

MAGNETIC INCLINATION CHART OF CANADA 1990
Descriptive Notes
by L.R. Newitt and G.V. Haines

INTRODUCTION
Although a few magnetic inclination (dip) observations were made in Canada in the seventeenth and early eighteenth centuries, it was not until the late eighteenth century that explorers and navigators began to make inclination measurements in large numbers. Inclination measurements, although fairly easy to make, were of little practical importance to the navigator. However, they were of great importance to scientists of the day, who were trying to determine the basic structure of the Earth's magnetic field. Inclination measurements were also essential for determining the position of the North Magnetic Pole, which was of great interest to early nineteenth century scientists.

In the late nineteenth century, various agencies of the Canadian Government such as the Topographical Survey, Hydrographic Survey, the Meteorological Service and the Dominion Observatory began to conduct magnetic surveys of the country in a systematic manner (Dawson and Newitt, 1980). Although the emphasis was on magnetic surveys by observations of inclination were also made, especially by the Dominion Observatory. However, it was not until the Dominion Observatory initiated high-level (3 to 5 km above sea level) vector airborne magnetic surveys in 1953 that uniform coverage of the entire country was achieved. Airborne surveys carried out between 1953 and 1976 by the Dominion Observatory and its successor, the Earth Physics Branch, covered the country twice (Haines, 1983). These data form the basis of recent charts and models of inclination and the other elements of the magnetic field.

The magnetic inclination is not a constant quantity. In fact, all elements of the magnetic field are slowly changing in a non-uniform and somewhat unpredictable fashion (Newitt and Dawson, 1984). This process is referred to as secular variation. For this reason, magnetic charts must be revised periodically. Since it is not feasible to re-survey the entire country before each revision, the secular variation of the magnetic field must be continually monitored. In Canada, a network of 60 magnetic repeat stations and 13 permanent magnetic observatories is maintained primarily for this purpose. Observations from this network allow the adjustment of magnetic survey data to the epoch of the chart.

CANADIAN GEOMAGNETIC REFERENCE FIELD 1990
Magnetic inclination charts of Canada have been produced on a regular basis since 1953. Early charts were produced by hand-contouring the observed data, updated to the epoch of the chart in some manner. Since 1970, the procedure has been first to produce a mathematical model of the magnetic field and then to produce a chart based on the model.

A major innovation in regional modelling techniques was the development of spherical cap harmonic analysis by Haines (1985a). The development permitted, for the first time, a regional model which recognized that electrical charges and currents are respectively near the Earth's surface. Constraints on the model resulted in a tractable and greatly simplified mathematical model. The method of spherical cap harmonic analysis was originally applied to modelling the secular variation over Canada (Haines, 1985b) and to the production of the 1985 and 1987 versions of the Canadian Geomagnetic Reference Field (Haines and Newitt, 1986; Newitt and Haines, 1989).

Mathematical models have replaced charts as primary sources of information for many applications, since they allow the quick and automatic determination of precise values of the magnetic field elements at any point and time. However, a chart provides an overall picture of the magnetic field pattern not obtainable from a model and provides sufficient precision for many uses.

The magnetic inclination chart of Canada for 1990 is derived from the Canadian Geomagnetic Reference Field for 1990 (CGRF 1990). The CGRF is a spherical cap harmonic model which approximates values of inclination, and all other elements of the magnetic field, anywhere in Canada and the surrounding regions. The model was produced from the vector airborne magnetic observations over Canada gathered between 1965 and 1976 by the Earth Physics Branch and from vector satellite (MAGSAT) observations gathered in late 1979 and early 1980 by the U.S. National Aeronautics and Space Administration (NASA). The airborne data were averaged in cells 127 km square, whereas the satellite data were variably declimated to give a uniform distribution over the chart area. A total of 4350 airborne and 5622 satellite component-observations were obtained in the area analysed.

