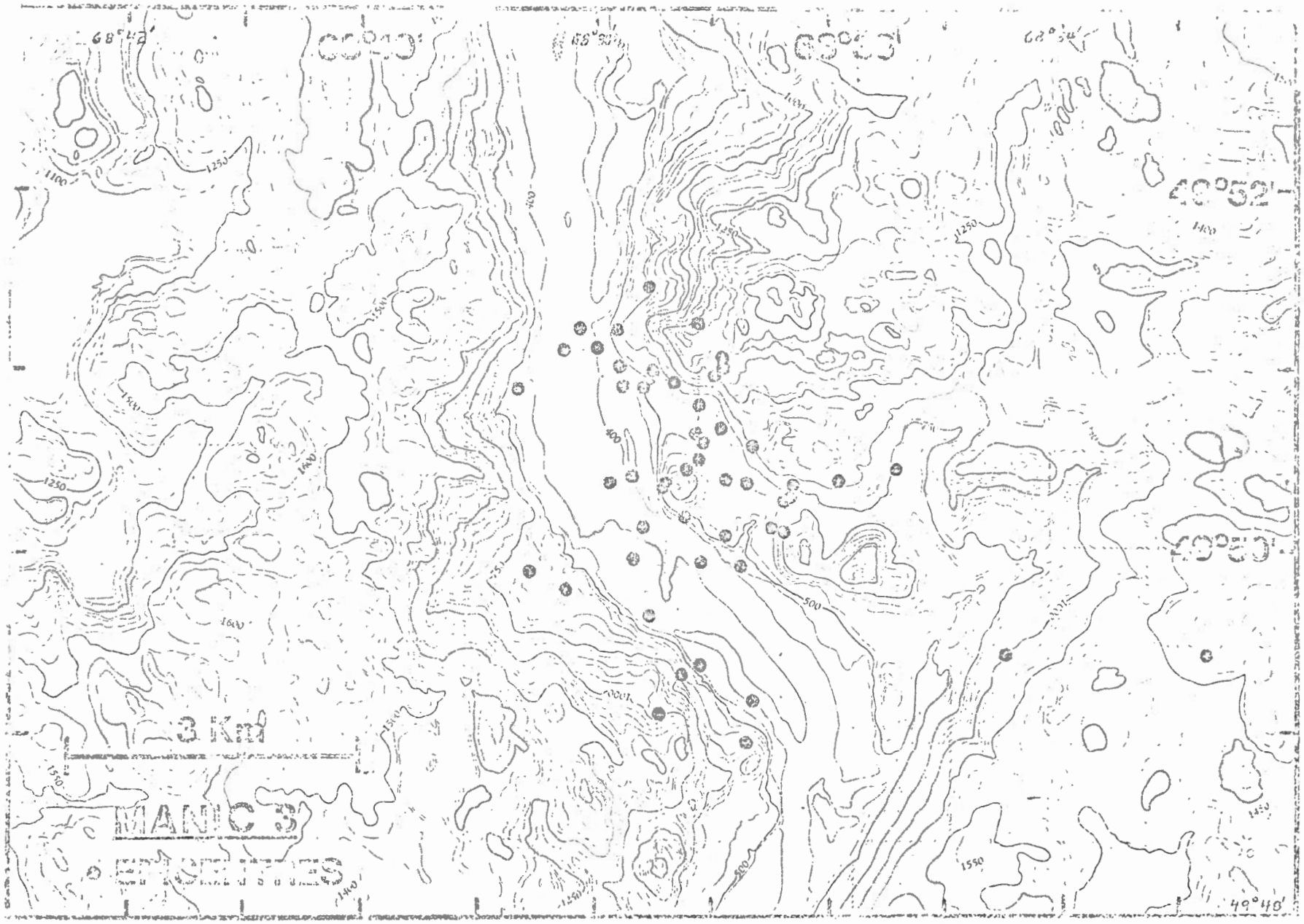


Figure 8: Epicentres de cinquante et une répliques

les mêmes résultats. La table 2 donne toutes les valeurs numériques. On ne peut affirmer, à partir de ces données, que la zone affectée se soit agrandie systématiquement avec le temps. Intuitivement, on aurait pu croire que sur une période de plusieurs mois, cette migration eut été visible. Il semble que le volume affecté soit tout au moins de 9 kilomètres cubes.(3x3x3) Quelques épicentres ne font pas partis de l'essaim principal; leur écart vérifié parait bien réel.

L'apparente stabilité des dimensions de la zone affectée peut suggérer les limites probables de la zone affectée par le choc principal.

Le groupe d'épicentres présentés à la figure 8 consiste d'évènements pour lesquels les lectures furent jugées comme étant de meilleure qualité. Il y a lieu d'accorder une assez bonne confiance à ces résultats tout en se rappelant que la profondeur garde une plus grande incertitude. Les enregistrements obtenus à MNQ sous forme digitale se prêtent mieux à la comparaison. On peut voir à la figure 9 que les signaux sontvraiment différents; le contenu de fréquences et les intervalles entre les phases sont variables indiquant une diversité de source, de mécanisme et de localisation. Par ailleurs, aucun doute que certains évènements sont parfaitement identiques, sauf un seul point, la magnitude. La figure 10 montre deux signaux fort semblables; on peut même les superposer et noter le synchronisme de tous les pics.

Les analyses de Fourier des répliques ne paraissent pas assez fiables pour être présentées ici. Les limites de bande passante imposées par le taux d'échantillonage (60 par seconde) ne permettent pas de voir la fréquence

TABLE 2

SÉLECTION DE RÉPLIQUES

NO.	DATE			HEURE			±	LATITUDE		±	LONGITUDE		±	PROFONDEUR
	A	M	J	H	m	s	s							km
1	75	11	04	03	53	13.4	0.0	49°	51.2'	0.1'	68°	38.1'	0.2	4.0
2	75	11	19	08	48	10.3	0.0	49	50.3	0.1	68	36.4	0.3	6.0
3	75	11	20	04	24	46.9	0.1	49	51.5	0.1	68	37.5	0.3	4.0
4	75	11	20	19	22	23.4	0.1	49	50.4	0.1	68	36.3	0.4	6.0
5	75	11	21	20	22	56.5	0.0	49	51.3	0.1	68	37.1	0.2	4.0
6	75	11	23	00	51	45.4	0.0	49	51.1	0.0	68	36.9	0.1	4.0
7	75	11	23	22	45	46.6	0.1	49	51.0	0.2	68	37.0	0.5	4.0
8	75	11	24	08	29	44.1	0.0	49	51.1	0.1	68	38.0	0.2	4.0
9	75	11	26	20	31	26.8	0.1	49	51.0	0.1	68	37.8	0.4	0.5
10	75	11	30	21	06	04.2	0.1	49	50.1	0.1	68	36.4	0.3	6.0
11	75	11	30	23	24	16.4	0.0	49	50.9	0.1	68	37.6	0.3	4.0
12	75	12	01	07	40	16.5	0.0	49	50.9	0.1	68	37.3	0.2	4.0
13	75	12	02	06	05	17.4	0.1	49	50.6	0.1	68	36.6	0.3	4.0
14	75	12	02	11	30	48.8	0.1	49	51.0	0.2	68	37.5	0.6	2.0
15	75	12	02	15	53	31.9	0.1	49	51.1	0.1	68	38.2	0.4	2.0
16	75	12	02	15	55	07.5	0.1	49	51.2	0.1	68	37.8	0.3	4.0
17	75	12	02	17	44	31.7	0.1	49	50.5	0.1	68	35.4	0.3	2.0
18	75	12	03	04	12	58.3	0.0	49	49.9	0.1	68	36.7	0.3	4.0
19	75	12	05	04	24	49.2	0.0	49	50.4	0.1	68	35.9	0.2	4.0
20	75	12	06	12	44	20.3	0.0	49	50.7	0.1	68	36.9	0.3	4.0
21	75	12	06	21	49	49.5	0.0	49	51.0	0.1	68	36.9	0.2	4.0
22	75	12	07	18	50	51.3	0.1	49	50.8	0.1	68	37.1	0.3	2.0
23	75	12	08	14	45	47.5	0.0	49	49.1	0.1	68	37.4	0.3	6.0
24	75	12	09	11	46	13.9	0.1	49	50.5	0.1	68	37.1	0.3	6.0
25	75	12	13	13	34	33.2	0.0	49	49.2	0.0	68	36.6	0.2	2.0
26	75	12	13	19	32	53.4	0.0	49	50.4	0.1	68	37.4	0.2	2.0
27	75	12	13	22	31	33.3	0.0	49	50.4	0.1	68	36.7	0.2	0.5
28	75	12	14	01	05	23.9	0.1	49	50.1	0.1	68	36.5	0.4	4.0
29	75	12	14	08	42	59.2	0.0	49	50.3	0.1	68	36.3	0.3	2.0
30	75	12	16	20	39	04.2	0.0	49	50.6	0.0	68	37.0	0.1	4.0
31	75	12	17	00	42	19.5	0.1	49	50.4	0.1	68	37.4	0.4	6.0
32	76	01	28	18	02	19.4	0.1	49	50.9	0.1	68	38.6	0.4	4.0
33	76	01	29	23	31	33.9	0.1	49	50.5	0.1	68	37.2	0.4	4.0
34	76	01	30	00	10	18.8	0.0	49	50.4	0.1	68	37.8	0.3	4.0
35	76	01	30	22	16	50.9	0.0	49	48.9	0.0	68	36.7	0.2	4.0

TABLE 2

SÉLECTION DE RÉPLIQUES

NO.	DATE			HEURE			±	LATITUDE		±	LONGITUDE		±	PROFONDEUR
	A	M	J	H	m	s	s							km
36	76	02	06	16	18	46.9	0.0	49°	49.4'	0.1'	68°	32.8'	0.2	2.0
37	76	02	17	17	35	13.4	0.0	49	50.4	0.1	68	37.7	0.2	4.0
38	76	02	20	23	51	54.2	0.0	49	49.9	0.0	68	37.1	0.1	4.0
39	76	02	25	23	32	21.8	0.1	49	50.2	0.1	68	37.2	0.4	2.0
40	76	02	26	02	08	31.5	0.0	49	50.4	0.1	68	36.9	0.3	0.5
41	76	02	27	11	28	59.6	0.0	49	50.1	0.1	68	36.9	0.3	4.0
42	76	02	27	21	35	16.9	0.1	49	49.8	0.1	68	38.2	0.4	6.0
43	76	02	27	21	36	26.3	0.1	49	49.9	0.2	68	38.5	0.6	4.0
44	76	02	28	06	26	53.5	0.0	49	49.6	0.1	68	37.5	0.3	4.0
45	76	03	02	04	00	24.1	0.0	49	50.9	0.1	68	37.7	0.2	4.0
46	76	03	02	08	03	08.0	0.0	49	50.0	0.1	68	37.6	0.3	4.0
47	76	03	08	21	24	22.9	0.1	49	49.4	0.1	68	34.5	0.4	6.0
48	76	03	09	21	40	45.5	0.1	49	49.3	0.1	68	37.2	0.4	0.5
49	76	03	11	01	56	47.3	0.0	49	50.6	0.1	68	37.1	0.2	4.0
50	76	03	12	00	22	19.5	0.1	49	50.1	0.1	68	37.6	0.4	2.0
51	76	03	17	02	51	05.3	0.0	49	49.4	0.1	68	37.1	0.3	4.0

