

This document was produced  
by scanning the original publication.

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



COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA  
RAPPORT DIVERS 52

# EFFET DE LA VARIATION DE LA DÉCLINAISON MAGNÉTIQUE SUR LA BOUSSOLE

L.R. Newitt

1991



Énergie, Mines et  
Ressources Canada

Energy, Mines and  
Resources Canada

Canada

**L'ÉNERGIE DE NOS RESSOURCES**

**NOTRE FORCE CRÉATRICE**

COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA  
RAPPORT DIVERS 52

**EFFET DE LA VARIATION DE LA  
DÉCLINAISON MAGNÉTIQUE  
SUR LA BOUSSOLE**

L.R. Newitt

**1991**

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1991

En vente au Canada par l'entremise de nos

agents libraires agréés et autres librairies

ou par la poste au

Groupe Communication Canada - Édition  
Ottawa, Canada K1A 0S9

et aussi aux:

Bureaux de la Commission géologique du Canada,

601, rue Booth,  
Ottawa, K1A 0E8

3303-33rd Street, N.W.,  
Calgary (Alberta) T2L 2A7

Un exemplaire en consignment de la présente publication est également  
disponible dans les bibliothèques publiques à travers le Canada.

N° de catalogue M41-8/52  
ISBN 0-660-56537

Prix sujet à changement sans avis préalable

### **Critique**

*R.L. Coles*  
*G.V. Haines*

### **Adresse de l'auteur**

*L.R. Newitt*  
*Division de la Géophysique*  
*Commission géologique du Canada*  
*Ottawa (Ontario)*  
*K1A 0E8*

*Manuscrit original reçu : 90-04*  
*Version finale approuvée pour publication : 91-01*

## TABLE DES MATIÈRES

1	Introduction
1	Déclinaison magnétique et variation séculaire
3	Déclinaison magnétique et activité solaire
6	Fréquence des variations de déclinaison importantes
7	Conclusion

### Figures

1	1a. Boussole d'orientation type composée d'une base, d'un logement muni d'un cadran tournant marqué de 0° à 360° et d'une aiguille aimantée.
1	1b. Champ magnétique qui serait produit autour d'un simple barreau aimanté placé au centre de la Terre.
2	2. Carte montrant des lignes d'égale déclinaison magnétique au Canada pour l'année 1990.
2	3. Variation séculaire de la déclinaison magnétique en certains endroits au Canada.
3	4. Variation type pour un jour calme de la déclinaison magnétique enregistrée à Ottawa le 13 octobre 1989. Les variations vers l'est sont vers la partie supérieure du diagramme; les variations vers l'ouest sont vers la partie inférieure du diagramme. L'échelle verticale représente la grandeur des variations de la déclinaison magnétique, en degrés d'arc. Ainsi, entre la crête et le creux de la courbe, une variation de 0,17° (10' d'arc) s'est produite. L'échelle horizontale représente l'heure, en temps universel.
3	5. Emplacement des observatoires magnétiques au Canada. Les cinq observatoires utilisés dans la présente étude sont situés à Victoria (VIC), Meanook (MEA), Yellowknife (YKC), Cambridge Bay (CBB) et Resolute Bay (RES). La carte montre aussi où se situent la zone aurorale et le pôle nord magnétique.
4	6. Variation de la déclinaison magnétique pendant un orage magnétique type, enregistrée à Ottawa le 20 octobre 1989.
4	7. Variation de la déclinaison magnétique pendant un sous-orage magnétique type, enregistrée à Fort Churchill le 4 novembre 1989. Remarquer le changement d'échelle par rapport à la figure 4.
4	8. Zone de manque de fiabilité de la boussole. La zone de grande densité de points représente la région dans laquelle une boussole est irrégulière. La zone de faible densité de points représente la région dans laquelle une boussole est inutile.
5	9. Le diagramme donne, pour chacun des cinq observatoires, le pourcentage de jours pour lesquels l'écart de la déclinaison magnétique par rapport à sa valeur normale dépasse la valeur indiquée sur l'axe horizontal.
6	10. Probabilité qu'un utilisateur observe, n'importe où au Canada, une fluctuation de la déclinaison magnétique supérieure à a) 0,5°, b) 1,0°, c) 2,0°, d) 5,0°.

### Tableau

5	1. Amplitude quotidienne moyenne de la déclinaison magnétique au cours d'une année de calme (1976) et une année de perturbation (1981).
---	---



# EFFET DE LA VARIATION DE LA DÉCLINAISON MAGNÉTIQUE SUR LA BOUSSELE

## INTRODUCTION

La boussole est utilisée pour la navigation depuis des siècles. À une certaine époque, elle constituait le seul instrument fiable de navigation les jours où le soleil et les étoiles n'étaient pas visibles. De nos jours, il existe des instruments élaborés qui permettent aux utilisateurs de s'orienter avec précision et d'établir exactement leur position à quelques mètres près. Toutefois, malgré l'existence de ces instruments, la boussole est encore utile. Elle constitue encore le seul instrument pratique de navigation pour les petites embarcations et d'orientation pour les randonnées pédestres. Même les avions et les navires munis d'instruments plus élaborés disposent d'une boussole comme instrument de secours.