All data were updated to 1990 using a spherical cap harmonic model of the secular variation over Canada derived from first differences at 33 magnetic observatories and 151 repeat stations in Canada, the United States, Greenland and Iceland. A spherical cap harmonic model was then produced from equally weighted airborne and satellite data after subtraction of the 1965 International Geomagnetic Reference Field (IGRF) extrapolated to 1990 (IAGA Division 1 Working Group 1, 1982). The inclination is obtained by summing values of the IGRF and the spherical cap harmonic model. The annual change is the value of inclination at 1991 minus the value at 1990.

NORTH MAGNETIC POLE
The North Magnetic Pole is defined as the point on the Earth's surface where the inclination is 90° i.e., where the magnetic field is directed vertically downward. The magnetic pole was first located in 1831 by James Ross at the west coast of Boothia Peninsula. Its present position, derived from the CGRF 1990 is 78.3°N, 104.0°W, some 500 km northwest of Ross's position and its current motion is approximately 10 km per year northwesterward. The last observed position, for 1983.5, was 77.0°N, 102.5°W (Newitt and Niblett, 1986).

REFERENCES
Dawson, E. and Newitt, L.R.
1980. Canada charts its magnetic field 1843-1980. Geos. Summer, p.13-16.

Haines, G.V.
1983. E.P.B. aeromagnetic data (1953-1976). In Proceedings Aeromagnetic Data Workshop November 16-18, 1982, Boulder Colorado: Workshop Proceedings, v.1, p.5-19, National Geophysical Data Centre, Boulder, Colorado.

1985a. Spherical cap harmonic analysis. Journal of Geophysical Research, v.90, p.2583-2591.

1985b. Spherical cap harmonic analysis of geomagnetic secular variation over Canada 1950-1983. Journal of Geophysical Research, v.90, p.12563-12574.

Haines, G.V. and Newitt, L.R.
1986. Canadian geomagnetic reference field 1985. Journal of Geomagnetism and Geoelectricity, v.38, p.895-921.

IAGA Division 1 Working Group 1
1982. International geomagnetic reference field revision 1985. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, v.85, p.217-220.

Newitt, L.R. and Dawson, E.
1984. Secular variation in North America during historical times. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, v.78, p.277-289.

Newitt, L.R. and Haines, G.V.
1989. Canadian geomagnetic reference field for epoch 1987.5. Journal of Geomagnetism and Geoelectricity, v.41, p.249-261.

Newitt, L.R. and Niblett, E.R.
1986. Relocation of the north magnetic dip pole. Canadian Journal of Earth Sciences, v.23, p.1062-1067.

Copies of this map may be obtained from the Geological Survey of Canada, 601 Booth Street, Ottawa, Ontario K1A 0E8, 3303-33rd Street, N.W., Calgary, Alberta T2L 2A7.

Recommended citation:
L.R. Newitt and G.V. Haines
1990: Magnetic Inclination Chart of Canada 1990.0, Geological Survey of Canada, Canadian Geophysical Atlas, Map 9, scale 1:110 000 000

CARTE DE L'INCLINAISON MAGNÉTIQUE AU CANADA POUR 1990
Notes Descriptives
par L.R. Newitt et G.V. Haines

INTRODUCTION
Bien que quelques observations de l'inclinaison magnétique aient été faites au Canada au XVIII^e siècle et au début du XVIII^e siècle, ce n'est qu'à la fin du XVIII^e siècle que les explorateurs et les navigateurs ont commencé à faire des relevés d'inclinaison en grand nombre. Ces relevés, même s'ils étaient assez faciles à prendre, avaient peu de valeur pratique pour le navigateur. Cependant, ils revêtirent une très grande importance pour les scientifiques de l'époque qui tentaient de déterminer la structure de base du champ magnétique terrestre. Ces relevés de l'inclinaison étaient aussi essentiels à la détermination de la position du pôle nord magnétique, exercice qui présentait un grand intérêt pour les scientifiques du début du XIX^e siècle.

