

BCMT, Paris
Bulletin n° XX
(Fascicule XX de l'ancienne série)

RÉSEAUX MAGNÉTIQUES DE RÉPÉTITION

France métropolitaine 1997

Territoire des Terres australes et antarctiques françaises 1994-1998

Publié par le Bureau Central de Magnétisme Terrestre
avec le concours de l'Institut national des sciences de l'univers

Éditeurs : Jean-Louis Le Mouél et Jacques Bitterly

BUREAU CENTRAL DE MAGNÉTISME TERRESTRE
IPGP - B89, 4, place Jussieu, 75252 PARIS CEDEX 05 - FRANCE
Télécopie : 33 (0)1 44 27 24 02 E mail : bcmt@ipgp.jussieu.fr

Participants B.C.M.T.:

INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE DE PARIS
B89, 4, place Jussieu, 75252 PARIS CEDEX 05 - FRANCE
Directeur : Claude Jaupart

ÉCOLE ET OBSERVATOIRE DES SCIENCES DE LA TERRE
5, rue René Descartes, 67084 STRASBOURG CEDEX - FRANCE
Directeur : Michel Cara

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE
POUR LE DÉVELOPPEMENT (IRD), *anciennement ORSTOM*
Unité technique des observatoires
32, rue Henri Varagnat, 93143 BONDY CEDEX - France

TABLE DES MATIERES

Résumé / Abstract

Première partie : Mesures dans les stations de répétition de la France, 1997

- 1.1. Introduction
- 1.2. Campagne 1997 : méthode de mesure, mise en œuvre, réduction des observations
- 1.3. Résultats
 - 1.3.1. Liste et coordonnées des stations
 - 1.3.2. Valeurs des éléments magnétiques rapportés à l'année 1997.5
 - 1.3.3. Valeurs des éléments magnétiques à chaque station du réseau depuis sa création
- 1.4. Cinquante ans de mesures magnétiques de répétition en France

Deuxième partie : Mesures dans les stations magnétiques de répétition des Terres australes et antarctiques françaises (TAAF), campagnes 1994-1998

- 2.1. Introduction
- 2.2. Réoccupations effectuées entre 1994 et 1998 : méthode de mesure, mise en œuvre, réduction des observations
- 2.3. Résultats
 - 2.3.1. Liste et coordonnées des stations
 - 2.3.2. Valeurs des éléments magnétiques rapportés à l'année 19aa.5
 - 2.3.3. Valeurs des éléments magnétiques calculés pour chaque station depuis sa création
- 2.4. Évolution de la différence de champ magnétique entre la station de répétition de Port Jeanne d'Arc et l'observatoire de Port-aux-Français (Kerguelen 1962 – 1998)

Troisième partie : French results of the geomagnetic field repeat station network measurements

- 3.1. Regional magnetic repeat station networks description (France and TAAF)
- 3.2. Magnetic repeat station Survey Files for the years 1987, 1992, 1997 (France and TAAF)
- 3.3. Half century of repeat station magnetic measurements in France

Quatrième partie : Main results of the Vth Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments, Data Acquisition and Processing Sept. 21-26, 1992, Chambon la Forêt, France

- 4.1. Introduction
- 4.2. Chambon la Forêt observatory and its history
- 4.3. Chambon la Forêt workshop (sept. 21-26, 1992)
 - 4.3.1. Absolute measurements
 - 4.3.2. Comparison of the recording instruments
 - 4.3.3 Baseline values
 - 4.3.4. Results and conclusions of the comparative recordings
- 4.4. Conclusions

Références / References

RESUMÉ

Ce bulletin présente les résultats de la campagne de mesures faite entre 1994 et 1998 dans les stations du réseau magnétique de répétition de la France métropolitaine (première partie) et dans les stations magnétiques de répétition situées dans les Terres australes et antarctiques françaises (deuxième partie). La troisième partie est rédigée en anglais et résume les résultats déjà présentés, en respectant la présentation définie par le groupe de travail V-8 de l'Association Internationale de Géomagnétisme et d'Aéronomie et reprise dans l'ouvrage *Guide for Magnetic Repeat Station Surveys* [Newitt, Barton & Bitterly, 1996]. La quatrième partie présente les principaux résultats des mesures d'intercomparaison des magnétomètres effectuées durant l'Atelier International sur les instruments d'observatoire magnétique (Chambon la Forêt, 21-26 septembre 1992).

ABSTRACT

This bulletin presents the results of magnetic repeat station surveys performed between 1994 and 1998 in continental France (part 1) and, in the French sub-antarctic islands, in Indian Ocean (part 2). Part 3 is published in English and shows the results presented above, using the format indicated by the IAGA WG V-8 in *Guide for Magnetic Repeat Station Surveys* (Newitt, Barton & Bitterly, 1996).

In the last part we present the main results on the magnetometers intercomparison measurements made during the Vth Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments, Data Acquisition and Processing (Sept 21-26, 1992, Chambon la Forêt, France).

PREMIÈRE PARTIE
INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE DE PARIS
OBSERVATOIRE DE CHAMBON LA FORÊT

MAGNÉTISME TERRESTRE

MESURES DANS LES STATIONS MAGNÉTIQUES DE RÉPÉTITION DE LA FRANCE

1997

M. MANDEA ALEXANDRESCU

Cette campagne de mesures a été effectuée sous la direction de Mioara Manda Alexandrescu, avec le concours de Bernard Clavé de Otaola, Lionel Parmentier et Gilbert Petiau (Observatoire de Chambon la Forêt), ainsi que de Vincent Courtillot, Stuart Gilder et Jean-Louis Le Mouél (Département de Géomagnétisme et Paléomagnétisme).

Observatoire Magnétique National de Chambon la Forêt
Carrefour des 8 Routes
F-45340 CHAMBON LA FORÊT
Téléphone 33 (0)2 38 33 95 00 - Télécopie 33 (0)2 38 33 95 04

1.1. INTRODUCTION

La modélisation du champ magnétique terrestre à grande échelle repose sur des données provenant de sources très différentes (observatoires magnétiques et réseaux de répétition, missions satellitaires, expéditions maritimes, etc...). Les changements du champ magnétique à une échelle plus petite (voir la France) sont suivis par les mesures faites dans les stations d'un réseau de répétition.

Le réseau de stations de répétition de la France a été établi en 1947 [Selzer et Thellier, 1949], il comportait alors 12 stations, en 1965 E. Le Borgne porta à 31 le nombre de ces stations. A cette époque les éléments du champ magnétique mesurés étaient la déclinaison (avec un théodolite Chasselon), la composante horizontale (avec un QHM), et la composante verticale (avec une BMZ). Plus tard le nombre de stations a augmenté et le réseau français actuel comporte 33 stations. Ces stations sont séparées par des distances d'approximativement 150 – 200 km, et leur distribution est indiquée sur la figure 1.

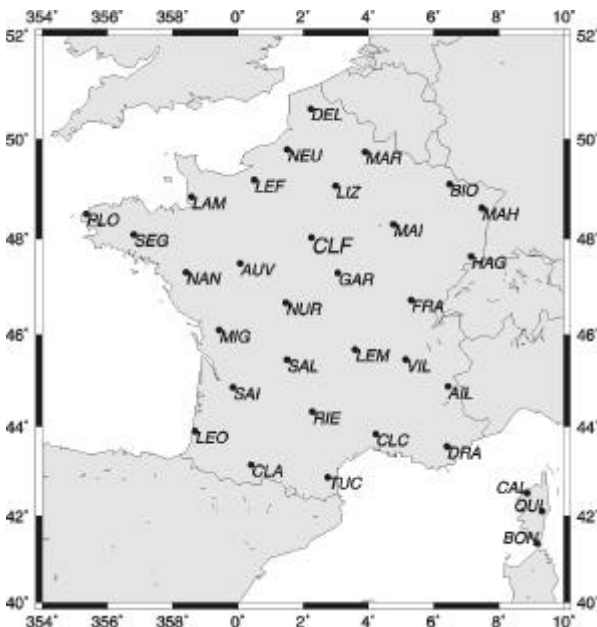


Figure 1. Distribution actuelle des stations magnétiques de répétition de la France. Les codes des stations sont indiqués dans les tableaux 6 et 7.

Present-day repeat magnetic measurement stations in France. The station codes are indicated in tables 6 and 7.

La réoccupation de ces stations est faite en respectant une périodicité de 5 ans. Notons aussi que les instruments utilisés dans les campagnes de mesure ont suivi les progrès de l'instrumentation magnétique. Deux dates sont à retenir : 1965, quand pour la première fois un magnétomètre

à protons de marque Elsec a été utilisé pendant la campagne de mesures et 1982, quand les premiers résultats obtenus à l'aide d'un Déclinomètre Inclinomètre à vanne de flux (DI-flux) ont été comparés aux mesures "classiques".

Aujourd'hui les composantes mesurées sont la déclinaison (D) et l'inclinaison (I) (avec un DI-flux) et l'intensité du champ total (F) (avec un magnétomètre à protons). Le résumé de l'évolution du nombre des stations et des instruments utilisés est présenté dans le tableau 1.

Tableau 1. Instruments utilisés pour la réoccupation des stations magnétiques de répétition de la France.

Années	N	Instruments utilisés
1947-1948	12	Th. Chasselon - QHM - BMZ
1952-1953	15	Th. Chasselon - QHM - BMZ
1957-1958	16	Th. Chasselon - QHM - BMZ
1962-1963	16	Th. Chasselon - QHM - BMZ
1965	31	Th. Chasselon - QHM Magnétomètre à protons Elsec
1967	32	Th. Chasselon - QHM Magnétomètre à protons Elsec
1972	32	Th. Chasselon - QHM Magnétomètre à protons Elsec
1977	33	Th. Chasselon - QHM Magnétomètre à protons Elsec Magnétomètre à protons Geometrics
1982	33	Th. Chasselon - QHM Magnétomètre à protons Elsec Magnétomètre à protons Geometrics DI-flux
1987	32	DI-flux Magnétomètre à protons Elsec Variomètre triaxial de terrain
1992	33	DI-flux Magnétomètre à protons Elsec Magnétomètre à protons Geometrics
1997	33	DI-flux Magnétomètre à protons Elsec Magnétomètre à protons GEM Systems

N : nombre de stations réoccupées

Th. Chasselon : Théodolite Chasselon

DI-flux : Déclinomètre – Inclinomètre à vanne de flux

QHM : Quartz Horizontal Magnetometer

BMZ : Balance Magnétique de Z (composante verticale)

Au fil du temps les emplacements des stations du réseau français ont été conservés sauf quelques exceptions. La dernière station ayant été déplacée est Salon la Tour, car l'autoroute A75 a été construite exactement sur le site de cette station. Un résumé de ces changements est présenté dans le tableau 2.

Tableau 2. Changements de site des stations de répétition

Nom	Année d'installation	Année de déplacement	Distance en mètres
Bionville	1948	1982	10
Garchy	1958	1987	360
Le Favril	1965	1987	2200
Marle	1948	1979	120
Nantes	1953	1985	5000
Quinzena	1965	1986	18
Rieupeyroux	1948	1980	4500
Salon la Tour	1965	1980	4000
Salon la Tour	1980	1997	168
Villeneuve	1948	1977	41

Les résultats des mesures de répétition ont été publiés dans les annales de l'Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP) et dans des bulletins hors série du Bureau Central de Magnétisme Terrestre (BCMT). La première série de mesures rapportée à 1948,0 a été publiée par E. Selzer et E. Thellier [1949]. Les réoccupations du réseau pour 1953, 1958 et 1963 ont été publiées dans les annales de l'IPGP et du BCMT [Selzer, 1954; Le Borgne, 1960; Le Borgne et al, 1965]. En 1965 quinze stations complémentaires furent créées en France continentale avant le survol de la France pour l'établissement de la carte aéromagnétique [Le Borgne et Le Mouël ¹et², 1969; Le Mouël, 1970]. Les résultats obtenus pour les campagnes 1967, 1972, 1977 et 1982 ont été publiés dans la série des fascicules "Observations magnétiques" édités par l'Institut de Physique du Globe de Paris [Le Borgne et al., 1971; Le Borgne et Le Mouël, 1974; Courtillot et al., 1978; Gilbert et Le Mouël, 1984]. Les résultats pour les campagnes 1986-1987 et 1992 ont été publiés dans la nouvelle série des bulletins du BCMT (Bulletin n° 5, 1994 et bulletin n° 8, 1996). Tous ces bulletins sont disponibles à l'adresse suivante :

BUREAU CENTRAL DE MAGNÉTISME TERRESTRE
IPGP - BP89 4, Place Jussieu
75252 PARIS CEDEX 05 - France

1.2. CAMPAGNE 1997 : MÉTHODE DE MESURE, MISE EN ŒUVRE, RÉDUCTION DES OBSERVATIONS

1.2.1. Exécution des mesures sur le terrain

Dans chaque station, on commence par vérifier qu'il n'y a pas de corps perturbateur au voisinage de la borne ; pour cela on procède :

- à une prospection rapide au moyen du magnétomètre à protons.
- à une série de mesures (nord-sud et est-ouest) à 10 mètres de part et d'autre de la borne, à une hauteur de mesures de 1,40 m à 1,60 m, et un pas de 2 mètres.
- à une série de mesures à la verticale de la borne de 0 à 2 m et un pas de 20 cm.

