

INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE
Service des Observatoires Magnétiques
5, rue René Descartes
67084 STRASBOURG CEDEX
FRANCE

OBSERVATIONS MAGNETIQUES
FAITES A L'OBSERVATOIRE DE PORT-ALFRED (Crozet)
1980
par
J. BITTERLY, J. FOLQUES, R. SCHLICH, P. DECAUX
et J. BONNET

OBSERVATIONS MAGNETIQUES — PORT-ALFRED (Crozet)

L'Institut de Physique du Globe de Paris a assuré jusqu'en 1979 la publication et la diffusion des observations magnétiques faites aux observatoires des Terres Australes et Antarctiques Françaises. Les données des années 1957 et 1958 ont été publiées dans les Publications Françaises de l'Année Géophysique Internationale (série III, fascicule 4, 1962), celles des années 1959 à 1963 dans les Annales de l'Institut de Physique du Globe de Paris (tomes XXXII, 1964 et XXXIV, 1966) et celles des années 1964 à 1978 dans les fascicules „Observations Magnétiques“ édités entre 1969 et 1979.

A compter du 1^{er} janvier 1980 ces données sont publiées et diffusées par l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg. La présentation sous forme de fascicules a été conservée, chaque fascicule étant consacré à une année d'observations et à un observatoire.

Le fonctionnement de l'observatoire magnétique de Port-Alfred est pris en charge par le Territoire des Terres Australes et Antarctiques Françaises.

L'observatoire magnétique de Port-Alfred dans l'archipel des Crozet a pour coordonnées géographiques: $46^{\circ} 26' S$ et $51^{\circ} 52' E$; les coordonnées géomagnétiques correspondantes sont: $51,2^{\circ} S$ et $109,4^{\circ} E$. Il a été ouvert officiellement en janvier 1974, suite à une recommandation formulée par l'Association Internationale de Géomagnétisme et d'Aéronomie de l'Union Géodésique et Géophysique Internationale (Schlich et al., 1976).

En 1980, P. DECAUX et J. BONNET ont séjourné à Port-Alfred où ils étaient chargés du programme des observations magnétiques.

L'observatoire de Port-Alfred comporte, pour ce qui intéresse les observations magnétiques classiques, un magnétomètre tri-directionnel du type „Fluxgate“ et un magnétomètre à protons pour l'enregistrement des variations lentes des composantes H, D et Z et de l'intensité F du champ magnétique terrestre. Les variations (H, D, Z et F) sont enregistrées numériquement sur bande magnétique et sont visualisées par enregistrement graphique. Les mesures absolues ont été effectuées d'une part à l'aide des appareils utilisés au cours des années précédentes (Q. H. M. n° 367 et 732, Théodolite Chasselon n° 170, magnétomètre à protons GEOMETRICS G 816 identique au magnétomètre associé au vario-mètre Fluxgate) et d'autre part à l'aide d'un nouveau magnétomètre théodolite portable, construit et mis au point par le Service des Observatoires Magnétiques de l'Institut de Physique du Globe (CANTIN et al., 1979). Cet appareil est constitué d'un théodolite ZEISS 010 A (version amagnétique) spécialement adapté pour recevoir une sonde du type „Fluxgate“. Les mesures de Déclinaison et d'Inclinaison sont réalisées avec une précision meilleure que cinq secondes d'angle. Des mesures directes de l'intensité des composantes horizontale H et verticale Z sont également possibles grâce à un circuit de courant de compensation stable et ultralinéaire: dans ce cas la calibration peut être aisément contrôlée à chaque série de mesures par association avec un magnétomètre à protons. Ce magnétomètre théodolite a été utilisé de façon régulière après juin 1980 et il remplacera, dès 1981, les étalons de référence de l'observatoire.

théodolite a été utilisé de façon régulière après mai 1981 et il remplacera dès 1982 les Q. H. M. de fabrication spéciale utilisés jusqu'alors comme étalons de référence.