À la fin du XIX^e siècle, divers organismes du gouvernement canadien, comme les services de levés topographiques, de levés hydrographiques, le service météorologique et celui de l'Observatoire fédéral, ont commencé à mener de façon systématique des levés magnétiques du pays (Dawson et Newitt, 1980). Bien que l'accent portait surtout sur la déclinaison magnétique, de nombreuses observations de l'inclinaison ont également été faites, principalement par l'Observatoire fédéral. Cependant, il a fallu attendre 1953, date à laquelle l'Observatoire fédéral a entamé des levés aéromagnétiques à haute altitude (de 3 à 5 km au-dessus du niveau de la mer) du vecteur champ magnétique, pour qu'une couverture uniforme de l'ensemble du pays soit réalisée. Les levés aéromagnétiques effectués entre 1953 et 1976 par l'Observatoire fédéral et son successeur, la Direction de la physique du globe, ont couvert le pays deux fois (Haines, 1983). Ces données ont servi la réalisation des cartes et modèles récents de l'inclinaison magnétique et des autres éléments du champ magnétique.

L'inclinaison magnétique n'est pas une quantité constante. En fait, tous les éléments du champ magnétique changent lentement de façon non uniforme et quelque peu imprévisible (Newitt et Dawson, 1984). Ce processus s'appelle la variation séculaire. C'est pour cette raison qu'il faut réviser périodiquement les cartes magnétiques. Étant donné qu'il n'est pas possible de refaire des levés de l'ensemble du pays avant chaque révision, la variation séculaire du champ magnétique doit être suivie de près par une surveillance continue. Au Canada, un réseau de 60 stations magnétiques de répétition et de 13 observatoires magnétiques permanents contribue essentiellement à cet objectif. Les observations de ce réseau permettent de ajuster les données des levés magnétiques en fonction de l'époque représentée par la carte.

LE CHAMP GÉOMAGNÉTIQUE CANADIEN DE RÉFÉRENCE POUR 1990
Des cartes de l'inclinaison magnétique du Canada ont été produites périodiquement depuis 1953. Les premières cartes étaient produites en traçant à la main les données observées, mises à jour d'une certaine façon en fonction de l'époque représentée par la carte. Depuis 1970, la procédure a consisté à produire un modèle mathématique du champ magnétique, puis à produire une carte basée sur le modèle.

Une innovation majeure des techniques de modélisation régionale a été la mise au point, par Haines (1985a), de l'analyse harmonique d'une calotte sphérique. Cette innovation a permis, pour la première fois, d'élaborer un modèle régional qui reconnaissait l'existence de charges et courants électriques près de la surface de la Terre. En se basant sur ce modèle, on obtient aussi un modèle mathématique mathématiquement simplifié. La méthode de l'analyse harmonique d'une calotte sphérique a initialement été appliquée à la modélisation de la variation séculaire sur le Canada (Haines, 1985b) et à la production des versions de 1985 et de 1987.5 de Champ géomagnétique canadien de référence (Haines et Newitt, 1986; Newitt et Haines, 1989). Les modèles mathématiques ont remplacé les cartes en tant que sources primaires d'information pour de nombreuses applications, étant donné qu'ils permettent de déterminer rapidement et automatiquement les valeurs précises des éléments du champ magnétique en fonction de n'importe quel endroit ou n'importe quel moment. Cependant, une carte présente, au contraire d'un modèle, une vue d'ensemble de la configuration du champ magnétique et assure une précision suffisante pour de nombreuses utilisations.