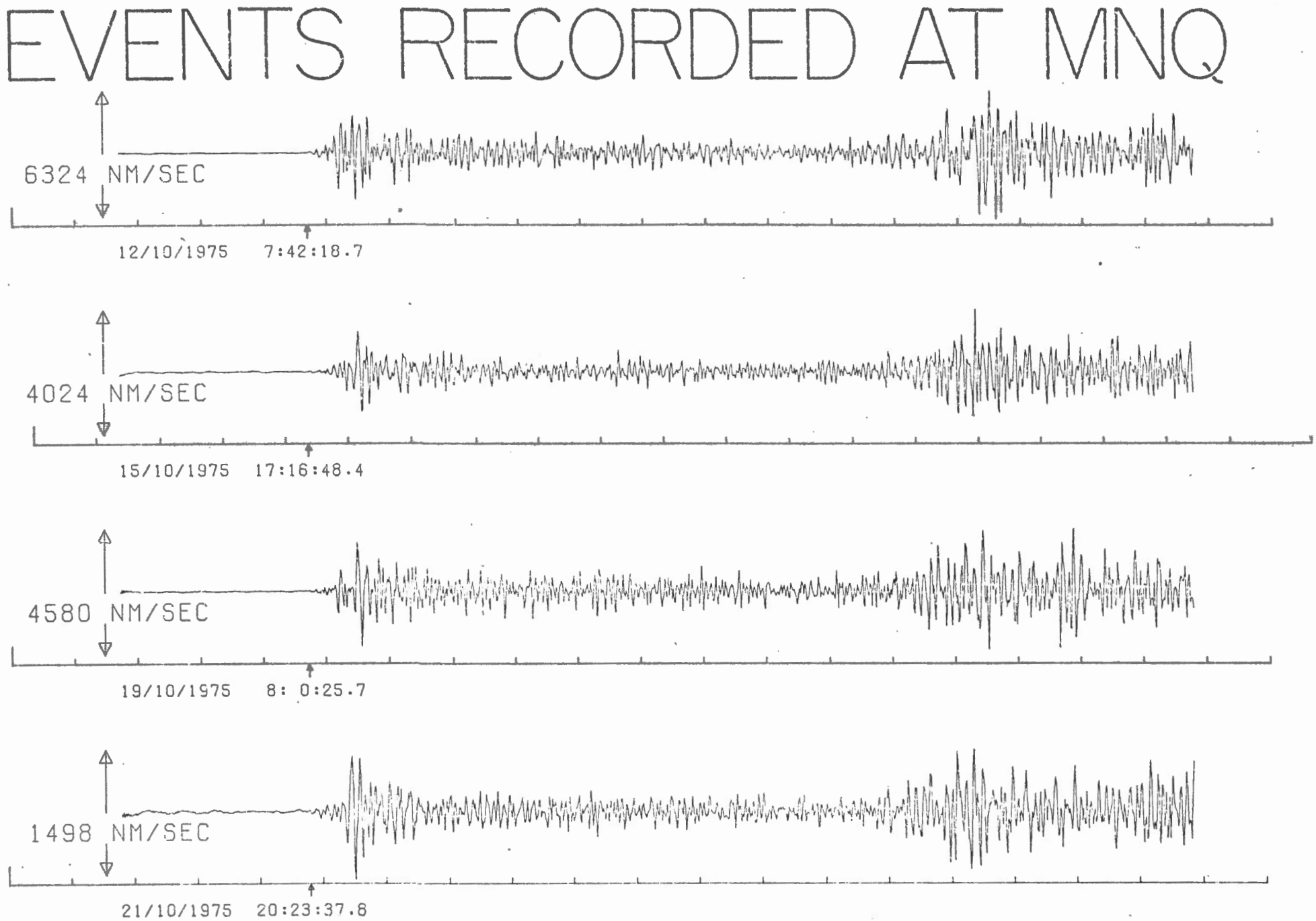


Figure 9: Signaux reconstitués à partir des enregistrements sous forme digitale à MNQ pour quatre précurseurs

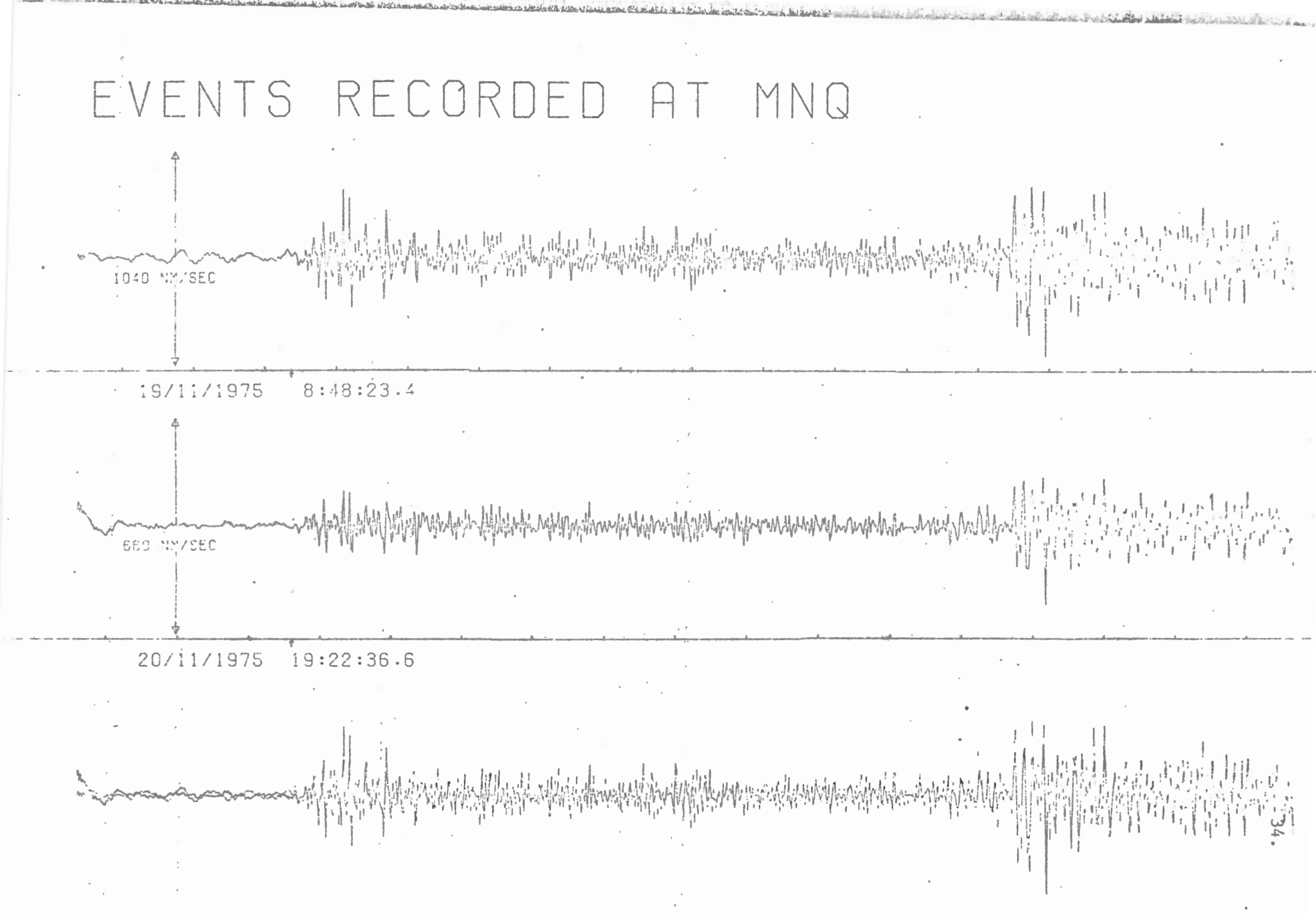


Figure 10: Deux répliques d'apparence tout à fait identique telles qu'enregistrées à MNQ

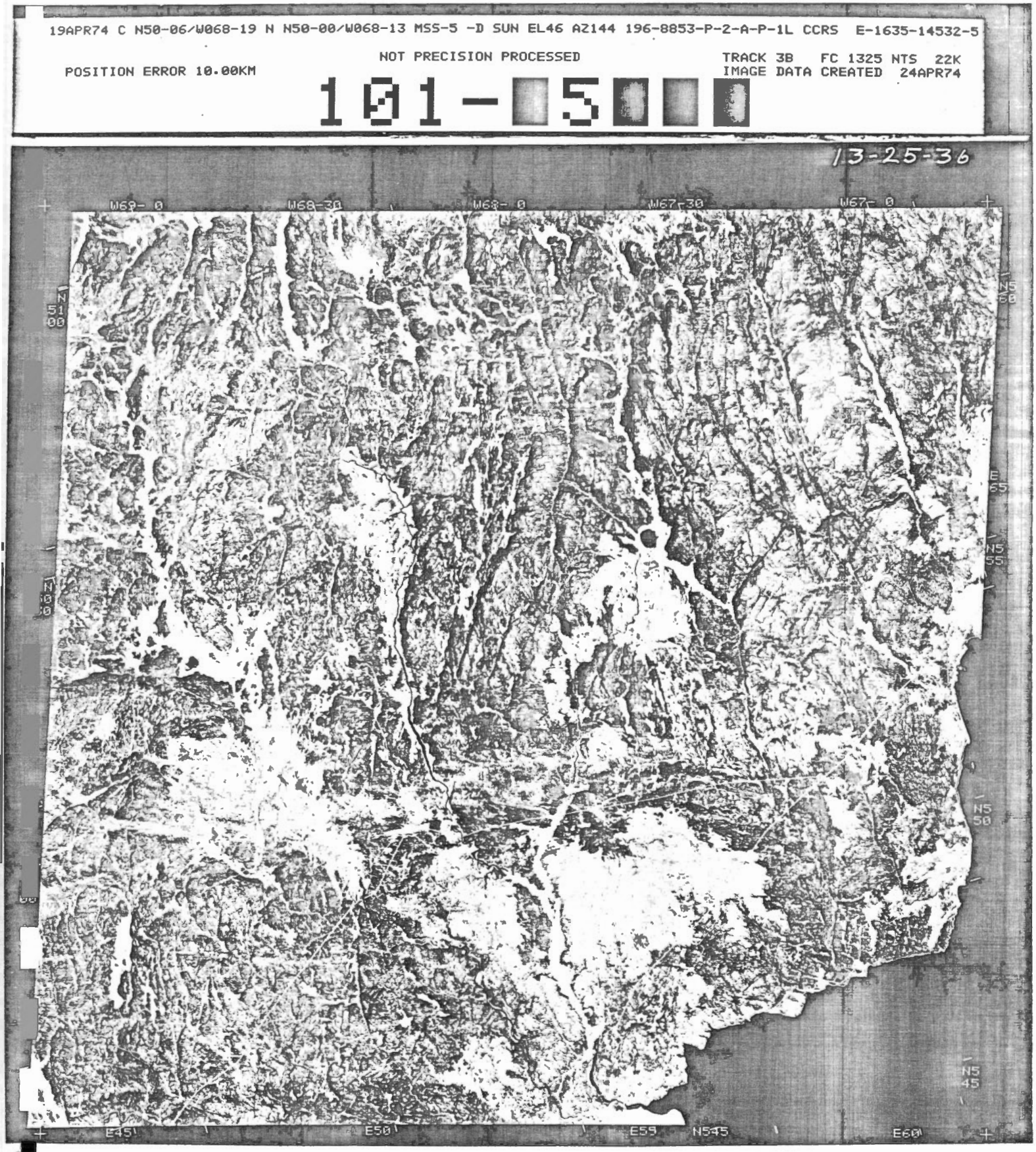
de coin. Même pour le choc principal, celle-ci semble trop vague pour qu'on puisse la discerner. Ceci prévient la détermination de certains paramètres de source et de mécanisme.