Les caractéristiques essentielles du variomètre Fluxgate, du magnétomètre à protons et des dispositifs d'enregistrement associés, sont données ci-dessous:

1. VARIOMETRE TRI-DIRECTIONNEL FLUXGATE.

- sensibilité: 5 m V/ γ , (précision 0,1 %)
- bruit: 0,1 γ , crête à crête, dans la bande 0 à 0,5 Hz
- stabilité thermique des capteurs: 0,1 γ /°C
- stabilité thermique de l'électronique associée: 0,15 γ /°C pour un champ compensé de 50 000 gammas.
- stabilité à long terme: environ 1 γ / mois
- température de fonctionnement: 11,4°C \pm 0,8°C

2. MAGNETOMETRE A PROTONS A PRECESSION LIBRE.

- temps de comptage pour la mesure: 0,368 s permettant une lecture directe en gammas.
- précision \pm 1 gamma

3. DISPOSITIF D'ENREGISTREMENT NUMERIQUE ASSOCIE.

- dynamique: \pm 1 000 gammas (\pm 10 000 points)
- résolution: \pm 0,1 gamma
- écart de linéarité du convertisseur analogique-numérique: inférieur à 0,5 γ pour 1 000 γ .
- durée d'intégration du signal: 40 millisecondes par composante (X,Y,Z)
- cadence d'échantillonnage: une information toutes les minutes.

Les informations „champ magnétique“ sont enregistrées séquentiellement dans l'ordre X, Y, Z et F. Toutes les vingt minutes, ces informations sont complétées par l'indicatif de l'observatoire, la date et l'heure. La précision du temps est de l'ordre de 0,5 seconde.

4. ENREGISTREMENTS GRAPHIQUES ASSOCIES.

Le dispositif est équipé de deux enregistreurs, l'un à sensibilité normale et l'autre à sensibilité réduite.

Enregistreur à sensibilité normale:

- dynamique: 1 000 γ
- valeurs d'échelle: 4 γ /mm, (précision 1 %) pour X, Y, Z et F
- vitesse d'enregistrement: 40 mm / heure

Pour l'année 1980, toutes les observations ont été ramenées au pilier de référence, dit „pilier absolu“. Pour les composantes H, D et Z, les valeurs Ho, Do et Zo de la ligne de base correspondent au zéro électrique des variomètres, défini pour une valeur choisie du courant de compensation. Pour le champ total F, la stabilité de la ligne de base dépend essentiellement de l'oscillateur de référence, sa valeur Fo est définie par la différence de champ entre le „pilier absolu“ et l'emplacement de la sonde du magnétomètre à protons.

Les mesures absolues effectuées avec le nouveau magnétomètre théodolite ont été intégrées aux mesures faites avec les étalons de référence de la station. Pour ce faire on a réalisé journalièrement, entre juillet et août 1980, des séries de mesures absolues comportant, à chaque fois: deux mesures de D (Théodolite Chasselon), deux mesures de H (Q. H. M.), deux mesures de D et deux mesures de I (magnétomètre théodolite). Ces comparaisons ont été reprises entre octobre et décembre 1980 à raison d'une série complète tous les quatre jours; de même des mesures directes des composantes H et Z (magnétomètre théodolite) ont été réalisées régulièrement. Les résultats de la comparaison des valeurs de base obtenues avec les divers appareils sont donnés ci-dessous:

Do CHASSELON (hauteur QHM) = Do ZEISS (hauteur ZEISS) + 45“

Ho QHM (hauteur QHM) = Ho ZEISS (hauteur ZEISS) + 6,5 nT (précision \pm 1,5 nT).

Les écarts moyens, ainsi calculés, doivent être attribués à deux causes:

. erreur instrumentale résiduelle ou étalonnage des appareils

. mesures faites à des hauteurs différentes sur un pilier à l'aplomb duquel il existe un gradient de champ assez important (le niveau de mesure „ZEISS“ se trouve 6 cm plus haut que le niveau de mesure „Q. H. M.“).

Des déterminations complémentaires ont permis de vérifier que le champ horizontal H augmentait d'environ 2 nT entre le niveau de mesure du Q. H. M. et le niveau de mesure du nouveau magnétomètre théodolite; pour le champ total F on constate une diminution de 1,6 nT entre ces mêmes positions.