Pour limiter au mieux les erreurs entraînées par la réduction, on s'efforce de placer les mesures en dehors de la partie principale de la variation solaire ; pratiquement on fait un ensemble de mesures aussi tôt que possible dans la matinée, et un autre aussi tard que possible dans la soirée (dès que la visibilité est suffisante, et jusqu'à ce qu'elle ne le soit plus). On n'a pas cependant pu suivre ces règles dans toutes les stations.

Dans chaque station on a fait entre cinq et dix mesures de D et de I à l'aide du théodolite à vanne de flux (DI-flux). Tous les pointés correspondant à ces mesures ont été faits à des minutes rondes. Pour F, après une comparaison des deux magnétomètres à protons, on a déterminé, avec une précision de $1/10^{\text{ème}}$ de nT, l'écart entre le point de mesure (au-dessus de la borne, à la hauteur de la sonde fixée sur le théodolite à vanne de flux) et un point auxiliaire situé à une quinzaine de mètres. En ce point auxiliaire, on a fait systématiquement des mesures de F simultanées avec les mesures de D et de I (donc aux minutes rondes) effectuées sur la borne. De plus, des mesures supplémentaires très fréquentes permettent de suivre, sur place, l'évolution et l'agitation magnétiques.

Un exemple des fiches établies pour l'identification et la description d'une station (tableau 3), pour les résultats des valeurs mesurées sur le terrain (tableau 4) et pour la réduction des mesures est donné dans les tableaux 3, 4 et 5.

Tableau 3. Exemple de fiche établie pour une station

INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE DE PARIS

RÉSEAU DE RÉPÉTITION DE LA FRANCE

Identification et description de la station

Nom de la station	LE MONESTIER	LEM	création: 1965
Département	PUY DE DOME	63	
Arrondissement	AMBERT	63600	
Canton	St. AMAND ROCHE SAVINE 63890		
Gendarmerie	St. AMAND ROCHE SAVINE 63890		
Carte Michelin	73 pli n°16		
Répertoire IGN	AMBERT 27-32		
Nom du Point	St GERVAIS SOUS MEYMONT "Grand Champ"		
Numéro du point	1		
Latitude	45° 40' 48" Dms	45,6800 Dd	50,7556 Gr (N)
Longitude	03° 35' 54" Dms	03,5983 Dd	03,9981 Gr (E)
Altitude	633 m		
Remarques	La station est située à 15 km au nord du Monestier, à l'ouest de Tours-sur-Meymont et à 3 km à l'est d'Olliergues.		

Tableau 4. Exemple de mesures et de calculs des valeurs absolues pour une station

INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE DE PARIS

RÉSEAU DE RÉPÉTITION DE LA FRANCE

STATION		LE MONESTIER (LEM)					
POINT DE MESURE		1,40 m AU DESSUS DE LA BORNE GÉODESIQUE					
COORDONNÉES		LATITUDE 45°40'48"					
		LONGITUDE 03°35'54"E					
APPAREILS UTILISÉS		PRÉCISION DES MESURES					
DI-FLUX 010B (DI MAG 88)		5"					
MAGNÉTOMÈTRE À PROTONS (ELSEC 820M)		0,5 nT					
11 09 97		VALEURS ABSOLUES MESURÉES			VALEURS CALCULÉES		
Jour ^a	Heure ^b	D ^c	I ^d	F ^e	H ^f	Z ^g	
255	15:01	-1,4554					
255	15:13	-1,4495					
255	15:32	-1,4416					
255	15:41	-1,4369					
255	15:52	-1,4286					
255	16:03	-1,4240					
255	15:07		61,4538	46569,2	22253,8	40907,8	
255	15:17		61,4574	46569,2	22251,3	40909,3	
255	15:35		61,4607	46570,1	22249,3	40911,3	
255	15:46		61,4623	46569,6	22248,0	40911,4	
255	15:56		61,4635	46569,8	22247,2	40912,2	
255	16:08		61,4680	46569,4	22243,8	40913,5	

^a numéro du jour dans l'année

^b heure (temps universel)

^c déclinaison, en degrés décimaux

^d inclinaison, en degrés décimaux

^e intensité du champ total, en nanoteslas

^f composante horizontale, en nanoteslas

^g composante verticale, en nanoteslas

Tableau 5. Exemple de fiche de réduction des mesures pour une station

**INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE DE PARIS
RÉSEAU DE RÉPÉTITION DE LA FRANCE**

(réduction des mesures absolues de terrain)

Station:		LE MONESTIER (LEM)			Date: 12 09 97	
Jour	Heure	D _{STA}	D _{OBS}	D _{STA} -D _{OBS}	moyenne	écart type
255	15:01	- 1 27 19	- 2 11 49	0 44 30		
255	15:13	- 1 26 58	- 2 11 35	0 44 36		
255	15:32	- 1 26 30	- 2 11 7	0 44 37		
255	15:41	- 1 26 13	- 2 10 50	0 44 37		
255	15:52	- 1 25 43	- 2 10 17	0 44 34		
255	16:03	- 1 25 26	- 2 10 0	0 44 34	0 44 35	0 00 02
Jour	Heure	H _{STA}	H _{OBS}	H _{STA} -H _{OBS}		
255	15:07	22253.8	20956.6	1297.2		
255	15:17	22251.3	20954.6	1296.7		
255	15:35	22249.3	20953.9	1295.4		
255	15:46	22248.0	20951.7	1296.3		
255	15:56	22247.2	20951.2	1296.0		
255	16:08	22243.8	20948.2	1295.6	1296.2	0.8
Jour	Heure	Z _{STA}	Z _{OBS}	Z _{STA} -Z _{OBS}		
255	15:07	40907.8	42421.4	-1513.6		
255	15:17	40909.3	42422.5	-1513.2		
255	15:35	40911.3	42425.0	-1513.7		
255	15:46	40911.4	42425.8	-1514.4		
255	15:56	40912.2	42426.4	-1514.2		
255	16:08	40913.5	42427.8	-1514.3	-1513.9	0.6
Jour	Heure	F _{STA}	F _{OBS}	F _{STA} -F _{OBS}		
255	15:07	46569.2	47315.0	-745.8		
255	15:17	46569.2	47315.1	-745.9		
255	15:35	46570.1	47317.0	-746.9		
255	15:46	46569.6	47316.7	-747.1		
255	15:56	46569.8	47317.1	-747.3		
255	16:08	46569.4	47317.1	-747.7	-746.8	0.8

Les valeurs de la déclinaison sont indiquées en degrés, minutes et secondes
Les valeurs des composantes et de l'intensité du champ total sont indiquées en nanoteslas.

Les déterminations effectuées dans les stations durant la campagne 1997 ont été rapportées à l'époque 1997,5 (1^{er} Juillet 1997) à l'aide des données de l'observatoire de Chambon la Forêt.

1.2.2. Réduction des observations

On sait que cette réduction des observations est basée sur l'hypothèse que l'écart entre la valeur instantanée d'un élément E et sa valeur moyenne annuelle centrée sur cet instant a la même valeur à la station S et à l'observatoire voisin O .

Considérons $E_{s,t}$ la valeur observée de l'élément E , à la station S , à l'instant t : $E_{O,t}$ la valeur observée du même élément, au même instant, à l'observatoire O ,

- $\bar{E}_{s,t}$ la valeur moyenne de l'élément E à la station S pour une année centrée sur l'époque t .
- $\bar{E}_{O,t}$ la valeur moyenne de l'élément E à l'observatoire O pour une année centrée sur l'époque t .

On admet donc que

$$E_{s,t} - \bar{E}_{s,t} = E_{O,t} - \bar{E}_{O,t}$$

La valeur moyenne au 1er juillet 1997, $\bar{E}_{S,1997,5}$ s'obtient ensuite en admettant, en outre, que la variation séculaire ΔE_S de l'élément entre l'époque t et le 1er juillet à la station S , est la même que la variation séculaire ΔE_O de cet élément à l'observatoire O . On a donc finalement

$$\bar{E}_{S,1997,5} = \bar{E}_{O,1997,5} + (E_{S,t} - E_{O,t})$$

En chaque station S , nous disposons pour chacun des éléments D , I , F , de plusieurs séries de valeurs réparties sur différentes heures d'un même jour ou de deux jours consécutifs. Nous obtenons ainsi, pour chaque élément, plusieurs valeurs $(E_{S,ti} - E_{O,ti})$ de la différence instantanée $(E_{S,t} - E_{O,t})$ du fait de l'incertitude expérimentale qui affecte chacune des valeurs $E_{S,ti}$ et $E_{O,ti}$ d'une part, et de la

non uniformité des variations transitoires sur l'étendue du territoire, d'autre part. Pour déterminer la valeur définitivement attribuée à la différence instantanée $(E_{S,t} - E_{O,t})$ nous avons examiné, sur les enregistrements de l'observatoire, la situation magnétique correspondant aux instants t_i de chaque mesure, et donné, éventuellement, un poids variable aux diverses estimations $(E_{S,ti} - E_{O,ti})$ selon que la situation magnétique était plus ou moins calme et selon que le niveau de l'élément considéré, était plus ou moins voisin du niveau stationnaire de nuit à l'instant de la mesure. On obtient, après le calcul de la valeur moyenne ainsi pondérée, l'estimation définitive de la différence $(E_{S,t} - E_{O,t})$.

Les enregistrements utilisés pour la réduction des mesures sont ceux du variomètre triaxial de référence de l'observatoire de Chambon la Forêt. Les éléments enregistrés étant H, D, Z et F, ce sont ceux que nous avons choisis de réduire.

Comme par le passé nous avons établi les fiches individuelles des stations, les tableaux des valeurs absolues mesurées, les tableaux des mesures absolues réduites et les tableaux des éléments magnétiques pour l'époque 1997,5. Le BCMT peut fournir sur demande ces documents complets pour la campagne 1997 de mesures de répétition de la France.

1.3. RÉSULTATS DE LA CAMPAGNE 1997

1.3.1. Liste et coordonnées des stations

Les tableaux 6 et 7 présentent les stations de répétition de la France réoccupées pendant la campagne de mesures de 1997, rangées dans l'ordre alphabétique et dans l'ordre décroissant des longitudes.

1.3.2. Valeurs des éléments magnétiques rapportés à l'époque 1997,5

Les valeurs absolues des éléments du champ pour la France continentale et la Corse ont été rapportées au milieu de l'année 1997 et sont consignées dans les tableaux 8 et 9 organisés selon l'ordre alphabétique des stations ainsi que selon l'ordre des longitudes croissantes.

Tableau 6. Liste des stations par ordre alphabétique

INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE DE PARIS
RÉSEAU DE RÉPÉTITION DE LA FRANCE

N	Code	Nom de la station	Département	Latitude ^a	Longitude ^b	Altitude ^c
01	AIL	AILEFROIDE	5	44 53 02 N	06 26 38 E	1513
02	AUV	AUVERSE	49	47 29 25 N	00 04 40 E	86
03	BIO	BIONVILLE	57	49 06 36 N	06 29 30 E	314
04	BON	BONIFACIO	2A	41 22 13 N	09 10 51 E	80
05	CAL	CALENZANA	2B	42 31 12 N	08 52 12 E	280
06	CLA	CLARENS	65	43 09 18 N	00 24 18 E	563
07	CLC	CLARENSAC	30	43 50 18 N	04 14 00 E	207
08	CLF	CHAMBON LA FORET	45	48 01 26 N	02 15 36 E	145
09	DEL	DELETTES	62	50 35 48 N	02 13 54 E	131
10	DRA	DRAGUIGNAN	83	43 33 53 N	06 24 39 E	400
11	FRA	FRANGY	71	46 43 31 N	05 18 52 E	193
12	GAR	GARCHY	58	47 17 36 N	03 04 00 E	193
13	HAG	HAGENBACH	68	47 38 24 N	07 09 12 E	318
14	LAM	LA MEURDRAQUIERE	50	48 51 12 N	01 24 42 W	125
15	LEF	LE FAVRIL	27	49 11 36 N	00 30 10 E	172
16	LEM	LE MONESTIER	63	45 40 48 N	03 35 54 E	693
17	LEO	LEON	40	43 54 14 N	01 18 45 W	8
18	LIZ	LIZY-SUR-OURCQ	77	49 04 23 N	03 00 02 E	147
19	MAH	MARLENHEIM	67	48 37 48 N	07 28 54 E	369
20	MAI	MAISONS-LES-SOULAINES	10	48 17 48 N	04 46 24 E	280
21	MAR	MARLE	2	49 45 05 N	03 54 00 E	165
22	MIG	MIGRE	17	46 05 41 N	00 34 23 W	80
23	NAN	NANTES	44	47 18 22 N	01 35 13 W	34
24	NEU	NEUFCHATEL	76	49 47 48 N	01 30 42 E	230
25	NUR	NURET-LE-FERRON	36	46 40 24 N	01 28 24 E	172
26	PLO	PLOUDALMEZEAU	29	48 30 36 N	04 38 48 W	81
27	QUI	QUINZENA	2B	42 06 36 N	09 19 54 E	400
28	RIE	RIEUPEYROUX	12	44 20 00 N	02 17 06 E	674
29	SAI	SAINT-EMILION	33	44 51 54 N	00 08 42 W	15
30	SAL	SALON-LA-TOUR	19	45 27 36 N	01 30 42 E	491
31	SEG	SEGLIEN	56	48 05 20 N	03 11 06 W	226
32	TUC	TUCHAN	11	42 52 30 N	02 45 36 E	313
33	VIL	VILLENEUVE-DE-MARC	38	45 27 48 N	05 08 47 E	492