L'examen des séismogrammes du réseau canadien fait pour la détermination de l'épicentré du choc principal semble suggérer que les premiers mouvements perdent vite leur impétuosité en fonction de la distance. Ceci est peut-être explicable par la particuliarité d'une rupture "induite". Il en résulte qu'une solution de plan de faille ne sera pas facile à obtenir, à moins que d'autres lectures à partir de stations américaines s'avèrent plus nombreuses et plus fiables. Ce travail reste à compléter.

On peut se demander ici pourquoi le réservoir de Manic 3 a-t-il donné lieu au phénomène de séismicité induite alors que les autres réservoirs ne semblent pas l'avoir fait. Avant de répondre à cette question, il faut souligner que le doute demeurera toujours sur l'activité induite possible des autres réservoirs, puisque les capacités de détection étaient assez pauvres lors du remplissage de ces réservoirs. Le réseau canadien, avec seulement la station de Schefferville et de Sept-Iles d'un côté et de St-Féréol de l'autre, ne pouvait sûrement pas assurer un niveau de détection assez élevé pour inclure une activité induite à la Manic, de faible magnitude i.e. inférieure à $M_l < 2.0$. De plus, certains des séismes que l'on attribue généralement à la zone du bas St-Laurent, pourraient avoir été induit par le remplissage d'un des autres réservoirs. L'imprécision attachée à ces épicentres peut dans certaines conditions,

être assez forte pour qu'on ne puisse vraiment pas déceler la coïncidence de l'épicentre avec la portion du réservoir.

Des inspections d'imagine par satellite faites par M.M. F. Anglin et D. Forsyth de la DPG ont révélé la présence d'une bande est-ouest traversant la rivière Manicouagan juste dans la région des épicentres. Cette bande blanche apparait uniquement sur les photos prises durant la période des neiges (figs. 11 et 12). Il faudra donc trouver si la raison qui explique la retenue différencielle des neiges peut aussi avoir une implication structurale. De plus M.D. Forsyth a remarqué une série d'anomalies magnétiques formant un alignement parallèle à la bande blanche déjà notée. Ces anomalies sont expliquées partiellement par une certaine formation géologique (monzonite) dont les affleurements ont été cartographiés (Franconi et al. 1975). On remarque aussi la présence de quelques contacts dans la région même des épicentres. Pourrait-on croire que ceux-ci sont rattachés au système de joints qui permit à l'eau sans pression de pénétrer la croûte? Il est clair qu'une étude géologique sur le terrain devra être faite bientôt dans l'optique ci-haut mentionnée. Les études géologiques détaillées que fait l'Hydro-Québec se limitent ordinairement à la région immédiate du barrage. L'activité séismique ayant eu lieu à plus de 8 km. en amont, il faudra donc un effort spécial pour relier la géologie à la tectonique locale.



I gure 11: Imagerie par satellite prise le 19 avril 1974

Figure 12: Imagerie par satellite prise le 12 mars 1976

CHAPITRE QUATRIEME

ETUDES DES COURANTS MAGNETOTELLURIQUES

Selon plusieurs cas historiques, il est possible de prédire certains séismes à partir du comportement spatio-temporel de certaines propriétés physiques de la roche dans la région de l'épicentre (Kisslinger 1975). Des variations de vitesses des ondes élastiques, des changements dans la résistivité des roches, des dénivellations, des augmentations de radioactivité, etc., ont servi avec succès à délimiter le temps, la magnitude et la localisation générale de futurs chocs. Du fait que Manic 3 offre une région assez bien définie où l'on puisse attendre d'autres séismes, il devient indiqué de choisir cette région comme terrain idéal de recherches sur les phénomènes prémonitoires.

La Division du géomagnétisme décida au début décembre 1975 d'installer deux postes d'observations aux environs de la zone active. A ces stations, on enregistre les trois composantes du champ magnétique terrestre et deux composantes, est-ouest et nord-sud de courants magnéto-telluriques. Leur but est de détecter une anomalie. En effet lorsque la déformation qui causera la rupture approche la limite élastique du roc, des microcraques se produisent; alors qu'elles se remplissent d'eau, la résistivité électrique diminue. La détection spatio-temporelle de ce comportement anormal peut donc révéler la présence de contraintes et l'imminence d'une rupture. En comparant les résultats de deux stations, l'une servant de réference à l'autre située près de la zone menacée, on peut arriver à prédire le séisme. Voir l'appendice III pour le rapport abrégé du Dr. R. Kurtz sur le but et les données de son

expérience à Manic 3; l'appendice IV présente les notes de voyage, les difficultés rencontrées et quelques recommandations.

Grâce à la coopération de l'Hydro-Québec, particulièrement de M M. Desbiens et Boisclair, les deux stations furent installées à la mi-décembre 1975, malgré la neige et les glaces.

Beaucoup de difficultés ont empêché l'expérience de réussir: vandalisme, animaux s'attaquant aux lignes électriques, malfonction des appareils à cause du froid. Malgré les trois voyages faits après l'installation dans le but de réparer et remettre en marche les instruments, à peine 3% d'enregistrement simultané ont été obtenus. Il semble donc qu'il sera nécessaire de changer le mode d'opération si l'on veut améliorer ce pourcentage. Vraisemblablement, il sera décidé de laisser une équipe à Manic 3 afin d'assurer la surveillance des instruments d'une façon presque continue, pour des périodes allant de 10 à 15 jours, répétées à intervalles réguliers. De cette façon on pourra calculer ce qu'on appelle le tenseur d'impédance locale, et par la suite examiner sa stabilité.

CHAPITRE CINQUIEME

RELEVES MICROGRAVIMETRIQUES ET LEVES DE PLANIMETRIE

La Division de la Gravité, Section Géodynamique décida au début de décembre 1975 de faire des mesures de microgravimétrie dans la région du réservoir de Manic 3. Voir appendice V pour description sommaire du programme envisagé.

Comme on le sait, cette nouvelle technique possède une telle précision qu'elle permet de détecter des changements relatifs d'élévation de l'ordre de (1) un centimètre sur des distances allant jusqu'à cent kilomètres. Puisque des dénivellations font souvent partie des phénomènes prémonitoires des séismes, ou encore en résultent, on peut justifier l'emploi de ces mesures aux environs de Manic 3.

Les plaques destinées à recevoir le gravimètre furent insérées dans le roc à quatre stations de reférence, vers la mi-décembre. Les mesures furent faites plus tard, en janvier 1976. Plus de trente mesures furent faits sur chacun des deux gravimètres. Certaines difficultés instrumentales occasionnées par le froid et le transport de l'appareil sur des chemins enneigés diminuèrent la confiance des résultats obtenus. L'Hydro-Québec fournit des abris pour ces stations et assista le personnel de la DPG au cours de l'expérience.

Ces mesures doivent être refaites au cours du mois d'août 1976 et rattachées à un nouveau réseau de stations entourant la zone active. Ces stations seront alors visitées par hélicoptère. Elles coïncident avec les sites où la Direction des Levés et Cartographie travaille actuellement à établir un réseau de planimétrie. Ces stations, numérotées de 1 à 10 sont illustrées à la figure 13.

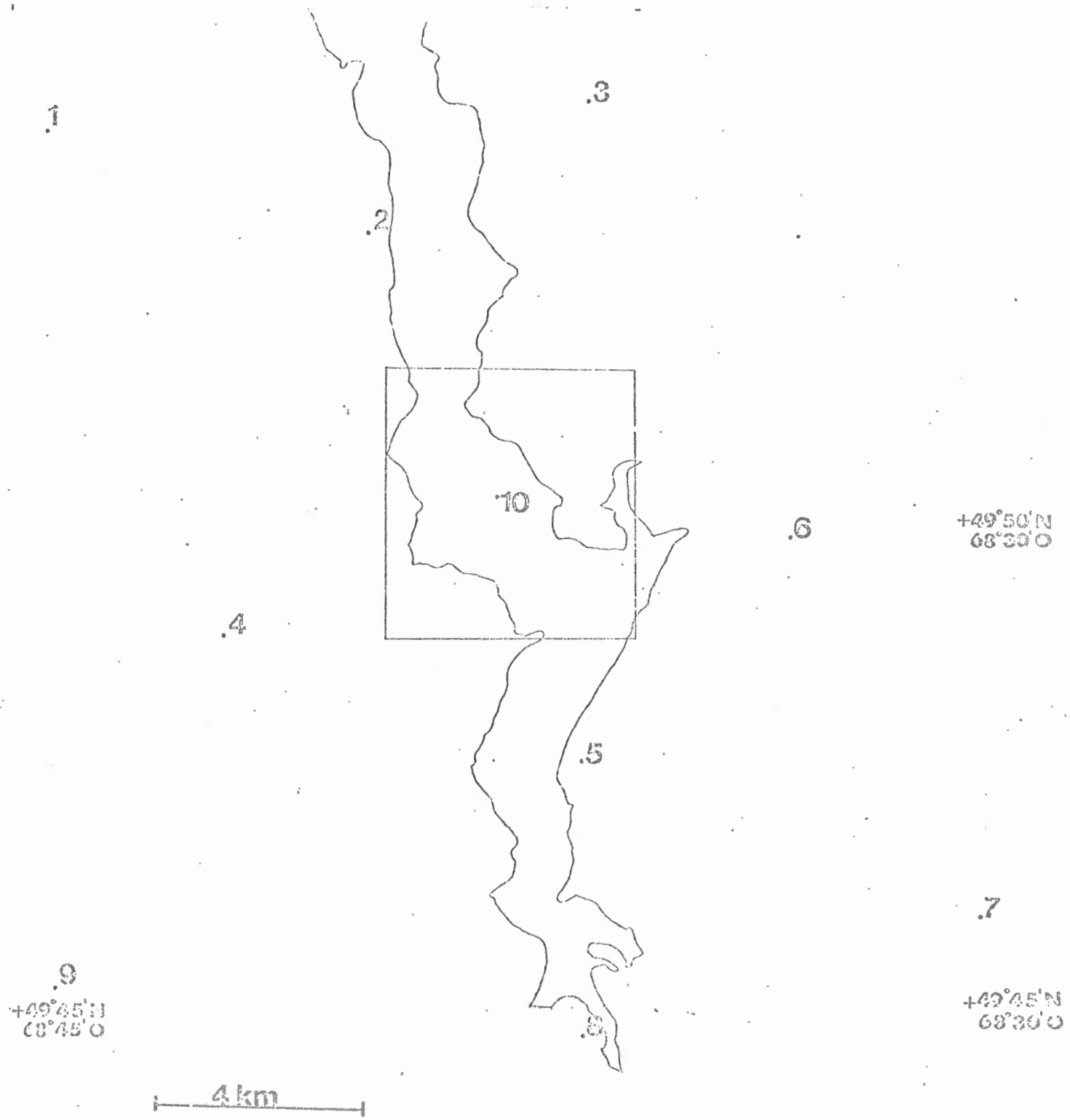


Figure 13: Les points numérotés de 1 à 10 représent les sites des levés de planimétrie, qui seront aussi utilisés pour la microgravimétrie.

Ces levés faciliteront le contrôle de tout déplacement horizontal. Advenant un autre séisme important les mesures seraient refaites et les différences permettraient de calculer un modèle de dislocation.