Les boussoles se présentent sous une variété de formes et de grosseurs, selon l'utilisation prévue. La boussole utilisée à bord d'un navire ou d'un avion est un instrument complexe capable d'introduire une correction pour tenir compte du

mouvement du véhicule et de sa structure métallique. À l'opposé, on retrouve les petites boussoles de poche de faible précision destinées à un usage occasionnel. Un des types les plus populaires est la boussole d'orientation (fig. 1a), qui est largement utilisée par les amateurs de randonnée pédestre, de canotage et autres activités de plein air.

Quelle que soit l'application à laquelle elles sont destinées ou la complexité de leur construction, la plupart des boussoles fonctionnent suivant le même principe de base. Une petite aiguille allongée, aimantée en permanence, est placée sur un pivot de façon à pouvoir tourner librement dans le plan horizontal. La Terre possède un **champ magnétique** ayant à peu près la même forme que le champ créé autour d'un simple barreau aimanté (fig. 1b). Le champ magnétique de la Terre exerce une force sur l'aiguille de la boussole et la fait tourner jusqu'à ce qu'elle s'immobilise dans la même direction que le champ. Sur la plus grande partie de la surface de la Terre, cette direction correspond approximativement au nord, d'où l'importance initiale de la boussole en navigation.

Ce phénomène simple se complique en raison du fait que le champ magnétique varie constamment en intensité et en direction, ce qui entraîne une variation correspondante de l'orientation de l'aiguille de la boussole. Il existe par conséquent une incertitude fondamentale dans la navigation à la boussole qui peut être importante ou non, selon son application par l'utilisateur. Cet opuscule décrit certains aspects du champ magnétique qui peuvent avoir un effet sur la navigation à la boussole ainsi que la façon d'apporter une correction pour tenir compte de ces effets et obtenir quand même une direction exacte.

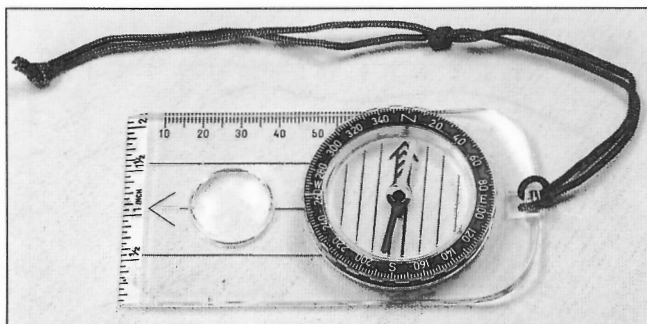


Figure 1a. Boussole d'orientation type composée d'une base, d'un logement muni d'un cadran tournant marqué de 0° à 360° et d'une aiguille aimantée.

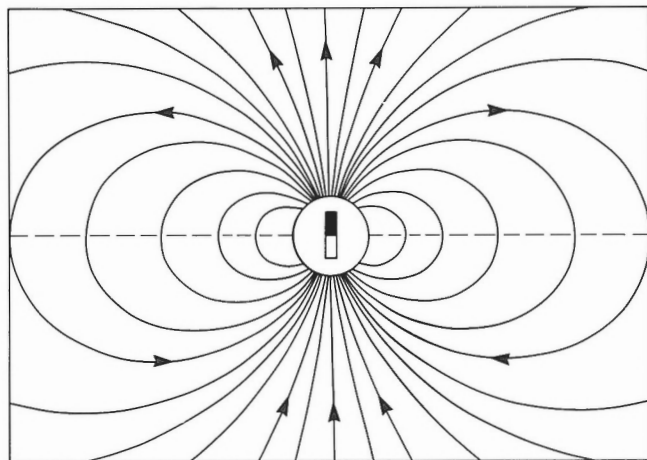
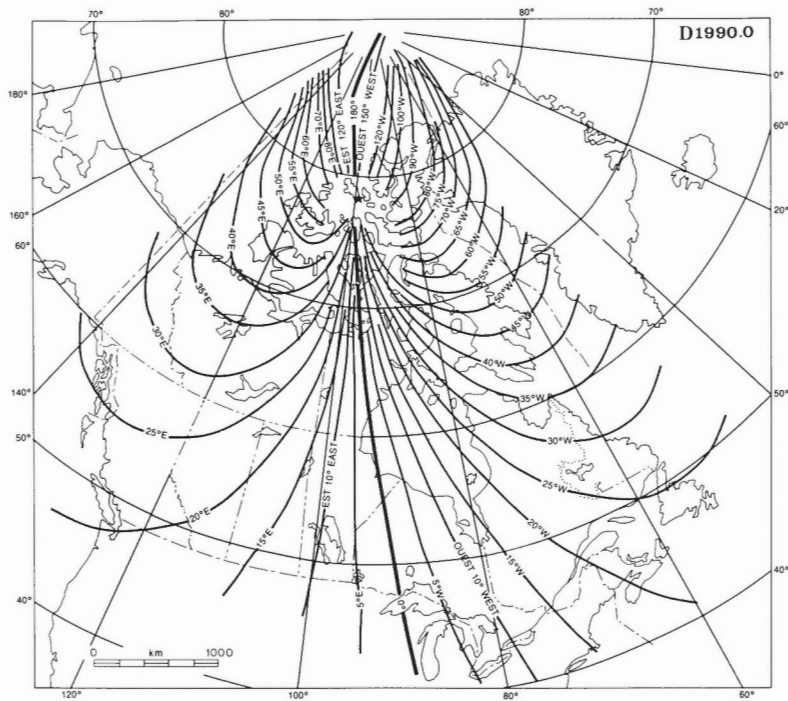


Figure 1b. Champ magnétique qui serait produit autour d'un simple barreau aimanté placé au centre de la Terre.