^a latitude, en degrés, minutes, secondes^b longitude, en degrés, minutes, secondes^c altitude, en mètres

Tableau 7. liste des stations par ordre des longitudes croissantes

INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE DE PARIS

RÉSEAU DE RÉPÉTITION DE LA FRANCE

N°	Code	Nom de la station	Département	Latitude ^a	Longitude ^b	Altitude ^c
1	PLO	PLOUDALMEZEAU	29	48 30 36 N	04 38 48 W	81
2	SEG	SEGLIEN	56	48 05 20 N	03 11 06 W	226
3	NAN	NANTES	44	47 18 22 N	01 35 13 W	34
4	LAM	LA MEURDRAQUIERE	50	48 51 12 N	01 24 42 W	125
5	LEO	LEON	40	43 54 14 N	01 18 45 W	8
6	MIG	MIGRE	17	46 05 41 N	00 34 23 W	80
7	SAI	SAINT-EMILION	33	44 51 54 N	00 08 42 W	15
8	AUV	AUVERSE	49	47 29 25 N	00 04 40 E	86
9	CLA	CLARENS	65	43 09 18 N	00 24 18 E	563
10	LEF	LE FAVRIL	27	49 11 36 N	00 30 10 E	172
11	NUR	NURET-LE-FERRON	36	46 40 24 N	01 28 24 E	172
12	NEU	NEUFCHATEL	76	49 47 48 N	01 30 42 E	230
13	SAL	SALON-LA-TOUR	19	45 27 36 N	01 30 42 E	491
14	DEL	DELETTES	62	50 35 48 N	02 13 54 E	131
15	CLF	CHAMBON LA FORET	45	48 01 26 N	02 15 36 E	145
16	RIE	RIEUPEYROUX	12	44 20 00 N	02 17 06 E	674
17	TUC	TUCHAN	11	42 52 30 N	02 45 36 E	313
18	LIZ	LIZY-SUR-OURCQ	77	49 04 23 N	03 00 02 E	147
19	GAR	GARCHY	58	47 17 36 N	03 04 00 E	193
20	LEM	LE MONESTIER	63	45 40 48 N	03 35 54 E	693
21	MAR	MARLE	2	49 45 05 N	03 54 00 E	165
22	CLC	CLARENSAC	30	43 50 18 N	04 14 00 E	207
23	MAI	MAISONS-LES-SOULAINES	10	48 17 48 N	04 46 24 E	280
24	VIL	VILLENEUVE-DE-MARC	38	45 27 48 N	05 08 47 E	492
25	FRA	FRANGY	71	46 43 31 N	05 18 52 E	193
26	DRA	DRAGUIGNAN	83	43 33 53 N	06 24 39 E	400
27	AIL	AILEFROIDE	5	44 53 02 N	06 26 38 E	1513
28	BIO	BIONVILLE	57	49 06 36 N	06 29 30 E	314
29	HAG	HAGENBACH	68	47 38 24 N	07 09 12 E	318
30	MAH	MARLENHEIM	67	48 37 48 N	07 28 54 E	369
31	CAL	CALENZANA	2B	42 31 12 N	08 52 12 E	280
32	BON	BONIFACIO	2A	41 22 13 N	09 10 51 E	80
33	QUI	QUINZENA	2B	42 06 36 N	09 19 54 E	400

^a latitude, en degrés, minutes, secondes

^b longitude, en degrés, minutes, secondes

^c altitude, en mètres

Tableau 8. Valeurs des éléments magnétiques rapportés à l'année 1997,5 (par ordre alphabétique)

INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE DE PARIS

RÉSEAU DE RÉPÉTITION DE LA FRANCE

VALEURS DES ÉLÉMENTS MAGNÉTIQUES RAPPORTÉS À L'ANNÉE 1997,5

Code ^a	D ^b	F ^c	H ^d	I ^e	X ^f	Y ^g	Z ^h
AIL	-0.5286	46328	22656	60.7227	22655	-209	40410
AUV	-2.6892	47029	21245	63.1443	21222	-997	41956
BIO	-0.8886	47675	20392	64.6769	20389	-316	43094
BON	0.4580	45526	24616	57.2688	24615	197	38297
CAL	0.2128	45719	23919	58.4546	23919	89	38963
CLA	-2.2383	45549	23639	58.7359	23621	-923	38934
CLC	-1.1282	45951	23266	59.5807	23262	-458	39626
CLF	-2.1917	47313	20963	63.7003	20948	-802	42416
DEL	-2.4731	48002	19682	65.7939	19664	-849	43782
DRA	-0.3345	45985	23341	59.4965	23341	-136	39619
FRA	-0.9711	46950	21692	62.4830	21689	-368	41640
GAR	-2.1275	47004	21403	62.9131	21388	-795	41849
HAG	-0.4796	47343	21173	63.4346	21172	-177	42345
LAM	-3.6197	47415	20610	64.2355	20569	-1301	42702
LEF	-2.7652	47588	20470	64.5224	20447	-988	42960
LEM	-1.4487	46566	22259	61.4447	22252	-563	40902
LEO	-2.8980	45713	23244	59.4373	23215	-1175	39362
LIZ	-2.0051	47625	20491	64.5158	20479	-717	42992
MAH	-0.6389	47724	20666	64.3394	20665	-230	43017
MAI	-1.3724	47461	20911	63.8580	20905	-501	42606
MAR	-1.6884	47850	20164	65.0769	20155	-594	43394
MIG	-2.9126	46530	22084	61.6658	22055	-1122	40956
NAN	-3.3449	46898	21456	62.7736	21420	-1252	41702
NEU	-2.6727	47726	20069	65.1341	20047	-936	43302
NUR	-2.1757	46847	21770	62.3086	21754	-827	41481
PLO	-4.8395	47224	20838	63.8163	20764	-1758	42378
QUI	0.5367	45466	24137	57.9360	24136	226	38531
RIE	-1.7886	46031	23010	60.0079	22999	-718	39867
SAI	-2.5476	46089	22743	60.4312	22721	-1011	40087
SAL	-2.0071	46416	22436	61.0943	22422	-786	40633
SEG	-4.2338	47114	21041	63.4741	20984	-1553	42155
TUC	-1.4646	45550	23812	58.4819	23804	-609	38830
VIL	-1.0811	46532	22347	61.2981	22343	-422	40815

^a code de la station

^b déclinaison, en degrés décimaux

^c intensité du champ total, en nanoteslas

^d composante horizontale, en nanoteslas

^e inclinaison, en degrés décimaux

^f composante horizontale Nord-Sud, en nanoteslas

^g composante horizontale Est-Ouest, en nanoteslas

^h composante verticale, en nanoteslas

Tableau 9: Valeurs des éléments magnétiques rapportés à l'année 1997,5 (par ordre des longitudes croissantes)

INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE DE PARIS

RÉSEAU DE RÉPÉTITION DE LA FRANCE

VALEURS DES ÉLÉMENTS MAGNÉTIQUES RAPPORTÉS À L'ANNÉE 1997,5

Code ^a	D ^b	F ^c	H ^d	I ^e	X ^f	Y ^g	Z ^h
PLO	-4.8395	47224	20838	63.8163	20764	-1758	42378
SEG	-4.2338	47114	21041	63.4741	20984	-1553	42155
NAN	-3.3449	46898	21456	62.7736	21420	-1252	41702
LAM	-3.6197	47415	20610	64.2355	20569	-1301	42702
LEO	-2.8980	45713	23244	59.4373	23215	-1175	39362
MIG	-2.9126	46530	22084	61.6658	22055	-1122	40956
SAI	-2.5476	46089	22743	60.4312	22721	-1011	40087
AUV	-2.6892	47029	21245	63.1443	21222	-997	41956
CLA	-2.2383	45549	23639	58.7359	23621	-923	38934
LEF	-2.7652	47588	20470	64.5224	20447	-988	42960
NUR	-2.1757	46847	21770	62.3086	21754	-827	41481
NEU	-2.6727	47726	20069	65.1341	20047	-936	43302
SAL	-2.0071	46416	22436	61.0943	22422	-786	40633
DEL	-2.4731	48002	19682	65.7939	19664	-849	43782
CLF	-2.1917	47313	20963	63.7003	20948	-802	42416
RIE	-1.7886	46031	23010	60.0079	22999	-718	39867
TUC	-1.4646	45550	23812	58.4819	23804	-609	38830
LIZ	-2.0051	47625	20491	64.5158	20479	-717	42992
GAR	-2.1275	47004	21403	62.9131	21388	-795	41849
LEM	-1.4487	46566	22259	61.4447	22252	-563	40902
MAR	-1.6884	47850	20164	65.0769	20155	-594	43394
CLC	-1.1282	45951	23266	59.5807	23262	-458	39626
MAI	-1.3724	47461	20911	63.8580	20905	-501	42606
VIL	-1.0811	46532	22347	61.2981	22343	-422	40815
FRA	-0.9711	46950	21692	62.4830	21689	-368	41640
DRA	-0.3345	45985	23341	59.4965	23341	-136	39619
AIL	-0.5286	46328	22656	60.7227	22655	-209	40410
BIO	-0.8886	47675	20392	64.6769	20389	-316	43094
HAG	-0.4796	47343	21173	63.4346	21172	-177	42345
MAH	-0.6389	47724	20666	64.3394	20665	-230	43017
CAL	0.2128	45719	23919	58.4546	23919	89	38963
BON	0.4580	45526	24616	57.2688	24615	197	38297
QUI	0.5367	45466	24137	57.9360	24136	226	38531

^a code de la station^b déclinaison, en degrés décimaux^c intensité du champ total, en nanoteslas^d composante horizontale, en nanoteslas^e inclinaison, en degrés décimaux^f composante horizontale Nord-Sud, en nanoteslas^g composante horizontale Est-Ouest, en nanoteslas^h composante verticale, en nanoteslas