L'écart instrumental entre les Q. H. M. de l'observatoire et le nouveau magnétomètre théodolite peut ainsi être estimé à 4,5 nT (\pm 1,5 nT). L'origine de cet écart doit vraisemblablement être attribué à la diminution de la „constante“ C du Q. H. M. étalon, le dernier étalonnage datant de 1973. L'ordre de grandeur de cette diminution est d'ailleurs tout à fait comparable avec celui signalé par LAURIDSEN dans le certificat d'étalonnage du Q. H. M. 367 (diminution de 2 unités logarithmiques par an soit environ 1 nT). Ces comparaisons devront être poursuivies et précisées. Pour 1980, pour des raisons de conti-

nuit, il a été décidé de conserver comme référence absolue les étalons adoptés les années précédentes; pour la composante horizontale H la valeur retenue pour H_0 correspond à la moyenne des déterminations faites avec les Q. H. M. 367 et 732. Pour la déclinaison D, c'est le théodolite Chasselon 170 qui a été utilisé comme référence. Pour la composante verticale Z, les déterminations de lignes de base ont été faites en utilisant d'une part les mesures de I (magnétomètre théodolite) et de F (magnétomètre à protons) et d'autre part les valeurs mesurées de H (Q. H. M.) associées aux valeurs calculées correspondantes de F.

Il n'existe pas de discontinuité notable entre le réseau de mesure 1979 (Schlich et al., 1980) et le réseau 1980; les conditions de mesures n'ont pas été modifiées pour les étalons classiques et, comme indiqué précédemment, on a ramené les déterminations faites avec le nouveau magnétomètre théodolite aux points et appareils de mesure utilisés jusqu'alors (Q. H. M., Théodolite Chasselon). Les valeurs de base pour l'enregistrement numérique sont données ci-dessous elles sont exprimées en nanotesla pour H_0 , Z_0 et F_0 et en degrés, minutes et dixièmes de minute pour Do.

$H_0 = 16\ 326,2 + 0,030\ J$	du 01. 01. au 19. 02. 1980
$H_0 = 16\ 329,5 - 0,036\ J$	du 20. 02. au 05. 05. 1980
$H_0 = 16\ 325,0$	du 06. 05. au 26. 09. 1980
$H_0 = 16\ 314,2 + 0,040\ J$	du 27. 09. au 31. 12. 1980
$Do = -41^{\circ}32,0 - 0,024\ J$	du 01. 01. au 04. 01. 1980
$Do = -41^{\circ}32,1 - 0,002\ J$	du 05. 01. au 27. 04. 1980
$Do = -41^{\circ}33,8 + 0,012\ J$	du 28. 04. au 14. 07. 1980
$Do = -41^{\circ}31,4$	du 15. 07. au 19. 09. 1980
$Do = -41^{\circ}28,2 - 0,012\ J$	du 20. 09. au 31. 12. 1980
$Z_0 = -33\ 546,3 + 0,021\ J$	du 01. 01. au 31. 01. 1980
$Z_0 = -33\ 545,6$	du 01. 02. au 09. 05. 1980
$Z_0 = -33\ 549,8 + 0,032\ J$	du 10. 05. au 03. 07. 1980
$Z_0 = -33\ 541,4 - 0,013\ J$	du 04. 07. au 31. 12. 1980
$F_0 = 296,7$	du 01. 01. au 31. 12. 1980

Pour chaque composante il existe des périodes pour lesquelles on constate une évolution régulière en fonction du temps des valeurs calculées des lignes de base. On a donc calculé, pour des intervalles de temps choisis, par la méthode des moindres carrés, les équations liant linéairement les valeurs H_0 , Do et Z_0 des lignes de base au numéro J du jour dans l'année. Ce mode de calcul a pour effet de lisser en partie les fluctuations journalières et saisonnières déjà signalées les années précédentes.