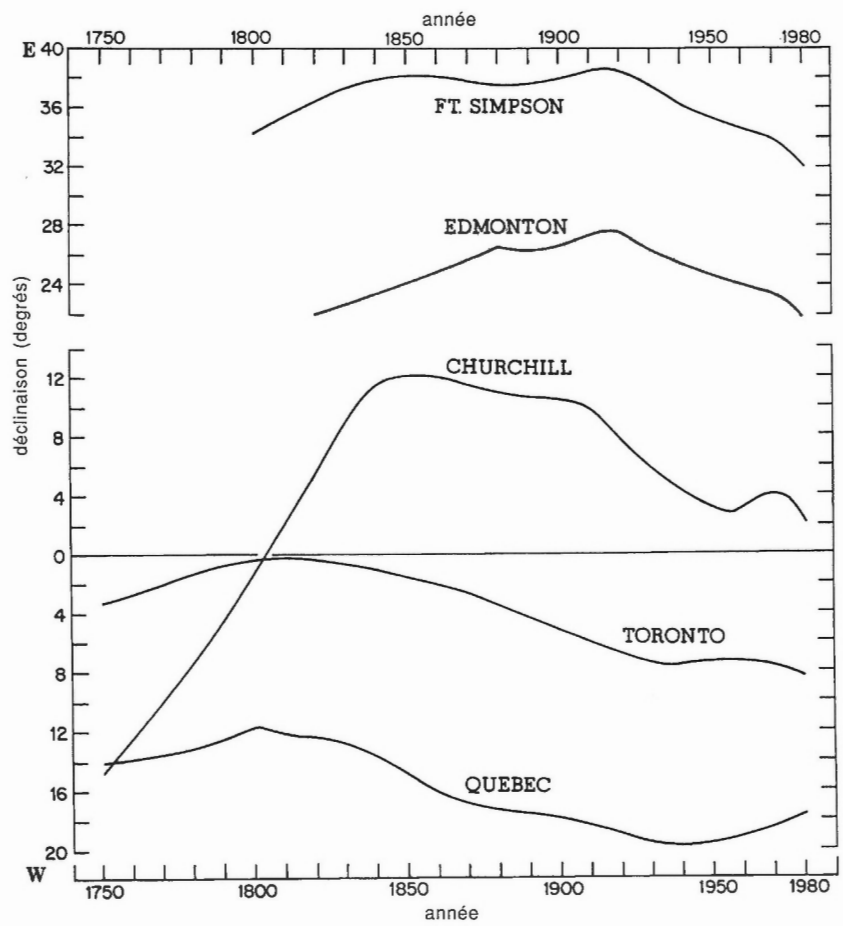
## DÉCLINAISON MAGNÉTIQUE ET VARIATION SÉCULAIRE

Bon nombre de personnes ne réalisent pas que l'aiguille d'une boussole ne pointe pas normalement en direction du nord vrai, mais dans une direction faisant un certain angle vers l'est ou vers l'ouest avec la direction du nord vrai. La direction dans laquelle pointe l'aiguille de la boussole est appelée le **nord magnétique**, et l'angle compris entre la direction du nord magnétique et la direction du nord vrai est appelé la **déclinaison magnétique**. La figure 2 est une carte simplifiée montrant des lignes d'égale déclinaison magnétique au Canada.

La déclinaison magnétique ne reste pas constante. En raison d'un mouvement complexe de fluide dans le noyau externe de la Terre (la région métallique en fusion qui se trouve sous la surface de la Terre à une profondeur de 2800 à 5000 km), le champ magnétique subit une lente variation continue appelée **variation séculaire**, ce qui entraîne une variation continue de la déclinaison magnétique. La figure 3 montre des exemples de la façon dont la déclinaison magnétique a varié en fonction du temps en différents endroits au Canada. En raison de la variation séculaire, les



**Figure 2.** Carte montrant des lignes d'égale déclinaison magnétique au Canada pour l'année 1990.



**Figure 3.** Variation séculaire de la déclinaison magnétique en certains endroits au Canada.

valeurs de la déclinaison données sur les anciennes cartes topographiques, marines et aéronautiques doivent être mises à jour si on veut éviter d'importantes erreurs. Malheureusement, les variations annuelles indiquées sur la plupart de ces cartes ne peuvent être appliquées de façon fiable lorsque les cartes datent déjà de quelques années, étant donné que la variation séculaire varie aussi en fonction du temps de manière imprévisible. Si des valeurs exactes de la déclinaison sont requises et si on ne dispose pas d'éditions récentes des cartes, on peut obtenir des valeurs à jour de la déclinaison en s'adressant à la Commission géologique du Canada, Division de la géophysique, 1, place de l'Observatoire, Ottawa (Canada), K1A 0Y3.