1.3.3. Valeurs des éléments magnétiques à chaque station du réseau depuis sa création

TABLEAUX DES VALEURS DEPUIS L'ORIGINE DU RÉSEAU

VALEURS DES ÉLÉMENTS MAGNÉTIQUES À L'OBSERVATOIRE DE CHAMBON LA FORÊT

Code ^a	D ^b	F ^c	H ^d	I ^e	X ^f	Y ^g	Z ^h	Années
CLF	-7.879	46183	20061	64.254	19873	-2749	41599	1947.5
CLF	-7.749	46200	20075	64.245	19892	-2706	41611	1948.5
CLF	-7.618	46224	20087	64.242	19910	-2662	41631	1949.5
CLF	-7.490	46231	20104	64.224	19932	-2619	41631	1950.5
CLF	-7.359	46255	20124	64.211	19958	-2577	41648	1951.5
CLF	-7.226	46286	20150	64.193	19990	-2534	41669	1952.5
CLF	-7.107	46307	20177	64.169	20022	-2495	41681	1953.5
CLF	-6.987	46320	20199	64.146	20049	-2456	41684	1954.5
CLF	-6.873	46351	20217	64.140	20072	-2419	41709	1955.5
CLF	-6.755	46386	20227	64.148	20086	-2378	41744	1956.5
CLF	-6.649	46417	20247	64.138	20111	-2343	41768	1957.5
CLF	-6.548	46442	20272	64.120	20139	-2311	41784	1958.5
CLF	-6.453	46463	20290	64.107	20162	-2279	41798	1959.5
CLF	-6.359	46497	20309	64.100	20184	-2248	41827	1960.5
CLF	-6.260	46518	20345	64.064	20224	-2217	41833	1961.5
CLF	-6.158	46536	20373	64.038	20255	-2184	41840	1962.5
CLF	-6.061	46557	20399	64.014	20285	-2153	41850	1963.5
CLF	-5.973	46579	20425	63.991	20314	-2124	41861	1964.5
CLF	-5.885	46591	20452	63.962	20345	-2096	41862	1965.5
CLF	-5.791	46612	20472	63.947	20368	-2064	41876	1966.5
CLF	-5.713	46638	20491	63.936	20389	-2039	41895	1967.5
CLF	-5.643	46667	20519	63.916	20420	-2017	41914	1968.5
CLF	-5.581	46702	20551	63.893	20454	-1998	41937	1969.5
CLF	-5.511	46735	20584	63.868	20489	-1976	41958	1970.5
CLF	-5.433	46770	20624	63.834	20532	-1952	41977	1971.5
CLF	-5.349	46802	20651	63.816	20561	-1924	41999	1972.5
CLF	-5.249	46835	20682	63.795	20595	-1891	42021	1973.5
CLF	-5.138	46868	20710	63.777	20626	-1854	42044	1974.5
CLF	-5.026	46895	20743	63.748	20663	-1816	42059	1975.5
CLF	-4.897	46920	20771	63.725	20695	-1772	42072	1976.5
CLF	-4.760	46940	20797	63.701	20725	-1725	42082	1977.5
CLF	-4.611	46964	20805	63.704	20738	-1671	42104	1978.5
CLF	-4.458	46980	20824	63.688	20761	-1618	42113	1979.5
CLF	-4.320	46991	20843	63.670	20783	-1569	42116	1980.5
CLF	-4.170	47009	20846	63.676	20790	-1515	42134	1981.5
CLF	-4.032	47025	20849	63.682	20797	-1465	42151	1982.5
CLF	-3.904	47040	20864	63.670	20816	-1420	42159	1983.5
CLF	-3.768	47054	20874	63.666	20828	-1371	42171	1984.5
CLF	-3.642	47070	20882	63.664	20839	-1325	42184	1985.5
CLF	-3.514	47089	20884	63.672	20845	-1279	42205	1986.5
CLF	-3.395	47105	20892	63.670	20855	-1237	42219	1987.5
CLF	-3.272	47129	20888	63.692	20854	-1192	42247	1988.5
CLF	-3.153	47153	20882	63.715	20850	-1148	42277	1989.5
CLF	-3.047	47173	20889	63.720	20859	-1110	42296	1990.5
CLF	-2.937	47193	20888	63.730	20861	-1070	42318	1991.5
CLF	-2.835	47209	20902	63.720	20876	-1034	42330	1992.5
CLF	-2.718	47226	20915	63.712	20892	-992	42342	1993.5
CLF	-2.592	47247	20923	63.715	20901	-946	42361	1994.5
CLF	-2.465	47267	20939	63.705	20919	-901	42376	1995.5
CLF	-2.333	47288	20956	63.695	20939	-853	42391	1996.5
CLF	-2.192	47313	20963	63.700	20948	-802	42416	1997.5

TABLEAUX DES VALEURS DEPUIS L'ORIGINE DU RÉSEAU

VALEURS DES ÉLÉMENTS MAGNÉTIQUES À CHAQUE STATION DU RÉSEAU DEPUIS SA CRÉATION

Code ^a	D ^b	F ^c	H ^d	I ^e	X ^f	Y ^g	Z ^h	Années
AIL	-2.827	45907	22494	60.660	22467	-1109	40018	1977.5
AIL	-2.143	46000	22537	60.663	22521	-843	40101	1982.5
AIL	-1.583	46097	22591	60.655	22582	-624	40182	1987.5
AIL	-1.097	46218	22600	60.726	22595	-433	40315	1992.5
AIL	-0.529	46328	22656	60.723	22655	-209	40410	1997.5
AUV	-6.612	46347	20637	63.559	20500	-2376	41499	1965.0
AUV	-6.433	46393	20701	63.499	20571	-2319	41518	1967.5
AUV	-6.048	46549	20870	63.362	20754	-2199	41608	1972.5
AUV	-5.385	46680	21026	63.229	20933	-1973	41676	1977.5
AUV	-4.638	46752	21086	63.191	21017	-1705	41727	1982.5
AUV	-3.971	46829	21150	63.151	21099	-1465	41781	1987.5
AUV	-3.376	46926	21170	63.183	21134	-1247	41879	1992.5
AUV	-2.689	47029	21245	63.144	21222	-997	41956	1997.5
BIO	-5.988	46445	19695	64.909	19588	-2055	42062	1948.0
BIO	-5.350	46554	19758	64.887	19672	-1842	42153	1953.0
BIO	-4.820	46702	19848	64.850	19778	-1668	42274	1958.0
BIO	-4.375	46833	19942	64.798	19884	-1521	42375	1963.0
BIO	-4.173	46868	19985	64.760	19932	-1454	42393	1965.0
BIO	-4.015	46924	20031	64.730	19982	-1403	42434	1967.5
BIO	-3.767	47095	20172	64.638	20128	-1325	42554	1972.5
BIO	-3.227	47244	20287	64.569	20255	-1142	42665	1977.5
BIO	-2.548	47350	20325	64.580	20305	-903	42765	1982.5
BIO	-1.964	47443	20353	64.596	20341	-698	42856	1987.5
BIO	-1.471	47558	20346	64.671	20340	-522	42986	1992.5
BIO	-0.889	47675	20392	64.677	20389	-316	43094	1997.5
BON	-3.672	44395	23884	57.453	23835	-1521	37423	1953.0
BON	-3.123	44560	23975	57.449	23939	-1306	37560	1958.0
BON	-2.737	44674	24071	57.397	24044	-1149	37634	1963.0
BON	-2.580	44713	24109	57.371	24085	-1085	37656	1965.0
BON	-2.375	44769	24166	57.331	24145	-1001	37687	1967.5
BON	-2.098	44927	24306	57.248	24290	-890	37784	1972.5
BON	-1.583	45082	24433	57.182	24424	-675	37887	1977.5
BON	-0.974	45178	24487	57.180	24483	-416	37967	1982.5
BON	-0.540	45237	24534	57.157	24533	-231	38006	1986.5
BON	-0.019	45402	24551	57.265	24551	-8	38190	1992.5
BON	0.458	45526	24616	57.269	24615	197	38297	1997.5
CAL	-2.830	44932	23440	58.556	23411	-1157	38334	1965.0
CAL	-2.655	44986	23488	58.525	23463	-1088	38367	1967.5
CAL	-2.375	45123	23623	58.431	23603	-979	38445	1972.5
CAL	-1.883	45260	23758	58.337	23745	-781	38523	1977.5
CAL	-1.258	45371	23799	58.363	23793	-523	38629	1982.5
CAL	-0.814	45452	23839	58.366	23837	-339	38698	1986.5
CAL	-0.306	45601	23860	58.449	23860	-127	38858	1992.5
CAL	0.213	45719	23919	58.455	23919	89	38963	1997.5

Code ^a	D ^b	F ^c	H ^d	I ^e	X ^f	Y ^g	Z ^h	Années
CLA	-6.098	44927	22930	59.311	22800	-2436	38635	1965.0
CLA	-5.893	44972	22995	59.249	22873	-2361	38649	1967.5
CLA	-5.483	45097	23177	59.074	23071	-2215	38685	1972.5
CLA	-4.873	45212	23348	58.908	23264	-1983	38717	1977.5
CLA	-4.407	45247	23411	58.842	23342	-1799	38719	1980.5
CLA	-4.123	45266	23422	58.840	23362	-1684	38735	1982.5
CLA	-3.453	45347	23510	58.774	23467	-1416	38781	1987.5
CLA	-2.903	45452	23545	58.800	23515	-1192	38877	1992.5
CLA	-2.238	45549	23639	58.736	23621	-923	38934	1997.5
CLC	-4.645	45233	22685	59.900	22610	-1837	39133	1965.0
CLC	-4.440	45284	22742	59.854	22674	-1761	39159	1967.5
CLC	-4.077	45425	22903	59.722	22845	-1628	39229	1972.5
CLC	-3.545	45559	23052	59.603	23008	-1425	39297	1977.5
CLC	-2.817	45636	23110	59.575	23082	-1136	39352	1982.5
CLC	-2.210	45735	23170	59.561	23153	-893	39431	1987.5
CLC	-1.712	45848	23191	59.614	23180	-693	39549	1992.5
CLC	-1.128	45951	23266	59.581	23262	-458	39626	1997.5
DEL	-6.245	47249	19212	66.008	19098	-2090	43167	1965.0
DEL	-6.096	47302	19263	65.969	19154	-2046	43202	1967.5
DEL	-5.718	47475	19417	65.858	19320	-1935	43323	1972.5
DEL	-5.078	47626	19549	65.766	19472	-1730	43429	1977.5
DEL	-4.347	47714	19591	65.758	19535	-1485	43507	1982.5
DEL	-3.702	47793	19629	65.751	19588	-1267	43576	1987.5
DEL	-3.215	47894	19630	65.804	19599	-1101	43688	1992.5
DEL	-2.473	48002	19682	65.794	19664	-0849	43782	1997.5
DRA	-5.445	44814	22484	59.886	22383	-2134	38765	1948.0
DRA	-4.858	44932	22577	59.836	22496	-1912	38848	1953.0
DRA	-4.296	45061	22646	59.830	22582	-1696	38957	1958.0
DRA	-3.828	45182	22774	59.731	22723	-1520	39022	1963.0
DRA	-3.668	45221	22812	59.704	22765	-1459	39045	1965.0
DRA	-3.468	45268	22871	59.653	22829	-1383	39066	1967.5
DRA	-3.105	45412	23023	59.537	22989	-1247	39143	1972.5
DRA	-2.592	45549	23154	59.447	23130	-1047	39225	1977.5
DRA	-1.938	45643	23204	59.443	23191	-785	39305	1982.5
DRA	-1.394	45748	23262	59.437	23256	-561	39393	1987.5
DRA	-0.906	45867	23273	59.508	23270	-368	39523	1992.5
DRA	-0.335	45985	23341	59.497	23341	-136	39619	1997.5
FRA	-6.235	45784	20880	62.867	20756	-2268	40745	1948.0
FRA	-5.601	45880	20965	62.809	20865	-2046	40810	1953.0
FRA	-5.042	46029	21046	62.791	20965	-1850	40936	1958.0
FRA	-4.567	46145	21164	62.701	21097	-1685	41006	1963.0
FRA	-4.418	46188	21213	62.659	21150	-1634	41028	1965.0
FRA	-4.191	46241	21261	62.626	21204	-1554	41063	1967.5
FRA	-3.897	46393	21410	62.517	21360	-1455	41157	1972.5
FRA	-3.363	46538	21547	62.419	21510	-1264	41249	1977.5
FRA	-2.660	46631	21586	62.425	21563	-1002	41334	1982.5
FRA	-2.073	46729	21631	62.425	21617	-782	41421	1987.5
FRA	-1.575	46843	21635	62.492	21627	-595	41547	1992.5
FRA	-0.971	46950	21692	62.483	21689	-368	41640	1997.5

Code ^a	D ^b	F ^c	H ^d	I ^e	X ^f	Y ^g	Z ^h	Années
GAR	-6.428	46130	20708	63.327	20578	-2318	41221	1958.0
GAR	-5.951	46238	20829	63.226	20717	-2160	41281	1963.0
GAR	-5.811	46279	20881	63.179	20774	-2114	41300	1965.0
GAR	-5.598	46332	20936	63.136	20836	-2042	41332	1967.5
GAR	-5.235	46487	21097	63.010	21009	-1924	41424	1972.5
GAR	-4.651	46622	21234	62.906	21164	-1721	41505	1977.5
GAR	-3.926	46707	21283	62.891	21233	-1456	41576	1982.5
GAR	-3.295	46794	21332	62.879	21297	-1226	41649	1987.5
GAR	-2.752	46902	21345	62.929	21320	-1025	41763	1992.5
GAR	-2.128	47004	21403	62.913	21388	-795	41849	1997.5
HAG	-3.733	46543	20755	63.517	20711	-1351	41659	1965.0
HAG	-3.625	46599	20803	63.486	20761	-1315	41698	1967.5
HAG	-3.275	46759	20941	63.394	20907	-1196	41808	1972.5
HAG	-2.770	46914	21065	63.320	21040	-1018	41919	1977.5
HAG	-2.092	47006	21093	63.338	21079	-770	42008	1982.5
HAG	-1.526	47108	21125	63.356	21118	-563	42106	1987.5
HAG	-1.027	47218	21115	63.437	21112	-379	42235	1992.5
HAG	-0.480	47343	21173	63.435	21172	-177	42345	1997.5
LAM	-7.668	46747	19997	64.674	19818	-2668	42254	1965.0
LAM	-7.498	46803	20059	64.622	19887	-2618	42287	1967.5
LAM	-7.073	46961	20234	64.477	20080	-2491	42378	1972.5
LAM	-6.440	47091	20394	64.337	20265	-2287	42446	1977.5
LAM	-5.649	47160	20451	64.300	20352	-2013	42495	1982.5
LAM	-4.950	47228	20516	64.253	20439	-1771	42539	1987.5
LAM	-4.326	47321	20536	64.280	20478	-1549	42633	1992.5
LAM	-3.620	47415	20610	64.236	20569	-1301	42702	1997.5
LEF	-6.647	46872	19922	64.848	19788	-2306	42428	1965.0
LEF	-6.480	46930	19979	64.804	19851	-2255	42465	1967.5
LEF	-6.115	47090	20149	64.667	20034	-2146	42562	1972.5
LEF	-5.473	47232	20290	64.559	20198	-1935	42652	1977.5
LEF	-4.702	47308	20344	64.530	20276	-1668	42710	1982.5
LEF	-4.028	47386	20392	64.512	20341	-1432	42774	1987.5
LEF	-3.459	47483	20405	64.550	20368	-1231	42876	1992.5
LEF	-2.765	47588	20470	64.522	20447	-988	42960	1997.5
LEM	-5.037	45843	21703	61.743	21619	-1906	40380	1965.0
LEM	-4.838	45892	21766	61.687	21688	-1836	40402	1967.5
LEM	-4.489	46040	21928	61.557	21861	-1716	40483	1972.5
LEM	-3.972	46176	22067	61.452	22014	-1529	40562	1977.5
LEM	-3.208	46258	22122	61.430	22087	-1238	40625	1982.5
LEM	-2.592	46352	22178	61.415	22155	-1003	40702	1987.5
LEM	-2.069	46462	22193	61.467	22179	-801	40819	1992.5
LEM	-1.449	46566	22259	61.445	22252	-563	40902	1997.5