Signalons aussi que des calculs théoriques sur la déformation élastique occasionnée par le chargement du réservoir furent faits par le Dr. D. Bower . On peut comprendre que ces résultats suggèrent fortement l'urgence de refaire des mesures de contrôle vertical. En plus de vérifier la validité du modèle utilisé, ces mesures permettraient de séparer le déplacement vertical résultant du simple poids ajouté de celui que pourrait causer la dislocation produite par un séisme.

Dans cette optique, la Direction des Levés et Cartographie reprendra cet été plusieurs mesures, (août et septembre), le long du chemin qui va vers Manic 5, et traverse la zone de déformation. Voir appendice VI.

CHAPITRE SIXIEME

RELEVES D'ACCELEROMETRES

On se rappelle que l'Hydro-Québec en collaboration avec le Conseil Nation de Recherches a installé plusieurs accéléromètres au barrage de Manic 5 et à celui de Manic 3.

Le choc du 23 octobre 1975 fut précédé de quelques précurseurs. Comme la distance épicentrale à Manic 3 est d'environ 9 km., on peut se demander si les accélerations de ces évènements furent assez fortes pour faire déclencher les accéléromètres, dont le seuil d'excitation est fixé à 0.01g.

Puisque les précurseurs avaient été identifiés comme tels par le Dr. Leblanc, le Dr. J.H. Rainer avait été averti du danger et avait donc redoublé de soin pour que les appareils soient en bonne état. Ceci s'imposait puisque dans les semaines précédentes, il semble que du bruit de construction avait affecté les appareils et fait déclencher le mécanisme d'opération à plusieurs reprises.

On trouvera en appendice VII le rapport officiel du Dr. Rainer. Les auteurs sont d'accord avec l'interprétation du Dr. Rainer sur le fait qu'il est donteux que les précurseurs aient activé les appareils si l'on accepte que le choc principal ne le fit pas. Toutefois ce dernier point peut soulever quelque doute.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Après avoir compilé les données qui précèdent, il semble opportun de tirer quelques conclusions. Ces dernière sont assez claires pour souvent faire l'objet de recommandations.

1. Il reste regrettable que l'Hydro-Québec n'ait pu, dès l'origine du complexe Manicouagan-Outardes allouer des fonds pour supporter une étude séismologique spéciale, orientée vers la surveillance de la micro-séismicité régionale et le danger de séismicité induite.

2. La mise en opération d'un programme de surveillance séismologique comporte une longue préparation. Il faut donc, dès le stage de l'approbation d'un projet de réservoir, faire initier sans retard l'installation de stations séismologiques.

3. La surveillance préalable de la séismicité locale est souhaitable avant le début du remplissage. Celui-ci ne doit-pas être initié sans accroître simultanément la conscience du danger et l'attention des surveillants. Ceci semble le minimum prescrit dans les résolutions de la Conférence Inter-gouvernementale sur l'évaluation et la diminution des risques séismiques, tenue à Paris en fevrier 1976 sous l'égide de l'UNESCO.

4. La séismicité induite par le remplissage de Manic 3 semble avoir été détectée avec succès par la station de télémétrie MNQ grâce à la vigilance de la DPG et la coopération de l'Hydro-Québec.

5. Advenant le cas de séismicité induite, il est fortement recommandé d'établir plusieurs programmes d'études: séismiques, gravimétriques, magnéto-telluriques et géologiques. Les programmes ont peu

de chance de succès si un personnel adéquat n'est pas assigné à temps plein à ces tâches. Les restrictions budgétaires, parfois mal fondées, empêchent souvent la collection des données de base requises pour une étude théorique orientée à la fois vers le passé et le futur. Les programmes risquent d'être improvisés s'ils ne sont pas esquissés au préalable.

6. Il serait utile que ceux qui doivent coordonner ces programmes aient acquis une bonne familiarité avec les installations concernées, de préference préalablement au temps de crise.

REMERCIEMENTS

Les auteurs désirent remercier les personnes suivante pour leur coopération et assistance.

De l'Hydro-Québec, bureau de Montréal; P.E. Drouin, P. Crepeau, P. Lecomte, T. Brown, J.P. Desbiens

A Manic 3; R. Martin, P. Giroux, L. Boisclair, Langhof

Au bureau de Hull; C. Roger

De la Direction de la Physique du Globe; K. Whitham, M.J. Berry, R. Kurtz, E.R. Niblett, J. Liard, A. Lambert, F. Kollar, J. Thomas, P. Burns, R. Hayman

R. Bergeron, stagiaire de l'université de Sherbrooke

BIBLIOGRAPHIE

Franconi A., Sharma K.N.M., Laurin A.F., Rapport Géologique - 162, Région des rivières Betsiamites et Moire, Ministère des Richesses Naturelles, Direction Générale des Mines, Service de L'Exploration Géologique, Québec 1975.

Gough D.I., Induced Seismicity, Intergovernmental Conference on the Assesment and Mitigation of Earthquake Risk Item 8.4, UNESCO, Paris, February 1976.

Gupta H.K. and Rastogi B.K., Dams and Earthquakes, Elsevies Scientific Publishing Company, 1976.

Kisslinger C. and Wyss M., Earthquake Prediction, Reviews of Geophysics and Space Physics, Vol. 13 (3) July 1975.

Simpson D.W., Seismicity Associated with Reservoir Impounding, First International Symposium on Induced Seismicity, Banff, Canada, September 1975.

Seismic Effects of Reservoir Impounding, Collogrium London, March 1973, Engineering Geology Vol. 8 (1/2) August 1974.

Rothé J.P., Seismes Artificiels, Tectonophysics 9, 215-238, 1970

ACTIVITÉ SÉISMIQUE ENRÉGISTRÉE À MNQ

ANNÉE	MOIS	JOUR	HEURE (T.U.) h m s	MAGNITUDE M(L)
1975	Sept	16	13 02 26	0.4
"	"	22	17 41 33	0.7
"	"	24	02 16 56	0.9
"	"	27	08 48 32	1.0
"	"	27	09 12 24	0.5
"	Oct.	4	20 15 43	0.7
"	"	9	04 44 11	1.5
"	"	9	11 06 21	1.0
"	"	11	12 00 50	1.2
"	"	11	12 31 45	1.2
"	"	12	07 42 19	2.0
"	"	15	17 16 48	1.6
"	"	19	08 00 26	1.8
"	"	19	10 49 58	0.4
"	"	20	22 59 01	0.4
"	"	21	14 32 33	0.9
"	"	21	20 23 38	1.2
"	"	21	20 29 55	0.7
"	"	23	05 15 29	0.4
"	"	"	05 16 52	0.4
"	"	"	07 22 24	0.7
"	"	"	21 17 58	4.3 (M_N)
"	"	"	21 29 10	0.7
"	"	"	21 19 38	1.4
"	"	"	21 30 48	0.9
"	"	"	21 40 44	0.9
"	"	"	21 50 45	0.9
"	"	"	21 51 41	0.4
"	"	"	21 52 14	0.4
"	"	"	22 01 11	0.7
"	"	"	22 07 07	0.7
"	"	"	22 09 33	0.1
"	"	"	22 19 42	0.4
"	"	24	07 08 58	0.7
"	"	"	08 40 12	0.4
"	"	"	10 48 21	0.4
"	"	"	11 03 39	0.4
"	"	"	11 28 15	0.4
"	"	"	13 27 01	0.7
"	"	"	16 17 27	1.3
"	"	"	16 27 01	0.1
"	"	"	18 35 30	0.1
"	"	"	22 58 36	0.7
"	"	"	23 40 23	0.7
"	"	25	00 44 54	0.4
"	"	"	05 11 53	0.4
"	"	"	08 08 16	0.4
"	"	"	09 57 01	0.4

ANNÉE	MOIS	JOUR	HEURE (T.U.)	MAGNITUDE M(L)
1975	Oct.	25	16 08 51	0.4
"	"	"	19 03 13	0.1
"	"	"	21 24 32	0.1
"	"	"	23 21 00	0.2
"	"	"	23 57 42	0.4
"	"	26	01 35 36	0.1
"	"	"	05 43 34	0.9
"	"	"	08 52 15	1.0
"	"	"	08 58 12	0.1
"	"	"	16 39 45	0.9
"	"	"	18 06 06	0.4
"	"	"	21 30 25	0.4
"	"	"	23 25 35	0.9
"	"	27	00 47 00	0.1
"	"	"	01 38 55	0.4
"	"	"	03 01 03	1.0
"	"	"	07 02 58	0.1
"	"	"	07 35 22	0.4
"	"	"	08 01 06	0.1
"	"	"	08 20 13	0.4
"	"	"	09 06 45	0.1
"	"	"	12 20 24	0.7
"	"	"	14 36 37	0.7
"	"	"	15 05 54	0.7
"	"	"	17 54 07	1.0
"	"	"	18 00 12	0.1
"	"	"	18 00 52	0.9
"	"	"	19 01 41	0.7
"	"	"	22 41 41	0.4
"	"	28	12 41 00	0.4
"	"	"	23 29 05	0.7
"	"	29	02 02 48	0.4
"	"	"	02 22 40	0.4
"	"	"	02 23 55	1.4
"	"	"	16 57 17	0.4
"	"	30	09 11 23	-0.1
"	"	"	09 38 39	0.1
"	"	"	11 37 35	0.4
"	"	"	12 40 43	0.4
"	"	31	06 18 34	0.1
"	"	"	12 01 33	0.4
"	"	"	14 38 38	0.9
"	Nov.	1	15 09 00	0.1
"	"	"	17 00 16	-0.2
"	"	2	19 39 59	0.8
"	"	"	20 28 18	-0.2

ANNÉE	MOIS	JOUR	HEURE (T.U.)	MAGNITUDE M(L)
1975	Nov.	3	06 16 35	0.1
"	"	"	08 02 48	0.1
"	"	"	10 18 04	0.4
"	"	4	02 04 56	0.4
"	"	"	02 46 19	0.7
"	"	"	03 04 32	0.1
"	"	"	03 53 26	0.4
"	"	"	22 11 29	0.4
"	"	5	05 17 38	0.4
"	"	"	09 10 06	0.1
"	"	"	09 31 37	0.7
"	"	"	15 57 20	0.1
"	"	"	19 58 12	0.7
"	"	"	20 08 09	0.7
"	"	"	23 57 35	0.7
"	"	6	02 55 55	0.4
"	"	8	02 12 53	0.7
"	"	"	07 12 51	0.7
"	"	"	21 46 44	0.6
"	"	"	21 51 11	1.6
"	"	"	21 55 37	0.7
"	"	9	01 33 20	0.4
"	"	"	02 14 51	0.6
"	"	"	05 31 19	1.3
"	"	"	10 19 47	0.4
"	"	"	10 46 24	0.4
"	"	"	11 57 21	0.8
"	"	"	22 31 14	0.6
"	"	11	13 25 31	1.3
"	"	"	13 38 42	0.7
"	"	"	18 00 41	0.4
"	"	"	18 23 33	0.4
"	"	13	10 50 25	0.7
"	"	14	14 55 47	0.7
"	"	15	19 23 52	0.6
"	"	19	08 48 23	1.0
"	"	20	04 25 00	0.9
"	"	"	19 22 36	0.7
"	"	21	07 33 35	0.1
"	"	"	12 21 00	0.7
"	"	"	20 23 09	0.6
"	"	"	21 30 11	0.4
"	"	22	17 26 13	0.5
"	"	23	00 51 58	0.8
"	"	"	02 52 45	0.7
"	"	"	11 20 56	0.5
"	"	"	22 45 59	0.8