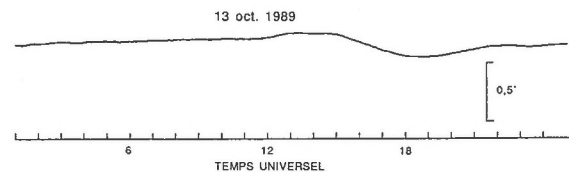
## DÉCLINAISON MAGNÉTIQUE ET ACTIVITÉ SOLAIRE

Le champ magnétique subit aussi des variations qui sont beaucoup plus rapides que la variation séculaire et qui sont dues à l'activité solaire. Les processus d'interaction du faisceau continu de particules provenant du soleil avec le champ magnétique de la Terre et la haute atmosphère sont très complexes, mais ils se traduisent par des fluctuations continues du champ magnétique et, par conséquent, par des variations de la déclinaison magnétique.

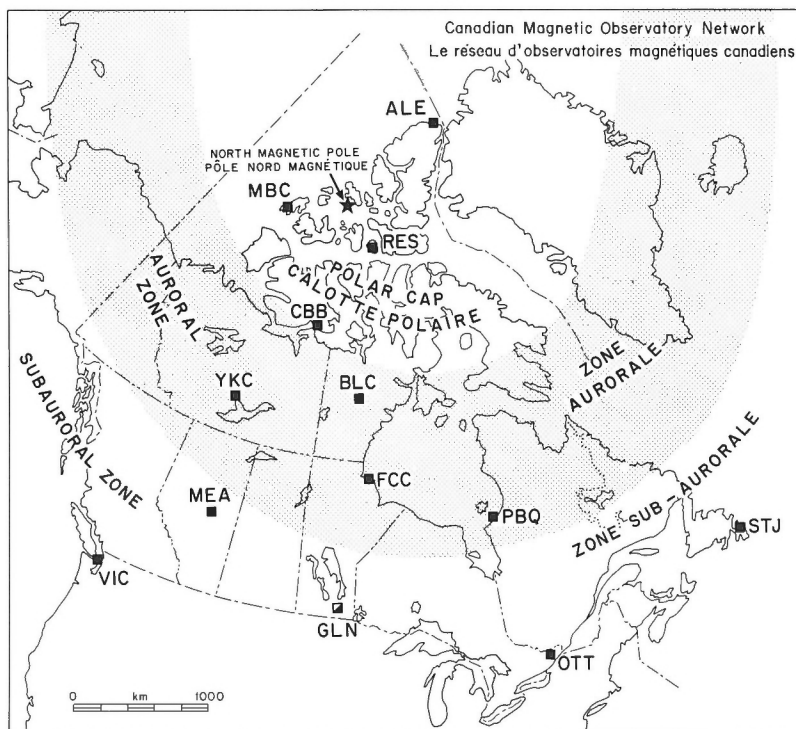
Les scientifiques utilisent de nombreuses classifications des fluctuations rapides du champ magnétique qui tiennent compte de facteurs comme la grandeur et la vitesse des fluctuations ainsi que les phénomènes physiques qui sont à leur origine. Cependant, l'utilisateur de boussole ordinaire n'a besoin de connaître que quelques-unes de ces classifications.

Même les jours où l'activité solaire est très faible, le champ magnétique subit une variation cyclique uniforme appelée **variation diurne**. La figure 4 montre la variation diurne type de la déclinaison magnétique pour l'Observatoire magnétique d'Ottawa. Ottawa fait partie de la zone sub-auro-rale, une des trois zones qui sont caractérisées par des types nettement différents d'activité magnétique (fig. 5). Remarquer, à la figure 4, que la déclinaison magnétique est davantage vers l'est le matin et davantage vers l'ouest l'après-midi. Généralement, dans le sud du Canada, la variation maximale de la déclinaison magnétique sur une journée est de plusieurs minutes d'arc.

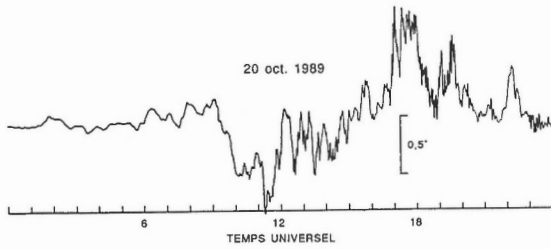
Un certain nombre de fois par année, le champ magnétique terrestre subit d'importantes perturbations appelées **orages magnétiques**. Le déclenchement d'un orage magnétique se produit presque instantanément n'importe où sur la Terre, et l'orage peut durer plus de 48 heures.



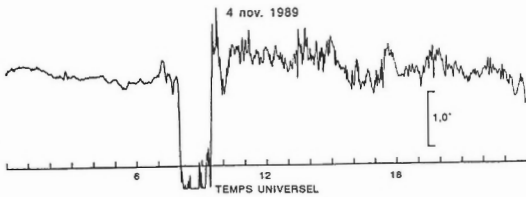
**Figure 4.** Variation type pour un jour calme de la déclinaison magnétique enregistrée à Ottawa le 13 octobre 1989. Les variations vers l'est sont vers la partie supérieure du diagramme; les variations vers l'ouest sont vers la partie inférieure du diagramme. L'échelle verticale représente la grandeur des variations de la déclinaison magnétique, en degrés d'arc. Ainsi, entre la crête et le creux de la courbe, une variation de 0,17° (10' d'arc) s'est produite. L'échelle horizontale représente l'heure, en temps universel.