L'analyse d'une série d'enregistrements différentiels de champ total effectués entre les points de mesures d'une part (pilier absolu, pilier auxiliaire, emplacement de la sonde à protons dans l'abri variomètre) et divers emplacements éloignés des abris magnétiques d'autre part, a permis de localiser les origines et de préciser les caractéristiques de ces fluctuations qui sont toujours liées à une évolution de la température extérieure.

Divers contrôles ayant montré que la stabilité du pilier variomètre ne pouvait pas être mise en cause, l'origine de l'effet magnétique perturbateur doit être recherchée dans les éléments constitutifs du mélange sable-ciment utilisé pour la construction de l'abri variomètre, comme cela a déjà été suggéré dans une publication antérieure (Schlich et al., 1980). Le sable utilisé localement est en effet constitué de débris de basaltes riches en pyroxène et en olivine. L'évolution de la température des parois de l'abri sous l'action combinée du rayonnement solaire, de la température moyenne ambiante et des infiltrations d'eau de pluie (porosité des murs et de la terrasse, fissures du bâtiment) entraîne une variation des propriétés magnétiques des matériaux utilisés dans la construction de l'abri. Dans ce cas, l'amplitude de l'effet observé (variation des lignes de base des différents éléments) doit être d'autant plus importante que le capteur incriminé est plus proche de la paroi. C'est effectivement ce qui est mis en évidence: les variations extrêmes de F_0 dépassent 10 nT tandis que les fluctuations des lignes de base Do et H_0 sont plus faibles (4 à 7 nT); le variomètre triaxial est effectivement plus éloigné que la sonde du magnétomètre à protons des parois en béton.

Des enregistrements différentiels complémentaires ont montré que les effets de sol (roches superficielles sur le site et proches du site des capteurs et du site des mesures absolues) étaient négligeables. Il a été également constaté que les piliers de mesures proprement dits n'intervenaient que pour une faible proportion dans les fluctuations des lignes de base: l'effet résiduel visible sur des enregistrements différentiels réalisés avec une sonde à protons installée sur le pilier et avec une sonde installée à l'extérieur de l'abri est de l'ordre du nanotesla.

En conclusion le remplacement de l'abri variomètre en béton construit en 1973 s'avère indispensable si l'on veut à terme éliminer les fluctuations observées sur les lignes de base. Une cabine en résine polyester devrait être installée sur un site à proximité immédiate des abris actuels.

Quoiqu'il en soit, les valeurs moyennes annuelles calculées pour les éléments D, H, Z et F sont valables; les valeurs de la variation séculaire déterminées depuis 1974, date de création de l'observatoire, jusqu'en 1980 sont significatives.

Les valeurs instantanées et les valeurs de champ moyen ont été calculées à partir des valeurs numériques H, D, Z et F enregistrées sur bandes magnétiques.

Les valeurs publiées dans les tableaux qui suivent sont les valeurs moyennes horaires, centrées sur les demi-heures T. U. Pour la présentation des tableaux de valeurs moyennes, on a utilisé les mêmes normes que celles définies dans les publications de l'Année Géophysique Internationale (Schlich, 1962). Les jours calmes et perturbés internationaux sont repérés par les lettres Q et D. Les moyennes diurnes n'ont pas été calculées pour les jours où manquaient plus de 12 données horaires; pour les jours où le nombre de données manquantes était inférieur ou égal à 12, on a substitué à ces données les moyennes mensuelles des heures correspondantes, valeurs qui figurent dans les dernières lignes des tableaux. Les moyennes diurnes ainsi obtenues sont signalées par une parenthèse. La moyenne de toutes les valeurs fournit la valeur moyenne mensuelle.

Dans les tableaux, toutes les valeurs de H, exprimées en gammas, sont données par rapport à une base de 16 000 gammas, les valeurs de D, exprimées en $1/10$ de minute, sont rapportées à une base de 42° W et celles de Z, exprimées en gammas à une base de $-33\,000$ gammas. On obtient les valeurs moyennes horaires pour les différentes composantes du champ terrestre en ajoutant ou retranchant aux valeurs de base les chiffres inscrits dans les tableaux.