ANNÉE	MOIS	JOUR	HEURE (T.U.)	MAGNITUDE M(L)
1975	Nov.	24	08 29 57	0.6
"	"	25	04 02 01	0.5
"	"	26	20 31 39	1.5
"	"	28	00 21 01	0.4
"	"	"	05 36 53	0.7
"	"	29	08 36 10	0.5
"	"	"	10 19 56	0.4
"	Dec.	1	07 40 30	0.4
"	"	"	17 42 16	0.6
"	"	2	06 05 30	1.0
"	"	"	15 53 44	0.4
"	"	"	15 55 20	0.8
"	"	3	04 13 11	0.8
"	"	5	04 25 02	0.8
"	"	6	08 46 26	0.4
"	"	"	12 44 33	0.7
"	"	8	06 38 12	0.3
"	"	11	12 34 38	1.1
"	"	"	18 20 09	0.7
"	"	12	14 39 16	0.4
"	"	13	19 33 06	0.4
"	"	"	22 31 46	1.0
"	"	14	01 05 37	0.6
"	"	"	08 44 00	1.2
"	"	16	20 39 17	0.4
"	"	18	01 42 11	0.4
"	"	"	02 47 24	0.7
"	"	19	12 17 55	0.8
"	"	"	18 24 20	1.9
"	"	"	18 41 24	1.0
"	"	27	14 01 02	0.7
"	"	29	01 28 06	0.5
"	"	31	07 47 10	0.6
1976	Jan.	1	10 09 38	0.6
"	"	4	00 06 31	0.4
"	"	"	23 23 53	0.5
"	"	5	10 38 02	1.0
"	"	6	22 30 22	0.8
"	"	12	11 53 01	0.5
"	"	17	10 08 46	1.0
"	"	22	14 52 49	0.5
"	"	23	02 05 59	0.5

ANNÉE	MOIS	JOUR	HEURE (T.U.)	MAGNITUDE M(L)
1976	Jan.	25	21 33 38	0.3
"	"	28	05 01 48	0.1
"	"	"	18 02 32	0.7
"	"	30	00 10 32	1.4
"	"	"	02 54 58	0.5
"	"	"	09 15 40	0.3
"	"	21	21 20 05	0.4
"	Feb.	6	16 19 00	0.2
"	"	9	02 00 22	0.5
"	"	10	01 50 10	0.1
"	"	11	02 57 00	0.3
"	"	13	18 19 04	0.3
"	"	16	14 27 44	0.4
"	"	17	17 35 36	1.1
"	"	18	16 15 34	0.1
"	"	20	23 52 07	1.0
"	"	25	23 32 35	0.4
"	"	26	02 08 44	0.1
"	"	27	11 29 13	0.5
"	"	"	21 35 30	1.3
"	"	"	21 36 39	0.7
"	"	28	02 51 40	0.3
"	"	"	06 27 07	0.3
"	"	"	20 15 13	0.5
"	Mars	2	04 00 37	0.7
"	"	"	08 03 21	1.2
"	"	"	18 19 34	0.7
"	"	5	17 39 43	0.4
"	"	9	21 40 59	1.3
"	"	11	01 57 00	1.0
"	"	12	00 22 33	0.7
"	"	17	02 51 18	0.9
"	"	23	02 35 19	0.1
"	Avril	3	06 40 49	0.4
"	"	20	15 30 22	0.7
"	"	23	11 37 13	0.5
"	Mai	1	00 26 41	0.4
"	"	"	01 13 43	0.1
"	"	"	17 36 22	1.5
"	"	10	22 59 20	0.6
"	"	15	21 07 07	1.9
"	"	17	04 20 11	0.8
"	"	19	09 24 19	0.6
"	"	23	13 11 24	0.8
"	"	27	02 21 22	0.5
"	"	31	19 19 35	1.6

ANNÉE	MOIS	JOUR	HEURE (T.U.)	MAGNITUDE M(L)
1976	Juin	3	09 40 19	1.3
"	"	4	09 39 34	0.4
"	"	7	06 14 05	0.3
"	"	"	23 29 22	0.6
"	"	8	11 37 11	0.4
"	"	10	23 20 34	0.6
"	"	14	10 43 57	0.2
"	"	16	19 06 15	0.5
"	"	17	21 02 22	0.6
"	"	18	09 06 15	0.3
"	"	18	09 48 54	0.7
"	"	19	15 05 54	0.3
"	"	20	23 46 57	0.5
"	"	23	02 25 43	0.5
"	"	24	05 20 37	0.2

APPENDICE II

ACTIVITÉ SÉISMIQUE ENREGISTRÉE À T2

ANNEE	MOIS	JOUR	NOMBRE	HEURES (T.U.)				
				h m	h m	h m	h m	h m
1975	Oct.	24	10 (INCOMPLET)	1926	1946	2002	2043	2053
"	"	"		2207	2258	2312	2331	2340
"	"	25	75	0009	0020	0043	0044	0146
				0236	0242	0245	0334	0417
				0420	0450	0506	0511	0524
				0526	0609	0630	0633	0715
				0752	0752	0804	0808	0811
				0859	0906	0955	0956	1006
				1014	1035	1046	1049	1051
				1106	1112	1201	1205	1232
				1322	1324	1334	1341	1351
				1438	1441	1507	1524	1600
				1608	1633	1714	1734	1750
				1851	1903	1910	1940	1942
				2024	2034	2054	2120	2124
				2222	2228	2233	2243	2307
				2316	2320	2321	2322	2357
"	"	26	27	0125	0206	0234	0543	0811
				0852	0855	0858	0949	1003
				1202	1210	1258	1357	1457
				1639	1805	1806	1958	2106
				2106	2127	2130	2211	2325
				2337	2358			
"	"	27	54	0030	0046	0138	0150	0157
				0223	0246	0300	0326	0330
				0342	0556	0557	0602	0631
				0634	0701	0735	0752	0800
				0820	0821	0857	0906	1220
				1237	1352	1436	1505	1518
				1753	1755	1800	1800	1820
				1833	1901	1903	1928	1928
				2020	2026	2026	2049	2058
				2059	2209	2234	2241	2304
				2305	2329	2333	2356	
"	"	28	37	0001	0057	0113	0200	0209
				0220	0307	0313	0315	0316
				0333	0357	0407	0421	0512
				0536	0548	0559	0653	0656
				0814	0901	0933	1008	1028
				1045	1213	1240	1246	1356
				1421	1705	1847	2018	2328
				2344	2354			
"	"	29	29	0119	0202	0210	0222	0223
				0402	0637	0651	0715	0743
				0814	0848	0926	1050	1051
				1107	1136	1328	1422	1556
				1620	1644	1657	1754	2013
				2043	2043	2144	2243	

ACTIVITÉ SÉISMIQUE ENREGISTRÉE À T2

ANNEE	MOIS	JOUR	NOMBRE	HEURES (T.U.)				
				h m	h m	h m	h m	h m
1975	Oct.	30	30	0147	0245	0305	0327	0407
				0447	0535	0822	0911	0938
				1120	1137	1240	1243	1326
				1347	1351	1352	1358	1403
				1412	1444	1855	1931	2034
				2114	2234	2242	2251	2323
"	"	31	34	0144	0409	0431	0618	0737
				0806	0856	0905	0916	0941
				1004	1010	1032	1103	1131
				1201	1238	1254	1310	1438
				1440	1455	1518	1610	1617
				1649	1656	1700	1826	2043
				2048	2111	2154	2355	
"	Nov.	1	35	0102	0138	0139	0149	0150
				0156	0214	0357	0419	0504
				0508	0603	0637	0710	0733
				0739	0952	1121	1145	1148
				1228	1247	1424	1508	1600
				1643	1700	1833	2035	2058
				2123	2128	2135	2223	2334
"	"	2	28	0054	0255	0258	0418	0427
				0658	0703	1118	1158	1310
				1332	1356	1815	1603	1610
				1627	1634	1653	1756	1919
				1939	2028	2107	2130	2202
				2237	2303	2327		
"	"	3	23	0006	0049	0301	0317	0321
				0351	0404	0539	0616	0752
				0802	1003	1005	1017	1157
				1311	1312	1409	1544	1755
				2123	2207	2245		
"	"	4	24	0013	0201	0204	0219	0246
				0257	0304	0353	0428	0455
				0618	0826	1030	1047	1249
				1537	1710	1957	2056	2159
				2205	2211	2229	2243	
"	"	5	32	0130	0211	0316	0334	0355
				0411	0428	0501	0517	0555
				0903	0909	0931	0956	1058
				1111	1137	1315	1333	1407
				1434	1459	1524	1557	1726
				1842	1958	2007	2046	2140
				2216	2357			
"	"	6	26	0217	0224	0229	0231	0255
				0315	0317	0626	0741	0855
				1214	1332	1347	1430	1448
				1458	1505	1538	1631	2007
				2131	2147	2239	2255	2318
				2320				

ACTIVITÉ SÉISMIQUE ENRÉGISTRÉE À T2

ANNEE	MOIS	JOUR	NOMBRE	HEURES (T.U.)				
				h m	h m	h m	h m	h m
1975	Nov.	7	20	0405	0550	0634	0730	0816
				0856	0911	0913	0934	0952
				1213	1216	1350	1451	1452
				1515	2011	2106	2129	2359
"	"	8	21	0109	0212	0213	0257	0306
				0402	0525	0712	0918	1040
				1051	1546	1600	1616	1729
				2146	2148	2150	2155	2347
				2349				
"	"	9	30	0132	0214	0244	0254	0433
				0458	0518	0530	0736	0822
				0949	0950	1019	1046	1052
				1157	1447	1628	1735	1750
				1810	1839	1854	1902	2015
				2053	2230	2240	2313	2316
"	"	10	8	0205	0308	1544	1615	1715
				1726	2038	2100		
"	"	11	20	0105	0307	0326	0343	0442
				0448	0538	0622	0831	0918
				1005	1145	1325	1338	1454
				1800	1823	1842	2232	2334
"	"	12	17	0019	0157	0158	0254	0341
				0753	0910	1250	1303	1340
				1534	1646	1900	1905	1920
				2303	2309			
"	"	13	13	0117	0137	0307	0403	0602
				1050	1057	1255	1428	1605
				1621	1643	2054		
"	"	14	11	0421	0610	0700	0828	1034
				1055	1230	1455	1455	1637
				2212				
"	"	15	13	0056	0116	0505	1001	1028
				1047	1136	1252	1520	1640
				1644	2038	2312		
"	"	16	17	0236	0306	0328	0536	0640
				0946	1206	1424	1526	1554
				1614	1712	1727	1751	1923
				2304	2313			
"	"	17	8	0619	1032	1057	1432	1441
				1734	1951	2107		
"	"	18	9	0049	0110	0116	0558	0643
				1156	1411	1726	1910	

ACTIVITÉ SÉISMIQUE ENREGISTRÉE À T2

ANNEE	MOIS	JOUR	NOMBRE	HEURES (T.U.)				
				h m	h m	h m	h m	h m
1975	Nov.	19	7	0848 2110	0849 2232	0933	1255	1318
"	"	20	13	0424 1347 2145	0725 1431 2258	0829 1512 2308	0932 1922	1144 2047
"	"	21	15	0057 1053 2022	0108 1123 2025	0733 1213 2126	0735 1221 2129	0827 1351 2348
"	"	22	8	0025 1725	0236 1813	0925 2014	1124	1241
"	"	23	12	0051 1111 2245	0252 1120 2308	0302 1125	0408 1646	0414 2023
"	"	24	8	0324 1316	0414 1517	0829 2132	1211	1315
"	"	25	8	0056 1649	0239 2008	0241 2131	0401	0606
"	"	26	7	0836 2046	1521 2333	1705	2031	2045
"	"	27	8	0023 1213	0032 1621	0041 2345	0224	1024
"	"	28	9	0020 1259	0346 1308	0536 1338	0620 2207	0718
"	"	29	11	0625 1019 1814	0735 1106	0835 1216	0842 1440	0927 1812
"	"	30	6	0045 2324	0447	1011	2106	2136
"	Dec.	1	9	0057 0851	0354 0901	0424 1016	0740 1201	0742
"	"	2	8	0605 1744	0607 1907	1130 2159	1553	1555
"	"	3	5	0413	0640	1111	1436	2238
"	"	4	2	0118	1117			
"	"	5	2	0424	0442			