La carte de l'inclinaison magnétique du Canada pour 1990 est dérivée du Champ géomagnétique canadien de référence pour 1990 (CGRF 1990). Le CGRF est un modèle d'analyse harmonique d'une calotte sphérique qui donne des valeurs approximatives de l'inclinaison magnétique, ainsi que de tous les autres éléments du champ magnétique, partout au Canada et dans les régions avoisinantes. Le modèle a été produit à partir d'observations aéromagnétiques à trois composantes recueillies au-dessus du Canada entre 1965 et 1976 par la Direction de la physique du globe et à partir d'observations vectorielles par satellite (MAGSAT) entre la fin de 1979 et le début de 1980 par la National Aeronautics and Space Administration (NASA) des États-Unis. Les données aéromagnétiques ont été groupées en carrés de 127 km de côté, et leur moyenne déterminée, tandis que les données recueillies par satellite ont été choisies au besoin afin d'obtenir une répartition uniforme à l'intérieur de la région cartographiée. La superficie analysée a donné lieu à 4350 observations des composantes, dans le cas des données aéromagnétiques, tandis que les données recueillies par satellite, évaluent des différences premières constatées à 33 observatoires magnétiques et 151 stations de répétition au Canada, aux États-Unis, au Groenland et en Islande. Un modèle harmonique d'une calotte sphérique a alors été produit à partir de données, également pondérées, obtenues par aéronef et par satellite après avoir soustrait le Champ géomagnétique international de référence (IGRF), extrapolé jusqu'à l'époque 1990 (IAGA Division 1 Working Group 1, 1982). L'inclinaison est obtenue en additionnant les valeurs de l'IGRF et du modèle harmonique de la calotte sphérique. La variation annuelle est la valeur de l'inclinaison à l'époque 1991 moins la valeur pour 1990.

PÔLE NORD MAGNÉTIQUE
Le pôle nord magnétique se définit comme étant le point situé sur la surface de la Terre où l'inclinaison est de 90°, c'est-à-dire où le champ magnétique s'oriente verticalement vers le bas. Le pôle magnétique a été localisé pour la première fois en 1831 par James Ross au large de la côte ouest de la péninsule de Boothia. Sa position actuelle, dérivée du CGRF pour 1990 est 78,3°N, 104,0°O, soit à quelque 500 km au nord-ouest de la position déterminée par Ross, et son déplacement actuel est d'environ 10 km par an vers le nord-ouest. La dernière position observée, pour 1983,5 était de 77,0°N, 102,5°O (Newitt et Niblett, 1986).

BIBLIOGRAPHIE
Dawson, E. et Newitt, L.R.
1980. Canada charts its magnetic field 1843-1980. Geos, 48, p.13-16.

Haines, G.V.
1983. E.P.B. aeromagnetic data (1953-1976). dans Proceedings Aeromagnetic Data Workshop November 16-18, 1982, Boulder Colorado: Workshop Proceedings, v.1, p.5-19, National Geophysical Data Centre, Boulder, Colorado.

1985a. Spherical cap harmonic analysis. Journal of Geophysical Research, v.90, p.2583-2591.

1985b. Spherical cap harmonic analysis of geomagnetic secular variation over Canada 1950-1983. Journal of Geophysical Research, v.90, p.12563-12574.

Haines, G.V. et Newitt, L.R.
1986. Canadian geomagnetic reference field 1985. Journal of Geomagnetism and Geoelectricity, v.38, p.895-921.

IAGA Division 1 Working Group 1
1982. International geomagnetic reference field revision 1985. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, v.85, p.217-220.

Newitt, L.R. et Dawson, E.
1984. Secular variation in North America during historical times. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, v.78, p.277-289.