**Figure 5.** Emplacement des observatoires magnétiques au Canada. Les cinq observatoires utilisés dans la présente étude sont situés à Victoria (VIC), Meanook (MEA), Yellowknife (YKC), Cambridge Bay (CBB) et Resolute Bay (RES). La carte montre aussi où se situent la zone aurorale et le pôle nord magnétique.



**Figure 6.** Variation de la déclinaison magnétique pendant un orage magnétique type, enregistrée à Ottawa le 20 octobre 1989.

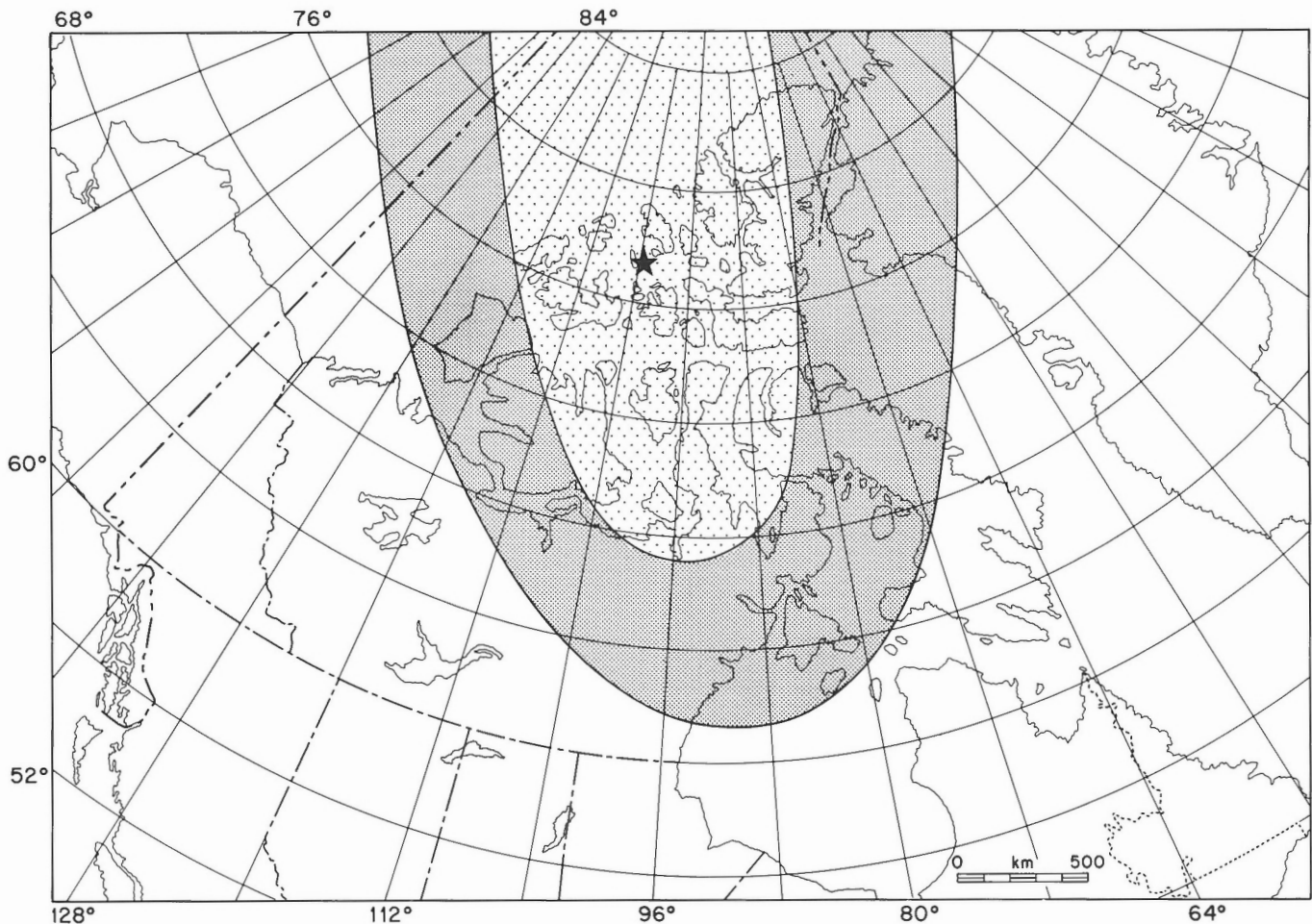


**Figure 7.** Variation de la déclinaison magnétique pendant un sous-orage magnétique type, enregistrée à Fort Churchill le 4 novembre 1989. Remarquer le changement d'échelle par rapport à la figure 4.

Les variations du champ magnétique produites pendant un orage sont différentes d'un endroit à l'autre et d'un orage à l'autre. Les variations de la déclinaison magnétique peuvent parfois être assez importantes pour être détectées à l'aide d'une boussole ordinaire, particulièrement aux latitudes élevées. Un observateur peut en fait voir une aiguille de boussole osciller lorsque la déclinaison varie. La figure 6 montre des variations de la déclinaison produites pendant un orage magnétique important.