ACTIVITÉ SÉISMIQUE ENREGISTRÉE À T2

ANNEE	MOIS	JOUR	NOMBRE	HEURES (T.U.)				
				h m	h m	h m	h m	h m
1975	Dec.	6	5	0846	1216	1244	1616	2149
"	"	7	7	1254 2156	1300 2257	1850	1851	2118
"	"	8	14	0638 1046 1815	0400 1051 1911	0454 1051 1958	0636 1201 2300	0735 1445
"	"	9	4	0943	1146	2248	2254	
"	"	10	3	1434	1637	2351		
"	"	11	8	0338 2002	0356 2154	1234 2334	1819	1852
"	"	12	13	0116 1109 1508	0329 1305 2152	0624 1328 2153	0733 1439	0931 1507
"	"	13	5	0541	0644	1334	1922	2231
"	"	14	8	0038 0844	0051 1711	0105 1739	0133	0338
"	"	15	9	0240 0935	0304 1450	0352 1457	0400 1944	0838
"	"	16	4	0636	0937	1155	2039	
"	"	17	5 INCOMPLET	0042	0721	0944	0954	1152
1976	Jan.	23	7	0141 2149	0205 2153	1029	1110	1338
"	"	24	2	0245	1950			
"	"	25	5	0412	0416	0733	1430	2133
"	"	26	2	1118	2118			
"	"	28	5	0326	0416	0501	1802	2114
"	"	29	5	0152	0407	1223	2044	2331
"	"	30	8	0010 1634	0251 2211	0254 2216	0915	1012
"	"	31	2	0519	2120			
"	Feb.	3	2	0115	1145			
"	"	4	1	1632				

ACTIVITÉ SÉISMIQUE ENREGISTRÉE À T2

ANNEE	MOIS	JOUR	NOMBRE	HEURES (T.U.)				
				h m	h m	h m	h m	h m
1976	Feb.	5	3	0301	0605	1114		
"	"	6	3	0332	1618	2250		
"	"	9	2	0200	2157			
"	"	10	3	0149	0303	1111		
"	"	11	4	0256	0556	1654	2222	
"	"	12	3	0020	0421	0454		
"	"	13	2	1818	2002			
"	"	14	1	0435				
"	"	16	3	1427	1921	2042		
"	"	17	2	1735	2112			
"	"	18	2	1615	2031			
"	"	19	2	0402	1916			
"	"	20	4	0041	0821	1008	2351	
"	"	24	5	1331	1513	1600	1856	1903
"	"	25	3	0924	1948	2332		
"	"	26	2	0208	0650			
"	"	27	3	1129	2135	2136		
"	"	28	3	0251	0626	2015		
"	Mar.	1	2	1746	1855			
"	"	2	7	0400 1819	0613 2356	0736	0803	1011
"	"	3	4	0029	0838	1638	1803	
"	"	5	3	1611	1739	1740		
"	"	6	1	0641				
"	"	8	1	2124				
"	"	9	2	0029	2140			
"	"	10	2	0743	2341			
"	"	11	4	0030	0156	1523	1939	

ACTIVITÉ SÉISMIQUE ENRÉGISTRÉE À T2

ANNEE	MOIS	JOUR	NOMBRE	HEURES (T.U.)				
				h m	h m	h m	h m	h m
1976	Mar.	12	3	0022	0251	0253		
"	"	13	2	0223	0751			
"	"	16	1	0341				
"	"	17	3 INCOMPLET	0251	1753	1753		

APPENDICE III

MAGNETOTELLURICS AT MANICOUAGAN 3

BACKGROUND

Due to the series of small earthquakes that were associated with the filling of the Manic-3 reservoir, the Earth Physics Branch became interested in attempting to predict a larger earthquake in the area should one occur. For this reason the Division of Geomagnetism began monitoring the earth resistivity using the magnetotelluric technique at two locations near the reservoir on December 17, 1975. The Manic-3 area is of interest because of the greater chance of an earthquake occurring in the near future and because the epicentre location is quite well determined.

Each station consists of a magnetometer, a telluric system and a cassette recorder. The magnetometer is a three-component fluxgate magnetometer which measures the north-south (H), east-west (D), and vertical (Z) components of the earth's geomagnetic field variations. The telluric system measures potential differences between north-south (EX) and east-west (EY) electrodes buried in the ground approximately 300 meters apart. The data is recorded on digital cassettes which last 17 days.

STATION LOCATIONS

Suitable sites for stations were very limited due to the rugged terrain and lack of access roads. In addition, the main roads also serve as the corridor for the power transmission lines. It is best to establish magnetotelluric stations as far as possible from such lines. Our main station is situated approximately 3 km to the east of mile 63.5 of Highway 389. The reference station is 9 km west of Highway 389 on the Outardes-3 road.

...2

DATA COLLECTED

Our calculations require the measurement of H, D, EX and EY at each station. However, we have had limited success in measuring all these components simultaneously. Up to June 10 we have recorded for 116 days at the main station but have obtained the four components simultaneously on only three days. This is due partly to a recorder malfunction which lasted 49 days. Also it proved to be very difficult to keep the magnetometer sensing head level in semifrozen sand. If the head tilts by more than 0.5° then some or all of H, D or Z can go off scale. We have lost 46 days of data because of this problem. Some of our telluric wires were taken and all data between May 25 and June 10 were lost.

The situation is similar at the reference station. But in addition an animal has persistently chewed the east-west (EY) telluric wire. In addition, all wires and the magnetometer sensing head were stolen on May 5.

DATA ANALYSIS

Our plans were to calculate parameters related to the resistivity of the earth at each station. Stress build up in the area may cause micro-cracks in the rock. As these gradually fill with fluid the resistivity should decrease. If an earthquake does occur, the stress will be released, the micro-cracks will close and the resistivity will gradually increase. A prediction as to the size and time of the earthquake can be made from the magnitude of the decrease in resistivity and the time span of the decrease. The reference station is used to eliminate the possibility that resistivity changes are due to some other cause such as seasonal temperature variations.

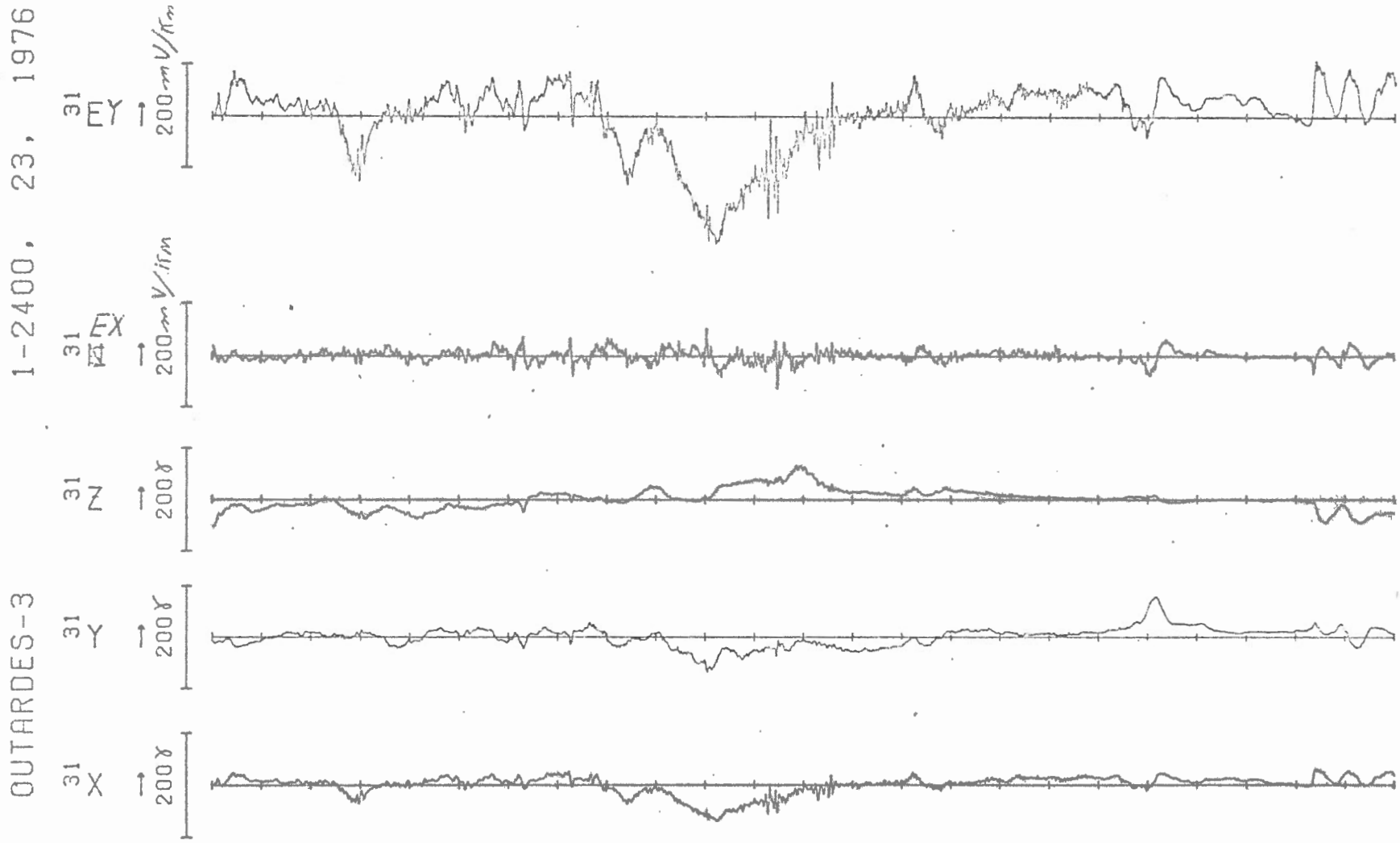
...3

In view of the data dequisition problems, analysis is proceeding by a different method. We are comparing the amplitude of simultaneous telluric records between the two stations. Also we are looking into the possibility of interchanging magnetic components between the two stations. In theory they should be nearly identical and this will allow a somewhat more elegant analysis. To this end all available data has been played back on the computer, calibrated, timed and plotted. A sample of 24 hours of data is enclosed. We will report on any results as they become available.