Code ^a	D ^b	F ^c	H ^d	I ^e	X ^f	Y ^g	Z ^h	Années
LEO	-8.902	44877	22051	60.570	21785	-3412	39086	1948.0
LEO	-8.281	44932	22180	60.420	21949	-3195	39076	1953.0
LEO	-7.657	45056	22312	60.316	22113	-2973	39143	1958.0
LEO	-7.166	45138	22464	60.154	22281	-2802	39151	1963.0
LEO	-6.895	45149	22527	60.069	22364	-2704	39127	1965.0
LEO	-6.743	45193	22587	60.014	22431	-2652	39144	1967.5
LEO	-6.266	45326	22774	59.838	22638	-2486	39189	1972.5
LEO	-5.648	45423	22952	59.649	22841	-2259	39198	1977.5
LEO	-4.877	45477	23027	59.578	22944	-1958	39216	1982.5
LEO	-4.192	45540	23116	59.499	23054	-1690	39242	1987.5
LEO	-3.610	45632	23158	59.502	23112	-1458	39318	1992.5
LEO	-2.898	45713	23244	59.437	23215	-1175	39362	1997.5
LIZ	-2.635	47516	20438	64.525	20416	-939	42897	1992.5
LIZ	-2.005	47625	20491	64.516	20479	-717	42992	1997.5
MAH	-3.720	46973	20325	64.361	20282	-1319	42348	1967.5
MAH	-3.440	47135	20461	64.272	20424	-1228	42462	1972.5
MAH	-2.903	47294	20575	64.212	20549	-1042	42584	1977.5
MAH	-2.240	47396	20605	64.232	20590	-805	42683	1982.5
MAH	-1.678	47490	20631	64.251	20622	-604	42774	1987.5
MAH	-1.205	47604	20621	64.331	20616	-434	42906	1992.5
MAH	-0.639	47724	20666	64.339	20665	-230	43017	1997.5
MAI	-4.873	46690	20449	64.025	20375	-1737	41974	1965.0
MAI	-4.741	46744	20502	63.985	20432	-1695	42008	1967.5
MAI	-4.342	46901	20644	63.886	20585	-1563	42113	1972.5
MAI	-3.795	47055	20776	63.799	20730	-1375	42220	1977.5
MAI	-3.093	47144	20816	63.798	20786	-1123	42300	1982.5
MAI	-2.497	47236	20855	63.800	20835	-909	42383	1987.5
MAI	-1.968	47348	20855	63.867	20843	-716	42508	1992.5
MAI	-1.372	47461	20911	63.858	20905	-501	42606	1997.5
MAR	-7.060	46660	19381	65.458	19234	-2382	42444	1948.0
MAR	-6.387	46774	19460	65.415	19339	-2165	42534	1953.0
MAR	-5.853	46916	19544	65.382	19442	-1993	42651	1958.0
MAR	-5.362	47039	19660	65.295	19574	-1837	42733	1963.0
MAR	-5.172	47073	19712	65.244	19632	-1777	42747	1965.0
MAR	-5.047	47132	19761	65.212	19684	-1738	42789	1967.5
MAR	-4.700	47301	19910	65.107	19843	-1631	42907	1972.5
MAR	-4.160	47453	20038	65.022	19985	-1454	43015	1977.5
MAR	-	-	-	-	-	-	-	1979.5
MAR	-3.466	47545	20079	65.020	20042	-1214	43097	1982.5
MAR	-2.852	47629	20115	65.019	20090	-1001	43174	1987.5
MAR	-2.314	47737	20113	65.082	20096	-812	43294	1992.5
MAR	-1.688	47850	20164	65.077	20155	-594	43394	1997.5

Code ^a	D ^b	F ^c	H ^d	I ^e	X ^f	Y ^g	Z ^h	Années
MIG	-8.853	45570	20995	62.567	20745	-3231	40446	1948.0
MIG	-8.208	45634	21104	62.454	20888	-3013	40461	1953.0
MIG	-7.582	45760	21209	62.388	21024	-2798	40548	1958.0
MIG	-7.090	45855	21364	62.231	21201	-2637	40574	1963.0
MIG	-6.880	45877	21426	62.158	21272	-2567	40566	1965.0
MIG	-6.725	45935	21490	62.106	21342	-2517	40598	1967.5
MIG	-6.265	46082	21671	61.948	21542	-2365	40668	1972.5
MIG	-5.642	46197	21826	61.806	21720	-2146	40716	1977.5
MIG	-4.887	46264	21903	61.742	21823	-1866	40750	1982.5
MIG	-4.186	46338	21975	61.692	21917	-1604	40799	1987.5
MIG	-3.606	46435	22003	61.716	21959	-1384	40891	1992.5
MIG	-2.913	46530	22084	61.666	22055	-1122	40956	1997.5
NAN	-8.792	46025	20458	63.609	20218	-3127	41228	1953.0
NAN	-8.200	46151	20570	63.531	20360	-2934	41313	1958.0
NAN	-7.720	46241	20724	63.373	20536	-2784	41337	1963.0
NAN	-7.490	46276	20783	63.313	20606	-2709	41346	1965.0
NAN	-7.240	46324	20846	63.256	20680	-2627	41369	1967.5
NAN	-6.811	46463	21028	63.090	20879	-2493	41432	1972.5
NAN	-6.150	46585	21193	62.939	21070	-2269	41484	1977.5
NAN	-5.366	46652	21265	62.881	21170	-1986	41523	1982.5
NAN	-4.950	46680	21317	62.828	21237	-1839	41528	1985.5
NAN	-4.686	46711	21337	62.820	21266	-1743	41553	1987.5
NAN	-4.075	46803	21367	62.837	21313	-1518	41641	1992.5
NAN	-3.345	46898	21456	62.774	21420	-1252	41702	1997.5
NEU	-8.356	46610	19196	65.680	18992	-2790	42474	1948.0
NEU	-7.695	46701	19287	65.607	19113	-2583	42532	1953.0
NEU	-7.135	46831	19377	65.556	19227	-2407	42634	1958.0
NEU	-6.658	46955	19508	65.452	19376	-2262	42711	1963.0
NEU	-6.468	46991	19562	65.399	19437	-2204	42726	1965.0
NEU	-6.336	47047	19610	65.366	19490	-2164	42765	1967.5
NEU	-5.932	47214	19775	65.239	19669	-2044	42873	1972.5
NEU	-5.322	47359	19914	65.134	19828	-1847	42969	1977.5
NEU	-4.581	47440	19960	65.118	19896	-1594	43037	1982.5
NEU	-3.925	47521	20004	65.105	19957	-1369	43105	1987.5
NEU	-3.342	47623	20013	65.150	19979	-1167	43214	1992.5
NEU	-2.673	47726	20069	65.134	20047	-936	43302	1997.5
NUR	-5.948	46148	21180	62.680	21066	-2195	41001	1965.0
NUR	-5.796	46201	21238	62.633	21129	-2145	41030	1967.5
NUR	-5.385	46352	21409	62.492	21315	-2009	41112	1972.5
NUR	-4.787	46480	21562	62.361	21487	-1799	41176	1977.5
NUR	-4.327	46534	21615	62.322	21553	-1630	41209	1980.5
NUR	-4.042	46553	21614	62.336	21560	-1524	41231	1982.5
NUR	-3.656	46604	21660	62.304	21616	-1381	41264	1985.5
NUR	-3.386	46635	21676	62.305	21638	-1280	41295	1987.5
NUR	-2.827	46743	21695	62.346	21668	-1070	41403	1992.5
NUR	-2.176	46847	21770	62.309	21754	-827	41481	1997.5

Code ^a	D ^b	F ^c	H ^d	I ^e	X ^f	Y ^g	Z ^h	Années
PLO	-9.255	46647	20131	64.433	19869	-3238	42079	1965.0
PLO	-8.968	46695	20202	64.365	19955	-3149	42099	1967.5
PLO	-8.488	46850	20392	64.198	20169	-3010	42179	1972.5
PLO	-7.802	46965	20567	64.029	20377	-2792	42222	1977.5
PLO	-6.988	47020	20639	63.963	20486	-2511	42249	1982.5
PLO	-6.257	47073	20718	63.889	20594	-2258	42269	1987.5
PLO	-5.602	47155	20755	63.887	20656	-2026	42342	1992.5
PLO	-4.840	47224	20838	63.816	20764	-1758	42378	1997.5
QUI	-2.420	44669	23650	58.031	23629	-999	37894	1965.0
QUI	-2.235	44740	23708	58.001	23690	-925	37942	1967.5
QUI	-1.870	44872	23844	57.901	23831	-778	38013	1972.5
QUI	-1.427	45015	23973	57.822	23966	-597	38100	1977.5
QUI	-0.809	45125	24027	57.830	24024	-339	38197	1982.5
QUI	-0.365	45193	24055	57.840	24055	-153	38258	1986.5
QUI	-0.008	45354	24080	57.929	24080	-3	38430	1992.5
QUI	0.537	45466	24137	57.936	24136	226	38531	1997.5
RIE	-7.371	44996	21957	60.792	21776	-2817	39275	1948.0
RIE	-6.753	45089	22085	60.672	21932	-2597	39310	1953.0
RIE	-6.157	45216	22183	60.620	22055	-2379	39401	1958.0
RIE	-5.651	45319	22317	60.499	22209	-2198	39443	1963.0
RIE	-5.442	45346	22376	60.433	22275	-2122	39441	1965.0
RIE	-5.350	45408	22432	60.395	22334	-2092	39480	1967.5
RIE	-4.882	45536	22604	60.238	22522	-1922	39531	1972.5
RIE	-	-	-	-	-	-	-	1977.5
RIE	-3.887	45715	22826	60.045	22773	-1549	39610	1980.5
RIE	-3.594	45718	22846	60.020	22801	-1432	39600	1982.5
RIE	-2.948	45818	22907	60.005	22877	-1178	39683	1987.5
RIE	-2.395	45928	22931	60.048	22911	-958	39794	1992.5
RIE	-1.789	46031	23010	60.008	22999	-718	39867	1997.5
SAI	-6.483	45480	22081	60.954	21940	-2493	39760	1965.0
SAI	-6.331	45525	22137	60.905	22002	-2441	39780	1967.5
SAI	-5.862	45662	22323	60.733	22206	-2280	39833	1972.5
SAI	-5.260	45769	22480	60.583	22385	-2061	39868	1977.5
SAI	-4.777	45802	22531	60.533	22453	-1876	39877	1980.5
SAI	-4.478	45826	22552	60.520	22483	-1761	39893	1982.5
SAI	-3.786	45897	22629	60.461	22580	-1494	39934	1987.5
SAI	-3.218	45992	22656	60.487	22621	-1272	40024	1992.5
SAI	-2.548	46089	22743	60.431	22721	-1011	40087	1997.5
SAL	-5.810	45722	21768	61.570	21656	-2204	40208	1965.0
SAL	-5.644	45777	21832	61.516	21726	-2147	40236	1967.5
SAL	-5.219	45918	22001	61.371	21850	-2001	40304	1972.5
SAL	-	-	-	-	-	-	-	1977.5
SAL	-4.200	46090	22222	61.175	22162	-1627	40379	1980.5
SAL	-3.908	46118	22229	61.183	22177	-1515	40408	1982.5
SAL	-3.260	46196	22295	61.147	22259	-1268	40465	1987.5
SAL	-2.697	46306	22320	61.183	22295	-1050	40570	1992.5
SAL	-2.007	46416	22436	61.094	22422	-786	40633	1997.5