En plus des orages magnétiques à l'échelle mondiale, des perturbations intenses de durée beaucoup plus courte se produisent très souvent dans la zone aurorale (voir fig. 5 pour l'endroit). Bien qu'elles ne durent normalement pas plus de quelques heures et qu'elles se produisent surtout la nuit, ces perturbations peuvent être très intenses (fig. 7).

Quelle que soit leur cause, les fluctuations rapides de la déclinaison magnétique deviennent plus importantes lorsqu'on se déplace vers le **pôle nord magnétique**, parce que la **force horizontale** du champ magnétique diminue lorsqu'on se déplace vers le pôle. C'est cette force horizontale qui pousse l'aiguille de la boussole à s'aligner avec la direction du champ magnétique. Lorsque cette force est faible, les



**Figure 8.** Zone de manque de fiabilité de la boussole. La zone de grande densité de points représente la région dans laquelle une boussole est irrégulière. La zone de faible densité de points représente la région dans laquelle une boussole est inutile.

variations du champ magnétique ont un effet relativement plus grand sur la déclinaison que l'effet produit plus au sud, où la force horizontale est grande.

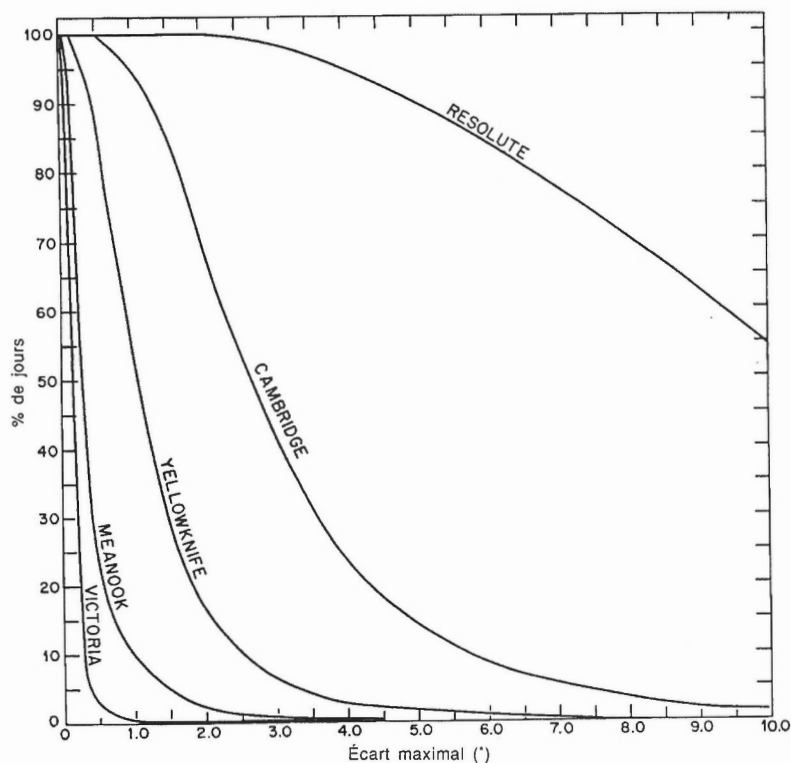
Lorsque la force horizontale est trop faible, une boussole ordinaire devient inutile étant donné que les forces de frottement dans la boussole sont alors supérieures à la force horizontale du champ magnétique. En règle générale, les boussoles à pivot ordinaire cessent d'être fiables lorsque la force horizontale du champ magnétique est inférieure à 6000 nT et elles deviennent inutiles lorsque la force horizontale est inférieure à 3000 nT. Les régions correspondant à ces conditions sont représentées sur la figure 8. Dans certains avions, on utilise des magnétomètres à induction à la place des boussoles mécaniques car ils sont insensibles aux effets du frottement.