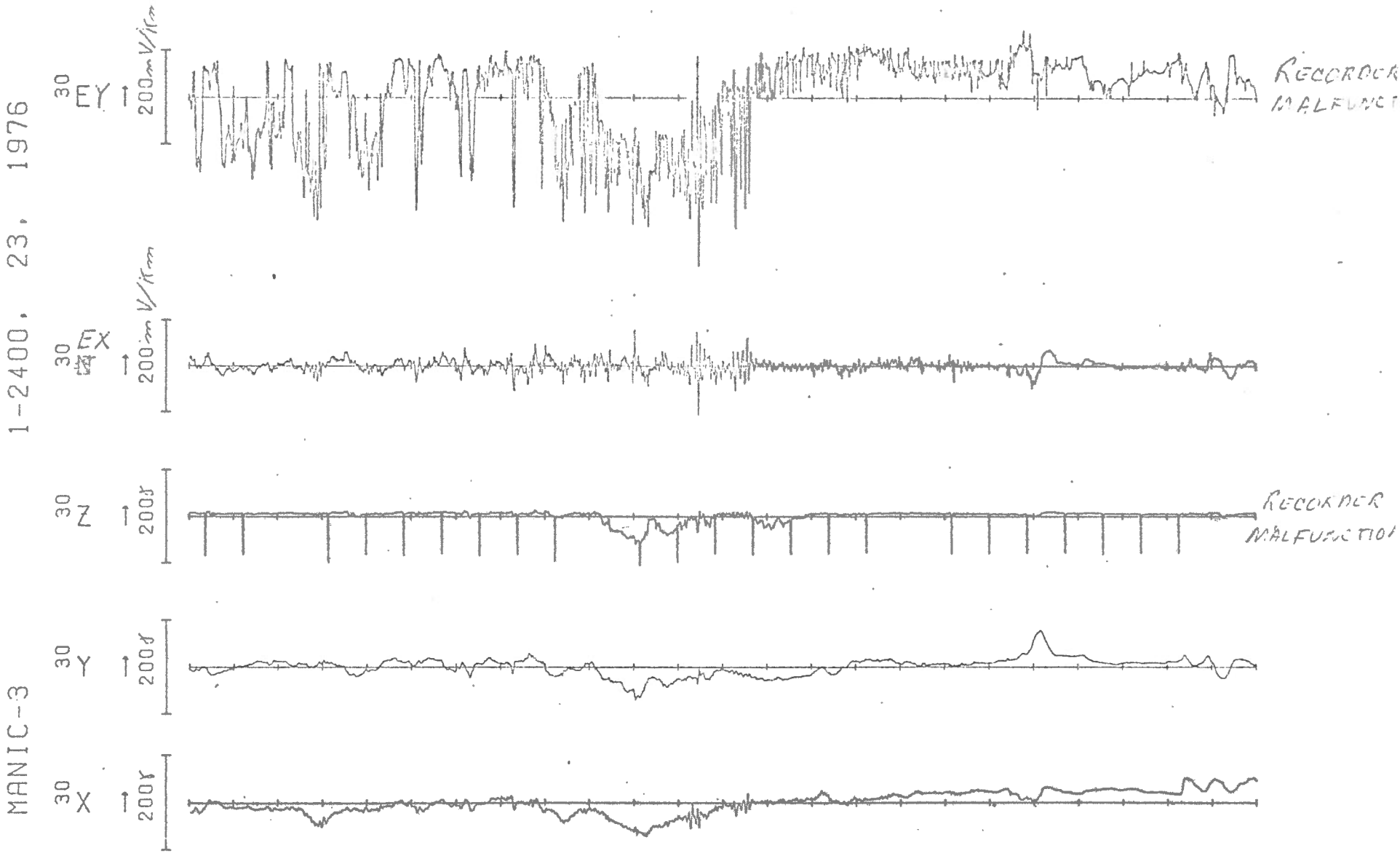
On our last visit to Manic-3 (June 9-11) we were able to bury the magnetometer heads properly and to hide the telluric lines. However, it may be necessary to bury the lines also should thefts continue to occur. All the instruments should now be working properly and we are looking for better results in the future.

I would like to thank Hydro-Quebec for all their kind assistance for this project. It has been a pleasure to meet and work with Mr. P. Giroux, Mr. L. Boisclair and Mr. Bérubé.

Dr. Ronald Kurtz
Geomagnetic Division



REFERENCE STATION



MAIN STATION

APPENDICE IV

MAGNETOTELLURICS AT MANICOUAGAN-3

FIELD NOTES BY R.D. KURTZ

December 12 - 20, 1975 Field Trip

Ron Kurtz and Richard Groulx drove to the Manic-3 site to set up 2 magnetotelluric stations. Suitable sites for stations were very limited due to the rugged terrain and the lack of access roads. In addition, the main roads serve as corridors for the power transmission lines. We understand that there are 3 lines, each carrying 600 amps at 300 KV. It is best to establish magnetometer stations as far as possible from such lines. The main station is situated approximately 3 km to the east of mile 63.5 of Highway 389. From November to May it is accessible only by snowmobile. It is approximately 5 km west of the reservoir. The reference station is 9 km west of Highway 389 on the Outardes-3 road. In the winter one must showshoe in 1/4 mile.

January 19 - 23, 1976 Field Trip

Ron Kurtz and Luc Pomerleau returned to Manic-3 to service the stations and to teach a Hydro-Quebec employee (Mr. Leo Boisclair) how to change the data tapes. They found a weak battery on the recorder at the main station. At the reference station the telluric lines had been chewed by animals. They were repaired but the east-west telluric amplifier had a DC offset.

March 22 - 25, 1976 Field Trip

Richard Groulx and Doug Cook drove to Manic-3 to service the stations. The magnetometer heads at both stations had tilted so that some channels were offscale. It is only necessary for the head to tilt by 0.5° for this to happen. The problem arose because of the semi-frozen sand and humus in which the head was buried. The heat dissipated by the head would cause some melting on warmer days.

A replacement recorder was installed at the main station because the old one had a malfunction on two channels.

At the reference station the east-west telluric line had again been chewed. This was repaired and a new telluric amplifier was installed. A few days later the east-west line was again broken.

May 4, 1976

From an examination of the data it was evident that the magnetometer head and all telluric lines were stolen from the reference station on this date.

May 17 - 24, 1976

Sometime during this period the telluric lines were stolen from the main station.

June 7 - 12, 1976 Field Trip

Ron Kurtz and Ed Berndt drove to Manic-3 to repair the stations. Now that the 3 to 4 feet of snow had melted they could see that the telluric lines had been rather exposed. Lines were re-established and great care was taken to hide them from view. Also the magnetometer heads and cables could now be properly installed and buried. It was necessary to have another shack moved to the reference station. The original shack had been sold and the new owner did not want an M.T. station beside his bed.

June 29

Word has just been received from Hydro personnel that one of the stations has been broken into again. Evidently nothing was stolen but the cassette was removed from recorder and the recorder itself has been damaged.

RESULTS ACHIEVED TO JUNE 30, 1976

All the cassette tapes have been played back on the computer; the data have been edited, calibrated and plotted.

Up until June 10, 1976:

Main station has recorded for 116 days

Percent recovery:

H = 85%

D = 45%

Z = 19%

EX (north-south telluric) = 85%

EY (east-west telluric) = 43%

Problems have occurred in such a fashion that good simultaneous data from H, D, EX and EY exist for 3 days only.

Reference station has recorded for 113 days

Percent recovery:

H = 42%

D = 42%

Z = 59%

EX = 36%

EY = 3% (There is more data but it appears unstable)

There are 3 days simultaneous data for H, D, EX and EY

With these data:

(1) Impedance tensor elements may only be calculated for 3 days. This may prove useful when compared with later data.

(2) Magnetic components may be interchanged between the two stations which will allow the impedance tensor to be calculated for an additional 10 days.

(3) An amplitude comparison can be performed between the north-south telluric components for simultaneous data from January to the end of April.

(4) EX/Y and EY/X ratios can be calculated but they may prove to be rather unstable.

DIFFICULTIES AHEAD

(1) Hydro-Quebec have been supplying a man to change the data cassettes. He has become unavailable but they have found a replacement. It will be necessary to return to Manic-3 in the near future to train him. However he is only available once every 3 weeks. The amount of servicing he is willing to perform must be discussed. Also there will be difficulties in the winter. (See below #4)

(2) We may have to move the main station out of its shack. It will then be necessary to make arrangements for some other shelter.

(3) Hydro Quebec is slowly closing down its construction camp and by fall there will be no accommodation available. Earth Physics Branch personnel will have to work out of Baie Comeau. In winter it is a two hour drive to Manic-3.

(4) Access in the winter to the main station is by snowmobile only. For safety reasons two people and two snowmobiles are required to make the trip. Over the past winter the snowmobiles were rented from a worker at the construction site. For the coming winter it will be necessary to supply our own or rent in Baie Comeau.

RECOMMENDATIONS

(1) The telluric lines should be buried. This is not easy, in rugged bush covered areas.

(2) To ensure a higher rate of data recovery, the stations should be checked at least once a week.

(3) An alternative would be to telemeter the data from the main station to the seismology station (MNQ) and either record there or relay the data on to Ottawa. In Ottawa it can be monitored and problems corrected as they arise.

APPENDICE V

Installation de stations gravimétriques précises dans le voisinage de Manic 3.

Information de base.

Des mesures précises de gravimétrie sont sensibles aux changements relatifs d'élévation et aux changements de masse sous les stations. Des différences gravimétriques de l'ordre de 2 à 3 µgal (10^{-6}gal) sont présentement détectables avec 90% de niveau de confiance. Cette précision équivaut à la mesure d'un changement d'élévation de un (1) centimètre sur une distance allant jusqu'à 100km, pourvu que la route soit en bonne condition. A l'instar des mesures de niveaux, les mesures gravimétriques dépendent très peu de la distance séparant les stations. Cependant l'interprétation de variations de gravité en fonction de mouvements verticaux demande certaines hypothèses sur les mouvements de masse associés et sur d'autres effets tels que la fluctuation saisonnière de la table d'eau. A moins que les mouvements verticaux soient importants (>5cm), les effets de redistribution de masse peuvent masquer l'effet de déplacement vertical. Heureusement il existe déjà une ligne nivelée qui part de Baie Comeau jusqu'à Manic 5, en suivant la route à l'ouest de la vallée.

Des mesures précises gravimétrique et de niveau peuvent fournir une méthode valable pour l'évaluation de changements de volume dont on s'attend avant et lors d'un séisme. La mesure de changement de volume est très importante pour le développement de models pour la prédiction de séismes.

Les mesures gravimétriques de cette précision donnent l'emphase sur un autre point important: ce point est le changement de densité associé à un séisme de l'ordre de 6 ou plus sur l'échelle Richter. Ceci produit alors une distortion du potentiel qui peut créer une erreur de niveau allant jusqu'à 30% lorsqu'une mesure du déplacement vertical est effectuée. La combinaison de mesures gravimétriques avec des niveaux précis, peut donner une meilleure détermination des changements de volumes qui ont eu lieu.

Nous aimerions établir quatre (4) stations de lecture autour du barrage Manic 3.

a) une station de référence près du Lac Varin à 25km au sud du barrage,

b) une station sur un affleurement près du barrage, ayant une élévation approximativement identique au niveau d'eau, et situé au moins 30m de l'eau (pour éviter des effets d'attraction directe),

c) une station près de la route, 10km au nord du barrage,

d) enfin, une station près de la route à 20km au nord du barrage.

Un effort sera fait pour localiser les stations près des stations géodésiques déjà existantes (mesure du premier ordre). Ces stations devraient avoir une surface horizontale dans le but d'y installer une tente protectrice, et faciliter l'opération du gravimètre.

Ces stations seraient douées de six (6) capuchons de laiton pour permettre les mesures simultanées de deux (2) gravimètres (chacun possède trois (3) pattes).

APPENDICE VI

REPORT OF THE GEODYNAMICS SECTION

Computation of Surface Yield due to Reservoir Loading near Manic 3A Dam

This is a computation of the three components of elastic deformation at any depth based on the Boussinesq solution for an elastic half space but modified to account for the important gravitational effects of the deformation.