Code ^a	D ^b	F ^c	H ^d	I ^e	X ^f	Y ^g	Z ^h	Années
SEG	-10.376	46160	19891	64.474	19566	-3583	41654	1948.0
SEG	-9.760	46251	20020	64.351	19730	-3394	41694	1953.0
SEG	-9.146	46380	20139	64.264	19883	-3201	41779	1958.0
SEG	-8.633	46470	20296	64.103	20066	-3047	41803	1963.0
SEG	-8.470	46502	20361	64.033	20139	-2999	41808	1965.0
SEG	-8.208	46552	20434	63.963	20225	-2917	41827	1967.5
SEG	-7.797	46704	20620	63.800	20429	-2797	41906	1972.5
SEG	-7.110	46822	20786	63.645	20626	-2573	41955	1977.5
SEG	-6.292	46884	20857	63.585	20731	-2286	41989	1982.5
SEG	-5.867	46916	20913	63.529	20803	-2138	41998	1985.5
SEG	-5.599	46940	20932	63.518	20832	-2030	42016	1987.5
SEG	-4.961	47031	20965	63.528	20886	-1813	42100	1992.5
SEG	-4.234	47114	21041	63.474	20984	-1553	42155	1997.5
TUC	-6.991	44553	22771	59.263	22602	-2772	38294	1948.0
TUC	-6.390	44615	22875	59.155	22733	-2546	38304	1953.0
TUC	-5.808	44754	22989	59.091	22871	-2326	38398	1958.0
TUC	-5.315	44844	23120	58.965	23021	-2142	38425	1963.0
TUC	-5.108	44875	23179	58.900	23087	-2064	38425	1965.0
TUC	-4.901	44924	23227	58.867	23142	-1984	38453	1967.5
TUC	-4.507	45057	23409	58.698	23337	-1840	38499	1972.5
TUC	-3.957	45178	23557	58.572	23501	-1626	38550	1977.5
TUC	-3.234	45248	23628	58.520	23591	-1333	38588	1982.5
TUC	-2.613	45344	23701	58.486	23677	-1081	38659	1987.5
TUC	-2.084	45450	23730	58.525	23715	-863	38763	1992.5
TUC	-1.465	45550	23812	58.482	23804	-609	38830	1997.5
VIL	-6.291	45414	21500	61.743	21371	-2356	40002	1948.0
VIL	-5.641	45486	21592	61.660	21487	-2122	40034	1953.0
VIL	-5.105	45629	21680	61.632	21594	-1929	40150	1958.0
VIL	-4.600	45747	21798	61.544	21728	-1748	40220	1963.0
VIL	-4.448	45784	21841	61.508	21775	-1694	40239	1965.0
VIL	-4.290	45835	21892	61.470	21831	-1638	40269	1967.5
VIL	-3.885	45979	22051	61.341	22000	-1494	40346	1972.5
VIL	-3.357	46124	22187	61.247	22149	-1299	40437	1977.5
VIL	-2.722	46214	22232	61.245	22207	-1056	40515	1982.5
VIL	-2.149	46309	22277	61.246	22261	-835	40599	1987.5
VIL	-1.650	46427	22292	61.304	22282	-642	40724	1992.5
VIL	-1.081	46532	22347	61.298	22343	-422	40815	1997.5

^a code de la station

^b déclinaison, en degrés décimaux

^c intensité du champ total, en nanoteslas

^d composante horizontale, en nanoteslas

^e inclinaison, en degrés décimaux

^f composante horizontale Nord-Sud, en nanoteslas

^g composante horizontale Est-Ouest, en nanoteslas

^h composante verticale, en nanoteslas

1.4. CINQUANTE ANS DE MESURES MAGNÉTIQUES DANS LE RÉSEAU DE RÉPÉTITION FRANÇAIS

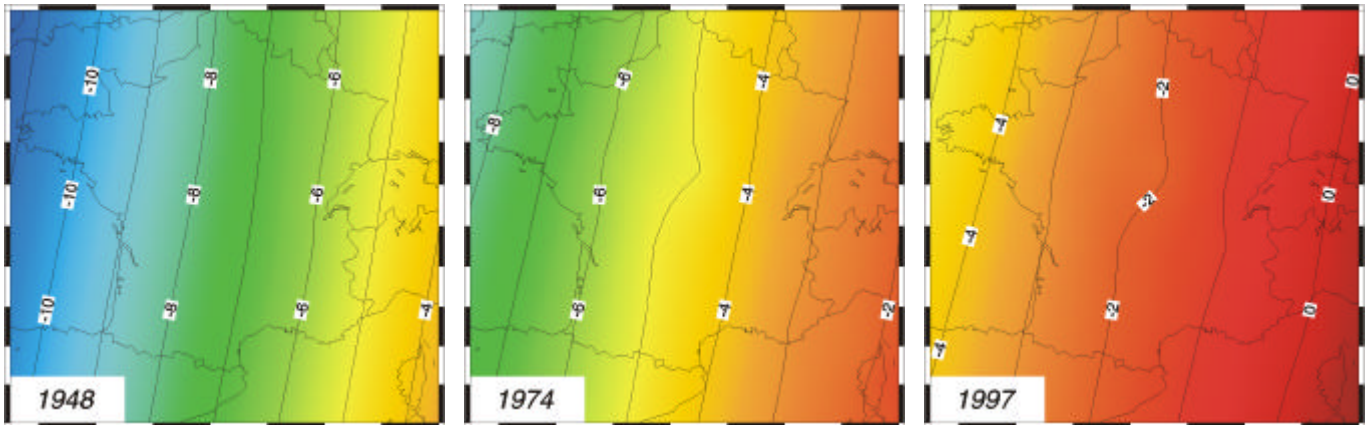
La modélisation du champ géomagnétique souffre de la mauvaise répartition des données à la surface de la Terre. La qualité des modèles de champ principal et de sa variation séculaire dépend évidemment de la distribution des stations : plus la distribution en est dense et uniforme, meilleur est le modèle. La distribution actuelle des observatoires montre qu'il y a beaucoup de régions dans lesquelles cette condition n'est pas assurée, loin s'en faut. Dans les régions dépourvues d'observatoires, les mesures faites dans les stations de répétition peuvent être utilisées pour la modélisation du champ à l'échelle globale ou régionale, ainsi que pour l'élaboration des cartes magnétiques.

La dernière campagne de mesures en France métropolitaine a été effectuée en 1997, un demi-siècle après l'installation du réseau de répétition actuel. Les mesures réduites à l'époque 1997,5 ont été ajoutées à la base de données existante. Toutes les valeurs disponibles depuis 1948 ont été interpolées sur une période de 50 ans (20 valeurs interpolées pour chaque année). Ces valeurs sont utilisées pour construire des images de variation des composantes magnétiques. Un film d'animation a été réalisé à partir de ces images (M. Manda Alexandescu & S. Gilder). Ce film montre les changements des composantes D, I, F sur une période de 50 ans et il est visible sur le site web de l'IPGP.

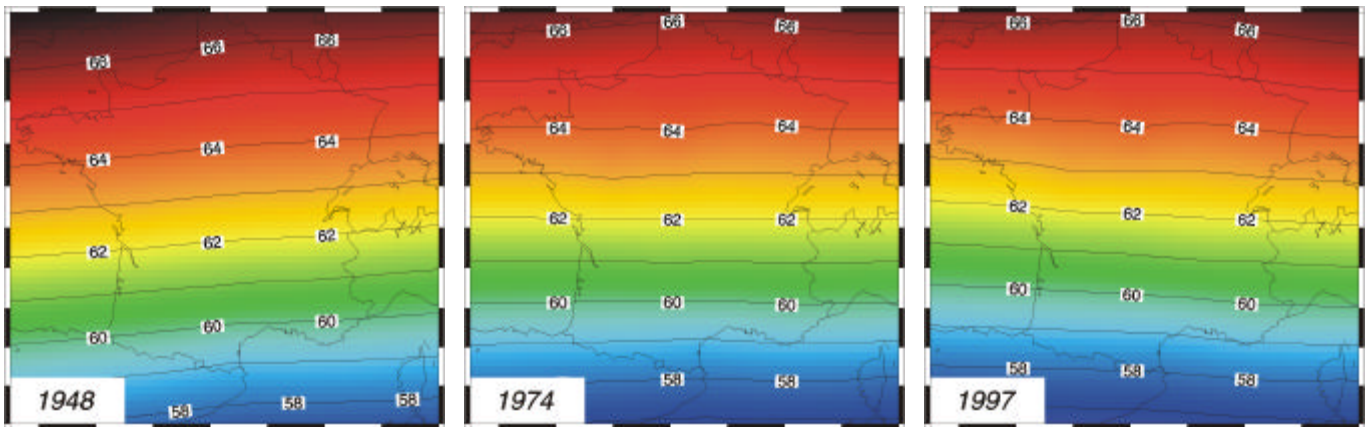
La figure 2 montre l'évolution des valeurs des trois composantes D, I, F (cartes établies à l'aide des seules mesures dans les stations de répétition) pour trois époques choisies, i.e. 1948, 1974, 1997, une analyse succincte de ces variations est donnée ci-dessous :

- La déclinaison a varié de presque $5,5^\circ$ en 50 ans. Sur le territoire français les valeurs de la déclinaison sont actuellement négatives à l'exception de la Corse, où les premières valeurs positives de déclinaison ont été mesurées pendant la campagne de 1997. En considérant le taux de variation de la déclinaison, l'agone (l'iso-ligne de déclinaison nulle) passera par Paris vers 2015. Notons aussi que l'installation en 1958 d'une station de répétition à Garchy (à environ 200 km au sud de Paris) a permis de reconnaître l'influence de l'anomalie du bassin de Paris sur le tracé des isogones dans cette région (dans la figure 2 les isogones tracées pour 1948 ne sont pas déviées dans cette région).
- L'inclinaison a changé d'environ 1° dans le même intervalle de 50 ans. Il est intéressant de noter que si l'inclinaison a diminué au cours du temps et en fonction de la latitude jusqu'en 1987, après cette date elle augmente jusqu'en 1992, pour diminuer à nouveau après.
- L'intensité du champ total a aussi subi des changements dans cette même période. Les valeurs d'intensité ont augmenté d'environ 1000 nT (2%) dans une station donnée, mais le taux de variation n'a pas été constant. Comme pour l'inclinaison un changement de ce taux de variation en fonction de la latitude est à noter. Mais, comme pour la déclinaison, un changement dans la direction des iso-lignes apparaît dans la région de Garchy, après l'installation de cette station.

Déclinaison - Declination



Inclinaison - Inclination



Intensité du champ total – Total intensity field

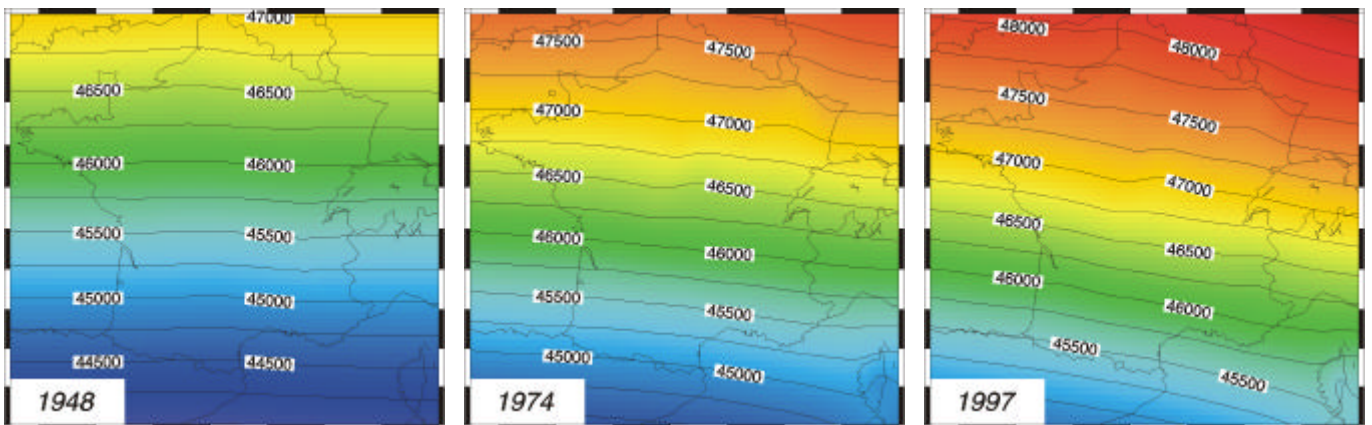


Figure 2. Cartes de la déclinaison (D, en degrés), de l'inclinaison (I, en degrés) et de l'intensité du champs total (F, en nT) pour les années 1948, 1974 et 1997.

Declination (D, in degrees), inclination (I, in degrees) and total field (F, in nT) maps for the years 1948, 1974 and 1997.

La figure 3 montre les variations temporelles de ces trois composantes D, I et F. On observe bien que le taux de variation n'est pas identique sur tout le territoire, et que des inflexions apparaissent quelquefois dans l'allure des courbes. Les données de Chambon la Forêt, régulières et d'une remarquable qualité, ont permis de mettre en évidence des changements brutaux dans la variation séculaire du champ magnétique principal et ainsi de reconnaître l'existence des secousses géomagnétiques dans les séries d'observatoires [Courtilot et al., 1978] .