## FRÉQUENCE DES VARIATIONS DE DÉCLINAISON IMPORTANTES

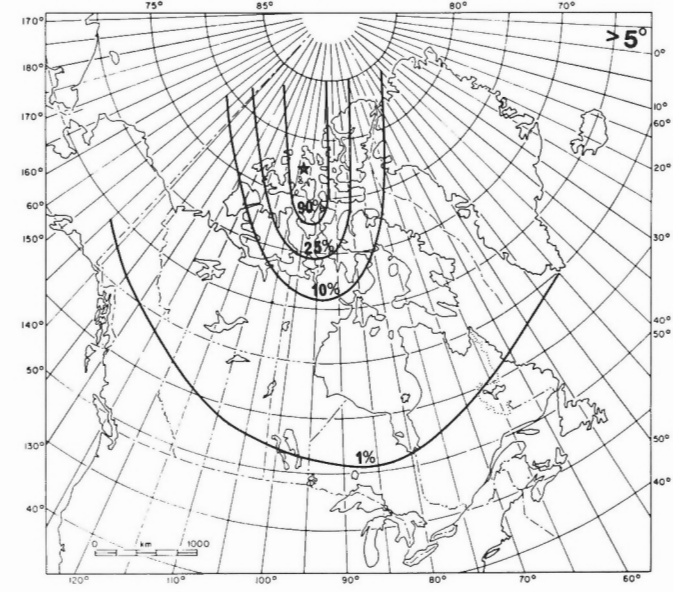
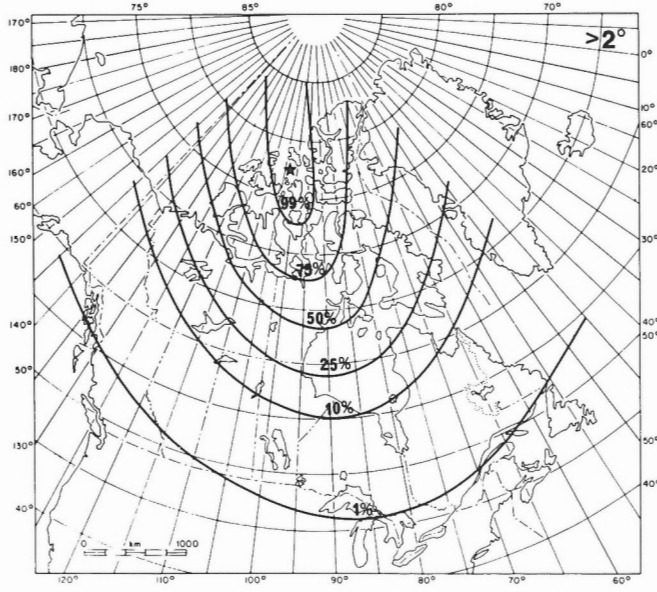
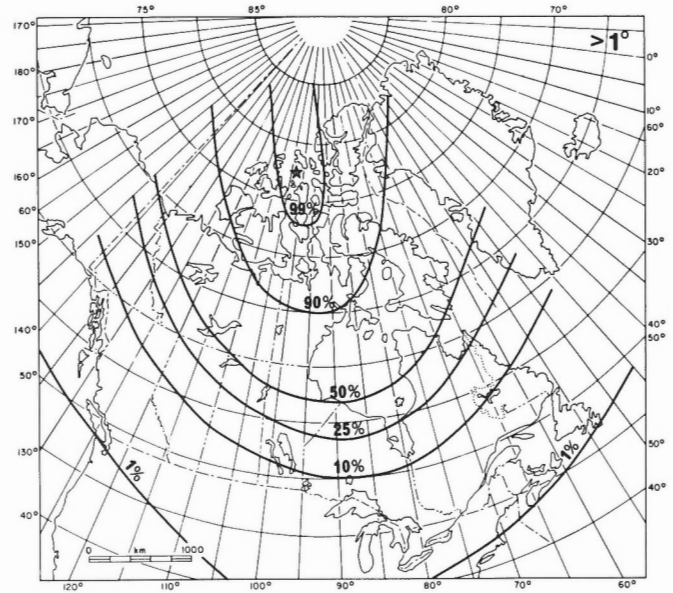
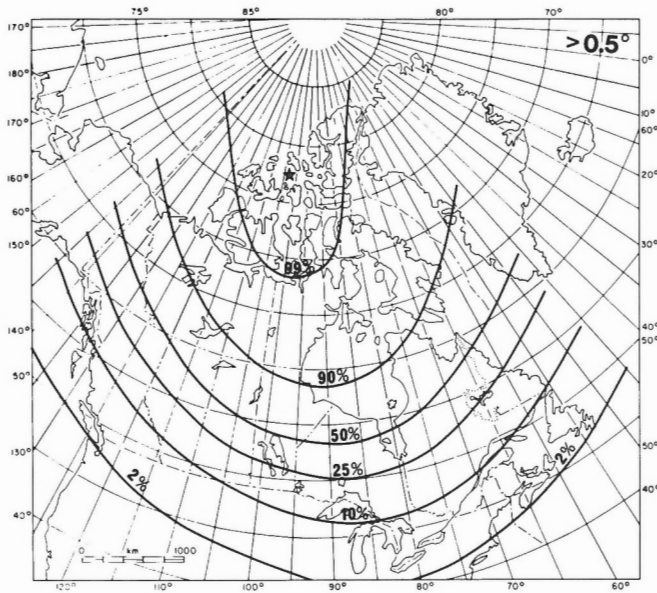
Combien de fois la déclinaison magnétique s'écarte-t-elle de sa valeur normale à un point tel que l'écart peut avoir des répercussions sur la navigation? La réponse à cette question dépend de l'endroit où on se trouve à l'intérieur du pays. Elle dépend aussi de la grandeur de l'erreur qui peut être tolérée dans une application donnée. Une boussole ordinaire, par exemple une boussole d'orientation ou une boussole du type qu'on utilise à bord d'un petit navire, a une marge d'erreur d'environ 2 degrés, par contre, certaines boussoles militaires et les boussoles d'arpenteurs, sont beaucoup plus précises, leur marge d'erreur étant de l'ordre de 5 minutes d'arc. Dès lors, les utilisateurs de ces boussoles de grande précision

**Tableau 1.** Amplitude quotidienne moyenne de la déclinaison magnétique au cours d'une année de calme (1976) et une année de perturbation (1981).