The elastic constants assumed are $\lambda = \mu = 3.45 \times 10^{10}$ pascals. This value is consistent with values of Vp observed by Berry et al. (1973) for this area. The Green's function used to correct the calculated vertical deformation for gravitational effects is that derived by Farrell (1972) for the Gutenberg-B earth model. The variation of this function with depth is ignored. Horizontal deformation is small and is not corrected for gravitational effects.

The load is approximated by a large number of point masses determined automatically from digitized contour data in the following way: The surface load is taken to be the sum of the flooded surfaces bounded by the 400, 500, 600 and 675 foot topographic contours. Triangles are formed from two adjacent digitized points on one boundary and the closest point on the opposite boundary. The load of the triangle is then assumed to be concentrated at the centroid. Approximately 4500 mass points are used to represent the reservoir load between the dam and latitude 50.00°N.

The three components of deformation were calculated at approximately 1 km intervals on the surface and throughout several vertical sections to a depth of 20 km. The surface data has been contoured and is reproduced here in Figure 1. Data for one vertical section is illustrated in Figure 2. A plastic overlay with calculated deformations noted has been

prepared also for overlaying directly on the 1:50,000 map for Riviere Vallant (24F/18E).

D.R. Bower

March 10, 1976

References

Berry, M.J. and Karl Fuchs (1973), Crustal Structure of the Superior and Grenville provinces of the Northeastern Canadian Shield. Bull. of the Seismological Soc. of America, Vol. 63, 4, 1393-1432.

Farrell, W.E. (1972), Deformation of the earth by surface loads, Rev. Geophys. Space Phys., 10, 761.

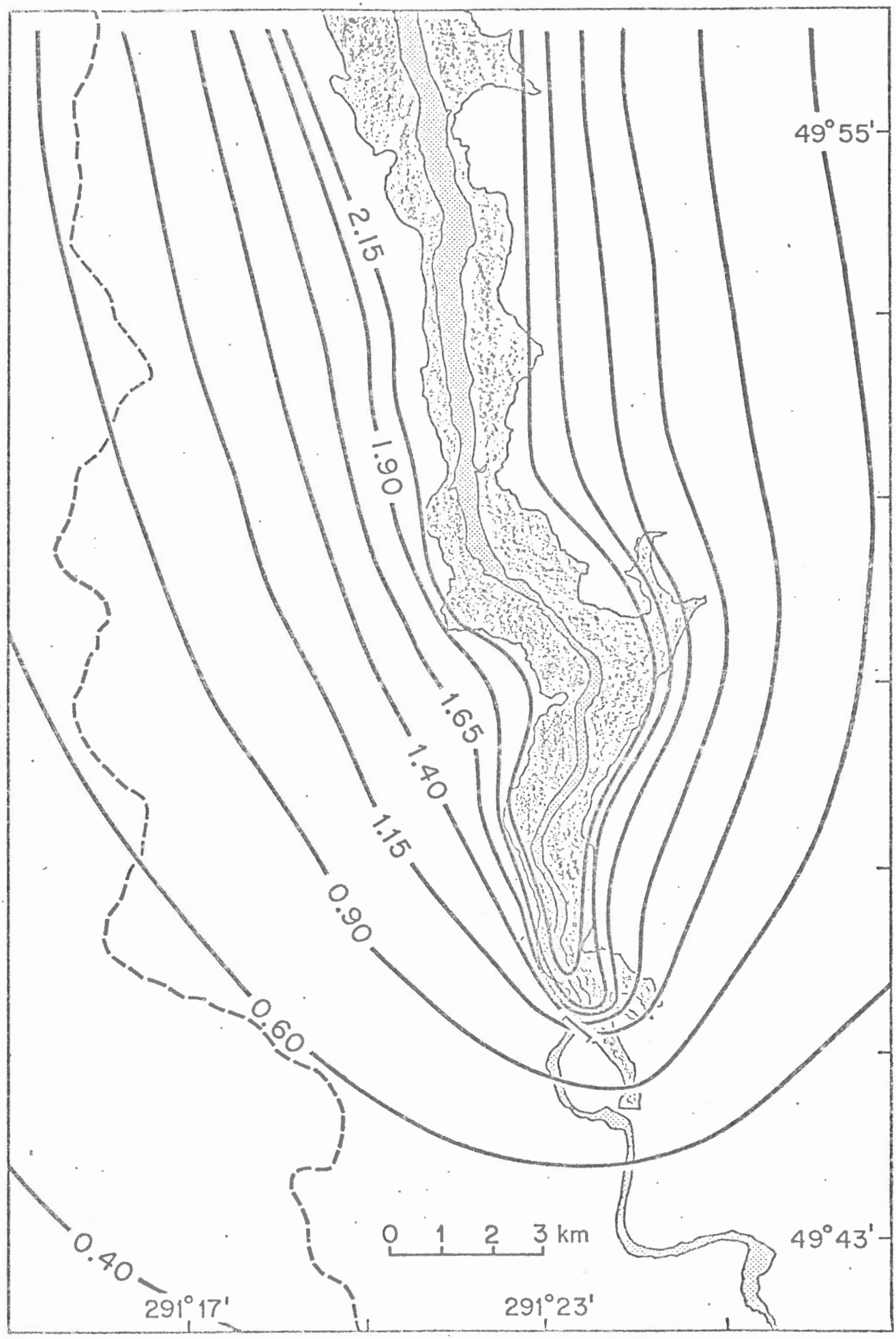


Figure 1. Vertical deformation in cms due to loading to 675 ft. contour. (Manic 3A dam)

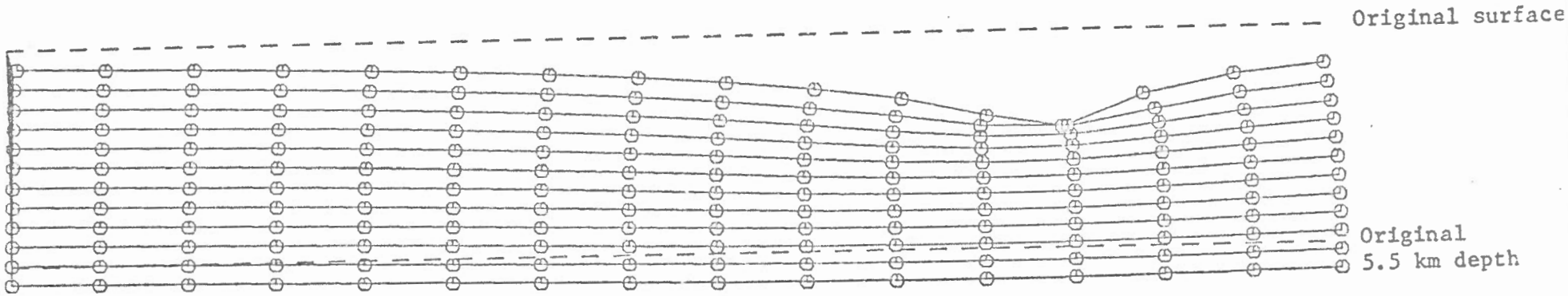


Figure 2. Deformation of a vertical section at Latitude 49°49.0'N. from Longitude 68°45'W to 15 kms east.

Horizontal and vertical deformation is shown at horizontal intervals of 1.0 km and vertical intervals of 0.5 km.

Scale for deformation: One inch on figure equals 5.0 cm of deformation.

National Research Council Canada
Conseil national de recherches Canada
DIVISION OF BUILDING RESEARCH
Noise and Vibration Section

FILE NO / DOSSIER NO M43-13-41

DATE 25 May 1976

TO: A
Dr. Gabriel Leblanc
Division of Seismology
Earth Physics Branch, EMR

FROM:
J.H. Rainer
Noise and Vibration Section
Division of Building Research, NRC

SUBJECT: Strong-Motion Seismographs at Manic 3

The purpose of this memo is to summarize the events in connection with the seismic activities detected at Manic 3 in October 1975 and as they affect the strong-motion seismographs located there.

Two SMA-1 strong-motion seismographs are located at Manic 3, one inside the instrument room excavated from the embankment rock, another at the toe of the dam on a concrete pedestal founded on the fill material and covered by a hut. Three more instruments are to be located on the dam upon completion of construction and the necessary facilities.

The two installed instruments received regular service in July of 1975. Late in October 1975 the instrument engineer for Hydro-Quebec, Robert Martin, informed us that there may be a problem with the seismographs. We told him to replace the one at the toe of the dam by a spare instrument that was available there. This replacement was carried out on or about 1 October 1975. Because of increasing seismic activity reported by yourself and since the event indicator on the instrument showed a recorded event, our technicians went to Manic 3 and retrieved the film from both instruments on 21 October. The instrument inside the rock cavity as well as the one that was at the toe of the dam (replaced 1 October 1975) were found to be inoperative because a voltage surge in the 110v supply burned out some components. Our technicians left Manic 3 on 21 October 1975 with the exposed films of the two instruments. Two fully serviced, operational SMA-1's were left in place at the dam. The instrument in the rock cavity has a vertical and horizontal trigger, the one on the toe of the dam has a vertical trigger only. The instruments are set to trigger and operate independently from one another at the factory-set trigger level of 0.01 g peak acceleration threshold. We have not verified this level yet, but plan to do so on our next inspection trip at the beginning of this summer. However, we have checked two similar instruments here and found them to be almost exactly set at 0.01 g.

Dr. Gabriel Leblanc 25 May 1976

After the major seismic event was detected by your organization on 23 October, the trigger indicator on both instruments at Manic 3 and all instruments at Manic 5 were checked by Robert Martin of Hydro-Quebec. None had triggered. To make certain that the instruments at Manic 3 were in working order we asked Mr. Martin to run through the operating checks using the external key on the instruments. Both instruments were found to be operational. It was therefore concluded that the above event did not exceed the trigger threshold of the strong-motion instruments.

Upon developing, the film from the rock cavity showed only a straight line, caused probably by the malfunction of the instrument due to the voltage surge.

The film retrieved from the toe of the dam contained 12 self-triggered "random"-type traces, followed by two self-triggered steady-state traces as well as the calibration records that derive from the servicing of the instrument. A photographic copy of the film was sent to Robert Martin to aid in identifying the total of 14 traces. He identified records 10 to 11 as those caused by a bulldozer working nearby, 1 to 2 as caused by seismic events on 12/10/75 at 3:52 hr and on 15/10/75 at 13:16 hr, respectively. The last two steady-state records were attributed to an electric compressor installed nearby.

My own comments regarding the diagnosis by Robert Martin are as follows: I can agree with the identification of the last two records as probably coming from a compressor because of its steady-state nature. However, I find no basis for distinguishing seismically induced events and those induced by the bulldozer. Any one of them could have happened in the time span from 1 October to 21 October 1975. There is some doubt in my mind whether the two above events on 12 and 15 October could have triggered the strong-motion seismograph, as these events were of a rather small magnitude (M2 and M1.6, respectively, according to your determinations). While no categorical statement can be made in this regard, it is highly improbable that these small magnitude earthquakes should have triggered the seismograph and the much larger one on October 23, with magnitude 4.3 and roughly the same location, did not trigger that same instrument. I have therefore taken the position that these records cannot be identified as to their origin and therefore have not proceeded with processing them. Should further information become available to justify processing, however, the original film and copies are kept on file in our office.

We would be glad to make the photographic copy or a film copy available to you for your inspection.

Hans Rainer

J. H. Rainer

:vm 76-NV-113