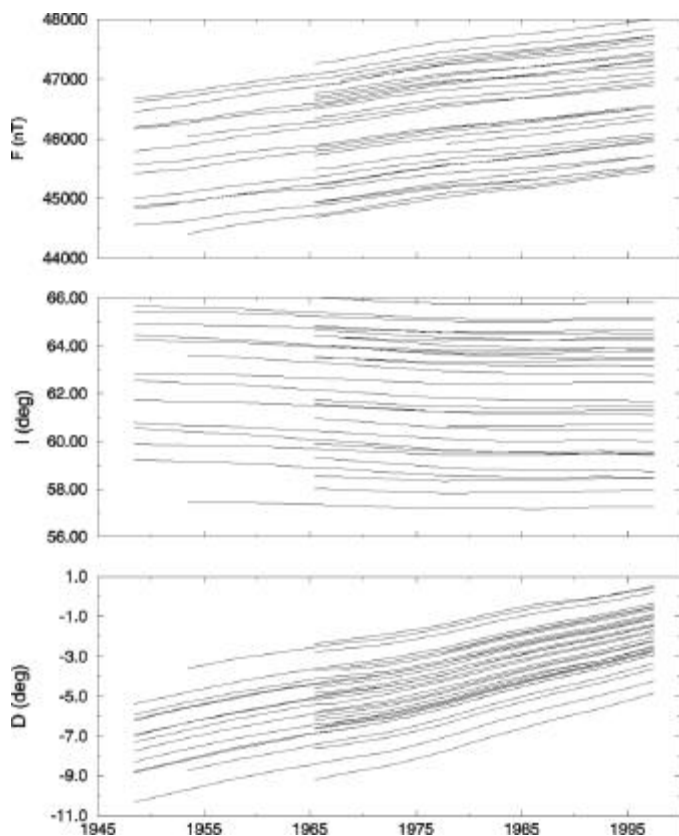


Figure 3. Variations temporelles de la déclinaison, de l'inclinaison et de l'intensité du champ total.
Temporal variations for declination, inclination and total field intensity.

Une autre utilité des mesures magnétiques dans les stations de répétition est la mise à jour de la carte de la variation de la déclinaison en France. La dernière carte publiée par l'Institut Géographique National (IGN) et l'IPGP a été établie pour l'époque 1995,5 (figure 4). Elle est déduite des données acquises lors du levé aéro-magnétique de la France, données qui ont été corrigées de la variation séculaire observée successivement en 1970,5, 1975,5 ... et finalement en 1992,5 dans les stations de répétition. On applique ensuite à ces données corrigées une extrapolation pour le 1^{er} janvier 1955, extrapolation basée sur une variation séculaire uniforme présumée valable pour la période 1992,5-1997,5. Les mesures faites pendant l'année 1997 seront utilisées pour l'édition de la nouvelle carte pour l'époque 2000.

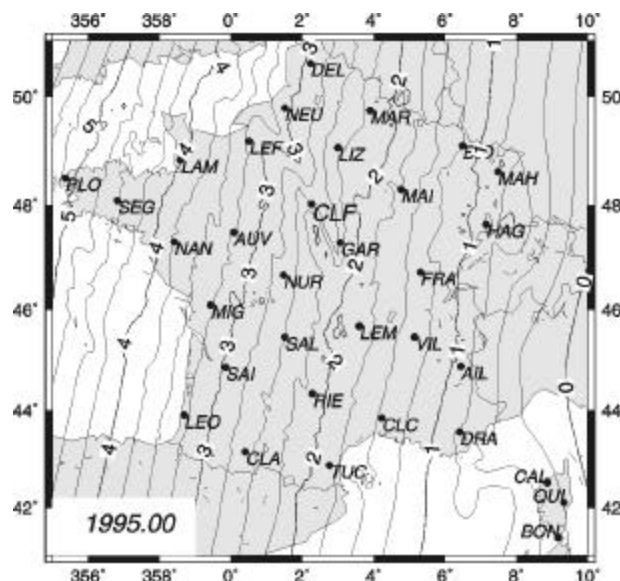


Figure 4. Carte de la déclinaison (D, en degrés) en France pour l'époque 1995,0.
Declination map (D, in degrees) in France for 1995.0 epoch.

DEUXIÈME PARTIE
ÉCOLE ET OBSERVATOIRE DES SCIENCES DE LA TERRE
MAGNÉTISME TERRESTRE

CAMPAGNES DE MESURES DANS LES STATIONS DE RÉPÉTITION
DES TERRES AUSTRALES ET ANTARCTIQUES FRANÇAISES
1994-1998

J. BITTERLY, A. PÉRÈS et M. BITTERLY

Les campagnes de mesures effectuées dans les stations de répétition des TAAF, entre 1994 et 1998, dont les résultats sont publiés dans cette partie, ont été menées à l'occasion de plusieurs missions, avec la collaboration des observateurs suivants :

J. Bitterly, E. Brossier, E. Chotin, R. Denkmann, J. Dumanowski, Ph. Gendreau, G. Hedreux, E. Kerzreho, F. Landré,
Ph. Mansuy, Ph. Mieussens, A. Pérès, A. Pierre, B. Piney, Ch. Rey, J-L. Rivault, S. Truong.

École et Observatoire des Sciences de la Terre
Service des observatoires magnétiques
5, rue René Descartes
F-67084 STRASBOURG CEDEX
Téléphone 33 (0)3 88 41 63 67 - Télécopie 33 (0)3 88 61 47 67

2.1. INTRODUCTION

Le service des observatoires magnétiques de l'École et Observatoire des Sciences de la Terre à Strasbourg (EOST) a la responsabilité scientifique de quatre observatoires magnétiques permanents (Port Alfred, Crozet ; Port-aux-Français, Kerguelen ; Martin de Viviers, île Amsterdam et Dumont d'Urville, Terre Adélie) installés dans les Terres australes et antarctiques françaises (TAAF). Le fonctionnement de ces observatoires est pris en charge par l'Institut Français pour la Recherche et la Technologie Polaires (IFRTP).

L'EOST maintient également les stations magnétiques de répétition associées à ces observatoires.

L'ensemble des observations sont exploitées par l'EOST et sont régulièrement publiées dans les bulletins du Bureau Central de Magnétisme Terrestre (BCMT) qui coordonne, au plan national, les activités des observatoires magnétiques français. Les données des campagnes 1981-1989 et 1990-1993 ont été publiées dans les bulletins BCMT n° 5 et n° 8.

Les observatoires magnétiques français installés dans les îles subantarctiques (Port Alfred dans l'archipel des Crozet, Port-aux-Français aux îles Kerguelen et Martin de Viviers à l'île Amsterdam) sont situés sur des terrains basaltiques où le gradient de champ est important : les anomalies locales observées peuvent être supérieures à 1000 nT sur quelques kilomètres. Dans ces conditions il est essentiel de vérifier que la variation séculaire déterminée à partir des données de ces observatoires est bien représentative [Bitterly et al., 1987]. Pour cette raison, mais également pour se prémunir à terme des risques possibles de modification de l'environnement magnétique de ces observatoires isolés, nous avons décidé de mettre en place des stations magnétiques de répétition à proximité de chacun d'eux. Le choix du site de ces stations a été fait en tenant compte d'une part des possibilités logistiques d'accès et d'autre part en privilégiant les sites de mesures "historiques" antérieurement visités par des expéditions scientifiques. Compte tenu de l'existence d'un gradient de champ élevé il est évident qu'une attention particulière doit être apportée au repositionnement des appareils de mesure (théodolite, sonde du magnétomètre à protons) lors des réoccupations successives.

Pour l'Antarctique (secteur de la Terre Adélie et secteur de la Terre du Roi Georges V), la même ligne de conduite a été adoptée.

Ces stations ne sont généralement accessibles que durant l'été austral et elles ne peuvent pas toujours être réoccupées régulièrement. La durée du séjour à chaque station est très variable ; selon le cas, des mesures complètes des éléments du champ magnétique terrestre ou seulement des mesures de l'intensité du champ total ont pu être effectuées.

Nous donnons ci-dessous les éléments historiques se rapportant aux mesures effectuées dans les stations de répétition du réseau des TAAF :

- Archipel des Crozet

Stations de la Baie Américaine 1 et 2, île de la Possession :

Station Baie Américaine 1 (BUS):

Une dalle de mesure a été installée en 1985 à environ 500 mètres au sud-est de la station magnétique créée et occupée les 2 et 3 novembre 1929 par R.G. Simmers, membre de l'expédition australienne (B.A.N.Z.A.R. Expedition) conduite

par D. Mawson à bord du *Discovery* [Farr, 1944]. La valeur moyenne mesurée à cette époque pour l'inclinaison était de $-66^{\circ}14'$; elle était de 40360 nT pour le champ total F. La dalle mise en place en 1985, à proximité du rivage, se trouve sur un terrain basaltique sablonneux qui est fréquemment remodelé par le vent et il est nécessaire de désensabler la dalle régulièrement. Le gradient de champ varie entre 20 et 60 nT/m suivant la direction considérée.

Station Baie Américaine 2 (B29):

En 1995 une borne a été mise en place à proximité de l'emplacement du point de mesure choisi en 1929 par la B.A.N.Z.A.R.E.. Ce nouveau point de mesure est appelé B29.

Chaque fois que cela est possible les mesures sont effectuées à la fois sur le point BUS et sur le point B29. L'évolution de la différence de champ entre ces deux points devra être surveillée régulièrement afin d'évaluer s'il est possible d'effectuer un raccordement significatif de ces deux sites.

- Îles Kerguelen

Les emplacements des différents sites de mesures magnétiques aux îles Kerguelen sont repérés sur la figure 1.

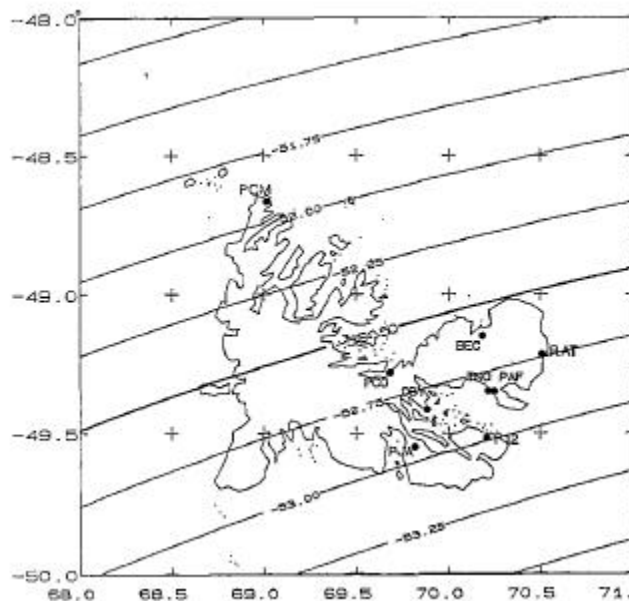


Figure 1. Localisation des stations magnétiques de répétition aux îles Kerguelen. Les isogones du champ magnétique sont celles du modèle I.G.R.F. 1985.0.

Location of magnetic repeat stations in Kerguelen islands.

Station de la Baie de l'Observatoire (OBY):

Les premières observations magnétiques sur le site de la Baie de l'Observatoire (Observatory Bay) ont été faites par Perry en 1874 à l'occasion du séjour à Kerguelen de l'expédition anglaise "Transit of Venus". Les valeurs moyennes des éléments magnétiques en 1875 étaient : $D = -35^{\circ}48'$, $I = -71^{\circ}56'$ et $F = 51378$ nT [Perry, 1877]. Cette station est appelée "KERGUELEN 1" dans les fichiers du WDCA. En 1902-1903 l'expédition allemande conduite par E. Drygalski et déposée par le *Gauss* a établi un observatoire magnétique à la Baie de l'Observatoire. L'abri de mesures absolues a été

installé par K. Luyken à une centaine de mètres du site occupé par Perry en 1875. Cet observatoire est répertorié sous le nom "KERGUELEN 2" dans les fichiers du WDCA. Les valeurs moyennes des éléments magnétiques calculés pour 1902.5 sont : $D = -36^{\circ}58'$, $I = -70^{\circ}27'$ et $H = 16239$ nT [Luyken, 1906]. En 1930 l'expédition australienne conduite par D. Mawson, à bord du *Discovery*, réoccupa le site de la Baie de l'Observatoire. La "Station C" occupée par G. Simmers le 21 février 1930 était proche de l'emplacement occupé par Perry en 1875; Simmers observait pour ce 21 février 1930: $I = -67^{\circ}43'$ et $F = 45940$ nT. Les mesures de D effectuées en 1985 sont les premières mesures faites sur ce site depuis 1930.