Station	1976			1981		
	Amplitude	pos.	neg.	Amplitude	pos.	neg.
Victoria	0°15'	0°08'	0°07'	0°20'	0°11'	0°08'
Meanook	0°39'	0°22'	0°17'	0°55'	0°28'	0°22'
Yellowknife	2°11'	1°09'	1°02'	2°01'	1°01'	1°00'
Cambridge	4°39'	2°31'	2°08'	5°26'	3°17'	2°09'
Resolute	18°39'	8°14'	10°25'	22°28'	10°32'	11°56'



**Figure 9.** Le diagramme donne, pour chacun des cinq observatoires, le pourcentage de jours pour lesquels l'écart de la déclinaison magnétique par rapport à sa valeur normale dépasse la valeur indiquée sur l'axe horizontal.



**Figure 10.** Probabilité qu'un utilisateur observe, n'importe où au Canada, une fluctuation de la déclinaison magnétique supérieure à a) 0,5°, b) 1,0°, c) 2,0°, d) 5,0°.

doivent porter une attention particulière à des variations de la déclinaison magnétique beaucoup plus faibles que les utilisateurs de boussoles ordinaires.

Afin de montrer les grandeurs des fluctuations de la déclinaison magnétique dans une variété d'endroits et de conditions, on a examiné les données de cinq des observatoires magnétiques représentés à la figure 5 (VIC, MEA, YKC, CBB, RES). On a examiné les données pour deux années complètes, 1976 et 1981, et on a calculé la différence entre les valeurs maximale et minimale de la déclinaison magnétique de chaque jour (amplitude quotidienne) ainsi que

les écarts des valeurs maximale et minimale de la déclinaison par rapport à la valeur normale de chaque jour (appelés écarts positif et négatif). Les résultats obtenus sont résumés au tableau 1.

Le tableau montre que l'amplitude quotidienne est généralement plus grande en 1981 qu'en 1976, ce qui est dû au cycle d'environ 11 ans que subissent l'activité solaire et l'activité magnétique. Au moment de la rédaction de cet opuscule, le cycle actuel de l'activité a presque atteint sa crête.

On observe aussi un accroissement important de l'amplitude de la déclinaison magnétique lorsqu'on se déplace vers le nord en raison de la diminution de l'intensité horizontale du champ magnétique. Cependant, le tableau 1 montre (lorsqu'on observe les écarts positifs et négatifs) qu'en moyenne l'écart de la déclinaison magnétique par rapport à sa valeur normale ne doit pas être assez grand pour occasionner des problèmes à l'utilisateur de boussole ordinaire n'importe où dans le sud du Canada. Les utilisateurs de boussoles de précision doivent porter une attention particulière à des fluctuations beaucoup plus faibles que 2 degrés. Les écarts moyens supérieurs à 20 minutes observés à Meanook, près d'Edmonton, peuvent donc constituer un problème. Dans les régions arctiques, les écarts moyens sont assez grands pour mériter une attention particulière de la plupart des utilisateurs. Dans ces régions, les utilisateurs de boussoles mécaniques ont un problème additionnel, celui du manque de fiabilité des boussoles résultant des forces de frottement.

Même si l'écart moyen de la déclinaison magnétique est généralement faible dans le sud du Canada, il arrive pendant des orages magnétiques que les fluctuations de la déclinaison soient importantes. À partir des données de 1976 et 1981, on a construit un diagramme (fig. 9) montrant le pourcentage de jours pour lesquels la différence maximale entre la déclinaison réelle et la valeur normale dépassait une valeur donnée, à chacun des cinq observatoires. À Victoria, il y a eu une seule journée pendant cette période de deux ans (0,137 % des jours) pour laquelle l'écart de déclinaison a été supérieur à 2 degrés. Cependant, à la latitude de Yellowknife, dans la zone aurorale, on a observé des écarts supérieurs à 2 degrés pour 17 % des jours. Des écarts plus faibles, qui peuvent néanmoins avoir des répercussions pour les utilisateurs de boussoles de précision, ont naturellement été observés beaucoup plus sou-

vent. La figure 9 montre que même aux stations à basse latitude, comme Victoria, des écarts supérieurs à 0,3 degré (18 minutes) sont observés pour environ 15 % des jours. À la latitude de Yellowknife, de tels écarts sont observés presque à tous les jours.

Les données du tableau 1 et de la figure 9 sont résumées de manière plus commode pour l'utilisateur à la figure 10. Cette figure montre la probabilité que l'écart de la déclinaison magnétique par rapport à la valeur normale dépasse une certaine valeur. Par exemple, la figure 10a montre qu'à Winnipeg des écarts de déclinaison supérieurs à 0,5 degré (30 minutes) sont observés pour presque 25 % des jours. Cependant, la figure 10c montre que des écarts supérieurs à 2 degrés sont observés pour seulement 2 à 3 % des jours à Winnipeg.

## CONCLUSION

Dans la plus grande partie du sud du Canada, les variations de la déclinaison magnétique assez grandes (2 degrés) sont relativement rares pour que l'utilisateur de boussole ordinaire doive y porter une attention particulière; elles ne se produisent qu'un fois par deux ans en moyenne. Cependant, dans la zone aurorale et au nord de celle-ci, la fréquence d'écarts élevés augmente rapidement, ce qui peut constituer une source importante d'erreur dans la navigation à la boussole.

Les utilisateurs de boussoles de grande précision doivent porter continuellement une attention particulière aux variations de la déclinaison magnétique, étant donné que des variations supérieures à 0,5 degré se produisent fréquemment, même dans une grande partie du sud du Canada.