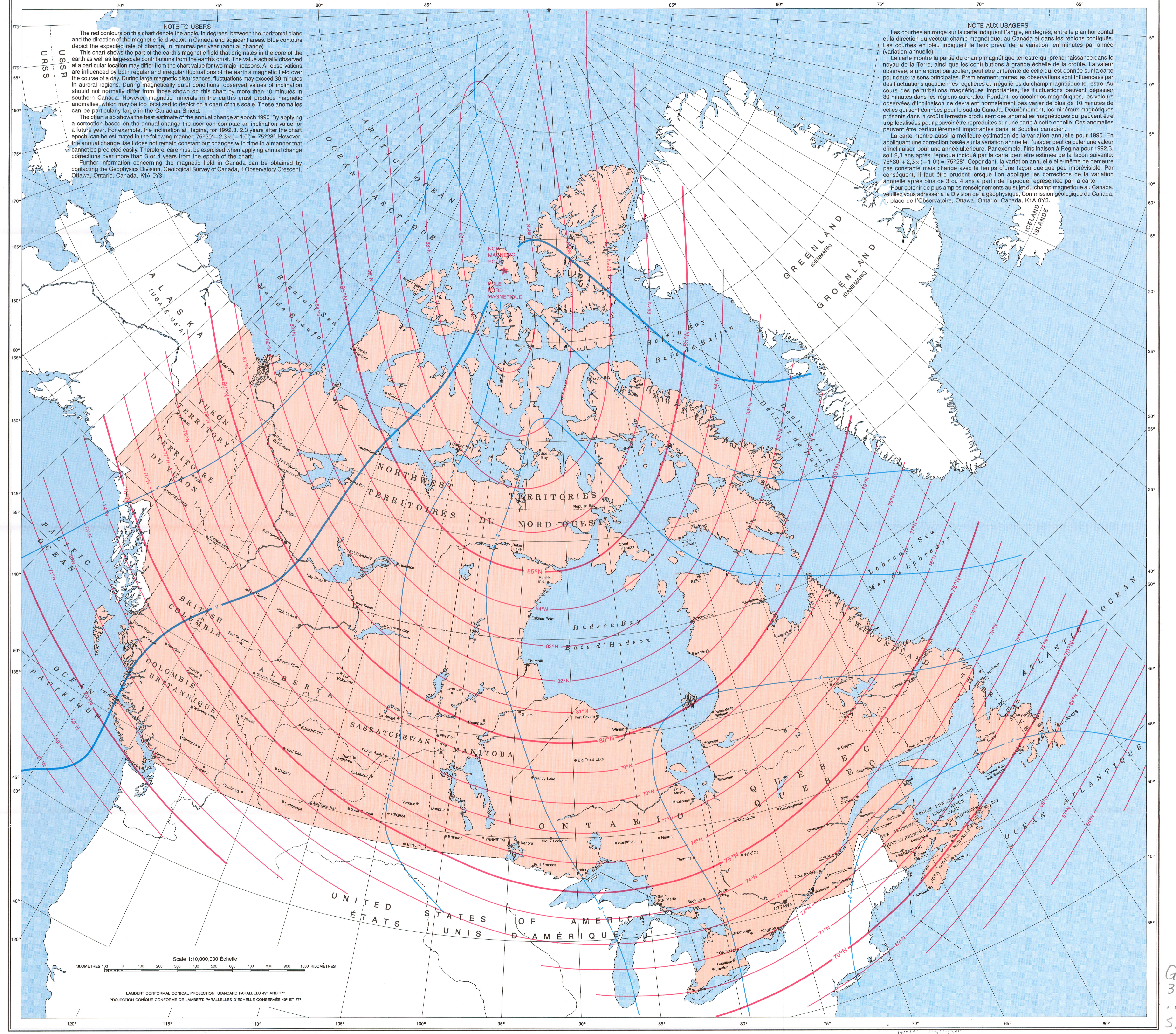
Newitt, L.R. et Haines, G.V.
1989. Canadian geomagnetic reference field for epoch 1987.5. Journal of Geomagnetism and Geoelectricity, v.41, p.249-261.

Newitt, L.R. et Niblett, E.R.
1986. Relocation of the north magnetic dip pole. Canadian Journal of Earth Sciences, v.23, p.1062-1067.

On peut obtenir des exemplaires de cette carte en s'adressant à la Commission géologique du Canada aux adresses suivantes: 601 rue Booth, Ottawa, Ontario K1A 0E8, 3303-33rd Street, N.W., Calgary, Alberta T2L 2A7.