On a calculé en outre pour chacune des composantes enregistrées, afin de déterminer les variations journalières du champ, les écarts horaires moyens pour tous les jours, les jours calmes et les jours perturbés internationaux. Ces résultats, exprimés suivant le cas en $1/10$ de gamma ou $1/100$ minute, sont rassemblés dans des tableaux distincts. L'été correspond aux mois de novembre, décembre, janvier, février et l'hiver aux mois de mai, juin, juillet, août.

Les moyennes annuelles à partir desquelles est déterminée la variation séculaire sont données dans le tableau ci-dessous:

Composantes	Moyenne annuelle 1980	Variation séculaire
Horizontale H	16 295 γ	+ 6 γ
Déclinaison D	$42^\circ 26,9$ W	8,6'W
Verticale Z	- 33 528 γ	+ 44 γ
Champ total F	37 278 γ	- 37 γ

REFERENCES

SCHLICH, R., 1962 — Etude des observations réalisées à la station de Port-aux-Français (Kerguelen) septembre 1957 à décembre 1958. *Publication Française de l'A. G. I., C. N. R. S., série III, fascicule 4.*

SCHLICH, R., BITTERLY, J., BLOND, B. et KRINICKI, J. C., 1976 — Observations magnétiques faites à l'observatoire de Port-Alfred (Crozet) 1974. *Fascicule Institut de Physique du Globe de Paris.*

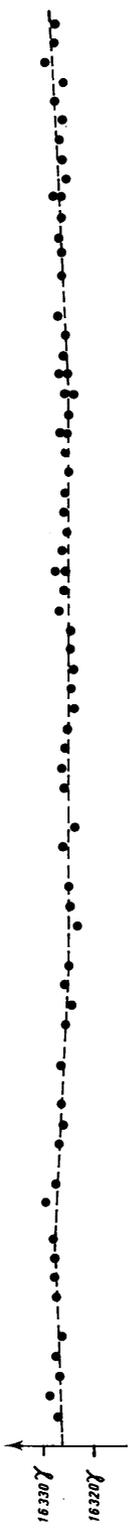
CANTIN, J. M., GILBERT, D., BITTERLY, J. et SCHLICH, R., 1979 — Magnétomètre portable pour la mesure de la déclinaison et l'inclinaison du champ magnétique terrestre. *Communication présentée à la XVII^{ème} Assemblée Générale de l'U. G. G. I., Canberra, décembre 1979.*

SCHLICH, R., BITTERLY, J., BERTHIER, M. et BOYER, B., 1980 — Observations magnétiques faites à l'observatoire de Port-Alfred (Crozet), 1979. *Fascicule Institut de Physique du Globe de Strasbourg.*

TABLEAUX

- Valeurs moyennes horaires pour H, D et Z pour 1980
- Ecartes horaires pour H, D et Z pour tous les jours, les jours calmes et les jours perturbés pour 1980.

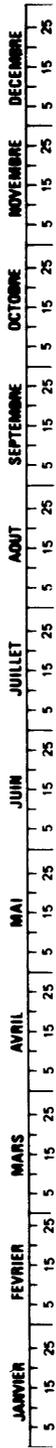
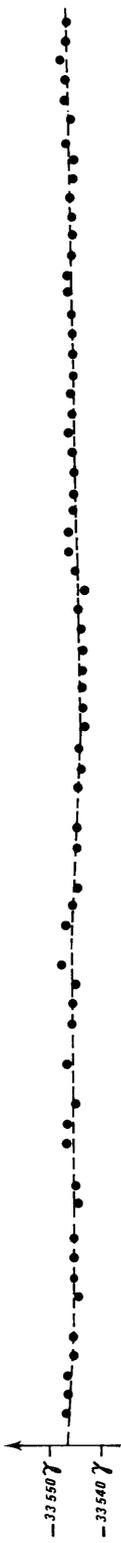
LIGNE DE BASE H₀



LIGNE DE BASE D₀



LIGNE DE BASE Z₀



LIGNES DE BASE PORT ALFRED 1980
Magnétomètre tri-directionnel "Fluxgate"