Notation bibliographique conseillée:
L.R. Newitt et G.V. Haines
1990: Carte de l'Inclinaison Magnétique du Canada pour 1990.0, Commission géologique du Canada, Atlas géophysique du Canada, Carte 9, échelle 1:110 000 000

CANADIAN GEOPHYSICAL ATLAS - MAP 9



NOTE TO USERS
The red contours on this chart denote the angle, in degrees, between the horizontal plane and the direction of the magnetic field vector, in Canada and adjacent areas. Blue contours depict the expected rate of change, in minutes per year (annual change). This chart shows the part of the earth's magnetic field that originates in the core of the earth as well as large-scale contributions from the earth's crust. The value actually observed at a particular location may differ from the chart value for two major reasons. All observations are influenced by both regular and irregular fluctuations of the earth's magnetic field over the course of a day. During large magnetic disturbances, fluctuations may exceed 30 minutes in auroral regions. During magnetically quiet conditions, observed values of inclination should not normally differ from those shown on this chart by more than 10 minutes in southern Canada. However, magnetic minerals in the earth's crust produce magnetic anomalies, which may be too localized to depict on a chart of this scale. These anomalies can be particularly large in the Canadian Shield.
The chart also shows the best estimate of the annual change at epoch 1990. By applying a correction based on the annual change the user can compute an inclination value for a future year. For example, the inclination at Regina, for 1992.3, 2.3 years after the chart epoch, can be estimated in the following manner: $75^{\circ}30' + 2.3 \times (-1.0) = 75^{\circ}28'$. However, the annual change itself does not remain constant but changes with time in a manner that cannot be predicted easily. Therefore, care must be exercised when applying annual change corrections over more than 3 or 4 years from the epoch of the chart.
Further information concerning the magnetic field in Canada can be obtained by contacting the Geophysics Division, Geological Survey of Canada, 1 Observatory Crescent, Ottawa, Ontario, Canada, K1A 0Y3

NOTE AUX USAGERS
Les courbes en rouge sur la carte indiquent l'angle, en degrés, entre le plan horizontal et la direction du vecteur champ magnétique, au Canada et dans les régions contiguës. Les courbes en bleu indiquent le taux prévu de la variation, en minutes par année (variation annuelle).
La carte montre la partie du champ magnétique terrestre qui prend naissance dans le noyau de la Terre, ainsi que les contributions à grande échelle de la croûte. La valeur observée, à un endroit particulier, peut être différente de celle qui est donnée sur la carte pour deux raisons principales. Premièrement, toutes les observations sont influencées par des fluctuations quotidiennes régulières et irrégulières du champ magnétique terrestre. Au cours des perturbations magnétiques importantes, les fluctuations peuvent dépasser 30 minutes dans les régions aurorales. Pendant les acalmies magnétiques, les valeurs observées d'inclinaison ne devraient normalement pas varier de plus de 10 minutes de celles qui sont données pour le sud du Canada. Deuxièmement, les minéraux magnétiques présents dans la croûte terrestre produisent des anomalies magnétiques qui peuvent être trop localisées pour pouvoir être représentées sur une carte à cette échelle. Ces anomalies peuvent être particulièrement importantes dans le Bouclier canadien.
La carte montre aussi la meilleure estimation de la variation annuelle pour 1990. En appliquant une correction basée sur la variation annuelle, l'utilisateur peut calculer une valeur d'inclinaison pour une année ultérieure. Par exemple, l'inclinaison à Regina pour 1992,3, soit 2,3 ans après l'époque indiquée par la carte peut être estimée de la façon suivante: $75^{\circ}30' + 2,3 \times (-1,0) = 75^{\circ}28'$. Cependant, la variation annuelle elle-même ne demeure pas constante mais change avec le temps d'une façon quelque peu imprévisible. Par conséquent, il faut être prudent lorsque l'on applique les corrections de la variation annuelle après plus de 3 ou 4 ans à partir de l'époque représentée par la carte.
Pour obtenir de plus amples renseignements au sujet du champ magnétique au Canada, veuillez vous adresser à la Division de la géophysique, Commission géologique du Canada, 1, place de l'Observatoire, Ottawa, Ontario, Canada, K1A 0Y3.

G
3401
.09
510000
Gd
ommc