Station de Port Jeanne d'Arc (PJA):

Cette station a été créée et occupée en 1930 lors du passage de l'expédition australienne (B.A.N.Z.A.R. Expedition) à bord du *Discovery* [Farr, 1944]. Le 17 février 1930 on observait, à l'emplacement appelé « Station 2 » par Simmers, une inclinaison moyenne de $-67^{\circ}58'$ et un champ total de 46000 nT. En 1947 l'expédition australienne de l'A.N.A.R.E. installait une borne repère proche du point « Station 2 » occupé en 1930. En janvier 1948 les éléments magnétiques mesurés sur cette borne par N.G. Chamberlain étaient : $D = -47^{\circ}40'$, $I = -67^{\circ}19'$ et $Z = -43299$ nT [Chamberlain, 1952; Jacka, 1953]. En 1950 l'A.N.A.R.E. réoccupait la station de Port Jeanne d'Arc et les observateurs G.F. Schaefer et H. Doyle mesuraient $D = -48^{\circ}08'$, $I = -67^{\circ}24'$ et $H = 18150$ nT le 28 février 1950. C'est cette borne, appelée « station D » dans la publication de Jacka, qui a servi par la suite de point de mesure pour la station de Port Jeanne d'Arc. En 1962 une réoccupation complète du site a été effectuée par l'Institut de Physique du Globe de Paris [Schlich, 1964]. Aucune réoccupation n'a pu être effectuée entre 1962 et 1981. La station a été réoccupée régulièrement depuis cette date.

Station de Port Christmas (PCM):

Les mesures magnétiques les plus anciennes disponibles pour les îles Kerguelen ont été effectuées sur ce site situé au nord de l'île. Le point de mesure actuel a été installé en 1993 à proximité de l'emplacement supposé du point de mesure utilisé par Ross en 1840. En mai 1840 la valeur de la déclinaison était voisine de $-31^{\circ}41'$ et celle de l'inclinaison voisine de $-70^{\circ}43'$ [Ross, 1847; Sabine, 1843].

Site de Port Douzième (P12):

Le point de mesure a été installé en 1993 à proximité de l'emplacement supposé du site de mesure « Thumb Peak » occupé par Perry lors de l'expédition anglaise organisée en 1874 pour observer le passage de Vénus devant le Soleil. L'inclinaison mesurée par Perry [1877] le 21 décembre 1874 était de $-71^{\circ}06'$.

Site de Ratmanoff (RAT):

Ce site de la côte est des Kerguelen a été occupé en 1993, c'est le site de mesure le plus oriental de l'île et pour lequel nous ne disposons d'aucune donnée de champ magnétique.

Station « KGL absolute Hut » (KGL):

Il s'agit de l'ancien pilier de mesures absolues de l'observatoire magnétique (KGL) installé en 1957 à l'occasion de l'Année Géophysique Internationale. Il nous a

paru utile de préserver et de réoccuper régulièrement ce pilier utilisé comme référence de l'observatoire de Kerguelen jusqu'en 1987.

- Île Saint Paul

Trois sites de mesures existent à l'île Saint Paul (SP1, SP2, SP3).

Station SP1:

La station SP1, créée en 1986, a été installée sur la barrière rocheuse qui limite l'entrée du cratère immergé, à environ 200 mètres au Sud de l'emplacement de l'abri de mesure construit en 1857 à l'occasion du voyage autour du monde de la frégate autrichienne *Novara*. Le site exact de l'abri de mesures de 1857 n'a toutefois pas encore été repéré. Entre le 28 novembre et le 6 décembre 1857 des mesures de la déclinaison, de l'inclinaison et de la composante horizontale H furent effectuées par F. von Hochstetter [1862]. Les valeurs moyennes trouvées à cette époque étaient de l'ordre de $-23^{\circ}25'$ pour D et de $-66^{\circ}54'$ pour I.

Station SP2:

En 1992 une autre dalle de mesure a été installée à l'île Saint Paul : en effet la dalle construite en 1986 (SP1) a été dégradée à plusieurs reprises par les fortes tempêtes d'hiver car elle n'est située qu'à trois mètres au dessus du niveau de la mer. La conservation de ce site étant donc incertaine on a construit une nouvelle dalle de mesures sur un emplacement commode d'accès et présentant de bonnes conditions de préservation car l'emplacement retenu est situé à trente mètres au dessus du niveau de la mer.

Point de mesure SP3:

En 1874 l'expédition française dirigée par le Ct Mouchez séjourna à Saint Paul pour observer le passage de Vénus sur le Soleil et A. Cazin [1875] installa un abri de mesure situé à environ 150 m à l'ouest de l'abri de 1857. Cazin effectua de nombreuses mesures de la déclinaison. La moyenne de ces mesures permet d'estimer à $-25^{\circ}40'$ la valeur de la déclinaison à cet endroit et à cette époque (novembre 1874). La réoccupation de ce site, identifié par le point SP3, a pu être effectuée en 1997.

Compte tenu du fort gradient local sur les pentes du cratère de l'île Saint Paul on continuera d'effectuer, chaque fois que cela sera possible, des mesures sur chacun des sites SP1, SP2 et SP3, afin de préciser les raccordements de ces différents points de mesure et de connaître l'évolution éventuelle de la différence de champ existant entre ces trois sites.

- Antarctique, secteur de la Terre Adélie

Station de Port Martin (PMN):

On utilise le pilier absolu de l'observatoire magnétique installé en 1951 par les Expéditions Polaires Françaises [Mayaud, 1954]. Les valeurs moyennes du champ magnétique à l'observatoire de Port Martin en 1952, calculées par Mayaud, étaient : $X = 845$ nT, $Y = 646$ nT et $F = 69183$ nT. Il a fallu attendre 1985 pour réoccuper le site de Port Martin. Des mesures ont ensuite été effectuées en 1989 (F uniquement), 1990 (X, Y, Z, F), 1991 (F), 1992 (X, Y, Z, F). Les tentatives faites en 1993 et en 1994 pour

réoccuper la station de Port Martin n'ont pas permis d'accéder au site de mesures. Une réoccupation complète a été effectuée en janvier 1998.

Les mesures des composantes horizontales à Port Martin sont importantes pour préciser les déplacements du pôle magnétique de surface.

- Antarctique, secteur de la Terre du Roi Georges V

Station de Cap Denison :

Les expéditions australiennes (A.A.E.) installèrent et assurèrent le fonctionnement de l'observatoire de Cap Denison (Commonwealth Bay) entre 1911 et 1914. En 1912, Webb mesurait à l'observatoire de Cap Denison: $D = -6^{\circ}32'$, $I = -87^{\circ}22'$ et $H = 3099$ nT. En 1931 l'expédition australienne (B.A.N.Z.A.R. Expedition) conduite par Mawson à bord du *Discovery* séjourna à Cap Denison. Les résultats des mesures effectuées par Kennedy dans l'abri de mesures absolues utilisé en 1912 ont été publiés par Farr [1944] qui donne pour les observations effectuées le 05 janvier 1931 : $D = -6^{\circ}01'$, $I = -88^{\circ}05'$ et $H = 2455$ nT. En 1952 P.N. Mayaud (Expéditions Polaires Françaises) réoccupa cet abri et mesura : $X = 1240$ nT, $Y = 788$ nT et $F = 67352$ nT [Mayaud, 1954]. Une nouvelle réoccupation a été faite les 24 et 25 janvier 1959 par H. Larzillière et R. Lachaux. Les résultats, publiés dans les Annales de l'Institut de Physique du Globe de Paris [1964], indiquent au 01 janvier 1959 les valeurs moyennes suivantes : $X = 885$ nT, $Y = 1138$ nT et $F = 66454$ nT.

En 1989 seules des mesures de F ont pu être effectuées, elles doivent être interprétées avec prudence car les mesures du 16 janvier 1989 ont été faites à plus de 300 m de la station historique (Absolute Hut) de Cap Denison et l'on sait par ailleurs que les anomalies de surface (et donc les gradients de champ) sont importantes dans ce secteur. Aucune mesure sur ce site n'a été effectuée depuis 1989 par l'EOST.

- Antarctique, mesures magnétiques en raid entre Dumont d'Urville et le Dôme C

Située par 74.7° de latitude Sud et par 124.4° Est, la base franco-italienne Concordia, sur le site du Dôme C à 3270 m d'altitude, est à mi-distance entre l'observatoire de Dumont d'Urville et celui de Vostok. Lors des raids mécaniques entrepris en 1994 et 1996 entre Dumont d'Urville et le Dôme C, on a pu effectuer des mesures de champ total. Il ne s'agit pas à proprement parler de stations de répétition, cependant les résultats de ces mesures ont été rassemblés dans la troisième partie de ce bulletin (BCMT/EOST Master file 1998).

2.2. RÉOCCUPATIONS EFFECTUÉES ENTRE 1994 ET 1998: MÉTHODE DE MESURE, MISE EN ŒUVRE, RÉDUCTION DES OBSERVATIONS

Les mesures sur le terrain sont effectuées de la même manière qu'en métropole (voir la première partie de ce bulletin).

Durant les campagnes 1981-1998 les mesures absolues ont été réalisées avec le magnétomètre théodolite portable à vanne de flux pour la mesure des éléments du champ magnétique terrestre [Bitterly et al., 1984; Gilbert et al., 1988] ou avec le Déclinomètre-Inclinomètre à vanne de flux D-I MAG 88 construit par l'EOST [Cantin et al., 1991], et avec un magnétomètre à protons à précession libre. A partir de 1984, pour les stations de répétition de Port Jeanne d'Arc, de la Baie de l'Observatoire (Kerguelen) et de l'île Saint Paul, les variations du champ total F ont été enregistrées à l'aide d'un magnétomètre à protons à mémoire ELSEC 820 (échantillonnage toutes les minutes).

La mise en œuvre des instruments, les techniques de mesures et la réduction des observations sont celles définies dans l'article « Guide pour les campagnes de mesures faites dans les stations du réseau magnétique de répétition français » [Gilbert et Bitterly, 1994], paru dans le bulletin n° 5 du BCMT.

L'ensemble des résultats et les fiches de dépouillement complètes relatives à chacune des réoccupations sont disponibles sur demande auprès du BCMT.

2.3. RÉSULTATS DES CAMPAGNES 1994-1998

2.3.1. Liste et coordonnées des stations

RÉSEAU MAGNÉTIQUE DE RÉPÉTITION

TERRITOIRE DES TERRES AUSTRALES ET ANTARCTIQUES FRANÇAISES

LISTE DES STATIONS

ARCHIPEL CROZET

N	CODE	STATION	LAT (°)	LONG (°E)	ALT (m)
1	BUS	BAIE AMERICAINE 1	-46.387°	51.809°	6
2	B29	BAIE AMERICAINE 2	-46.388°	51.799°	35

ÎLES KERGUELEN

N	CODE	STATION	LAT (°)	LONG (°E)	ALT (m)
1	OBY	BAIE OBSERVATOIRE	-49.420°	69.889°	15
2	PJA	PORT JEANNE D'ARC	-49.552°	69.818°	9
3	PCM	PORT CHRISTMAS	-48.678°	69.025°	5
4	P12	PORT DOUZIEME	-49.516°	70.155°	10
5	RAT	RATMANOFF	-49.242°	70.562°	3
6	KGL	KGL Absolute Hut	-49.352°	70.215°	8

ÎLE SAINT PAUL

N	CODE	STATION	LAT (°)	LONG (°E)	ALT (m)
1	SP1	SAINT PAUL 1986	-38.714°	77.536°	3
2	SP2	SAINT PAUL 1992	-38.712°	77.535°	30
3	SP3	SAINT PAUL 1874	-38.712°	77.534°	50

TERRE ADÉLIE

N	CODE	STATION	LAT (°)	LONG (°E)	ALT (m)
1	PMN	PORT MARTIN	-66.817°	141.400°	15

TERRE DU ROI GEORGES V

N	CODE	STATION	LAT (°)	LONG (°E)	ALT (m)
1	CDE	CAP DENISON	-67.000°	142.667°	12

2.3.2. Valeurs des éléments magnétiques rapportés à l'époque 199a,5

STATIONS DE RÉPÉTITION

DES TERRES AUSTRALES ET ANTARCTIQUES FRANÇAISES

VALEURS DES ÉLÉMENTS MAGNÉTIQUES CALCULÉS POUR CHAQUE STATION DEPUIS SA CRÉATION

ARCHIPEL CROZET

Station de répétition de la Baie Américaine 1 (BUS)

Année	D(°)	H nT	Z nT	X nT	Y nT	I (°)	F nT
1986.5	-44.565	18189	-32050	12959	-12764	-60.423	36852
1989.5	-45.219	18177	-32063	12902	-12803	-60.451	36857
1990.5	-45.413	18177	-32055	12760	-12945	-60.444	36848
1991.5	-45.641	18178	-32051	12709	-12997	-60.440	36849
1993.5							36851
1994.5							36825
1995.5	-46.284						36839
1996.5	-46.501	18183	-32065	12516	-13189	-60.444	36862
1997.5	-46.732	18199	-32094	12474	-13251	-60.445	36895

Station de répétition de la Baie Américaine 2 (B29)

1995.5	-44.771	17561	-32566	12467	-12368	-61.664	36999
1996.5	-44.988	17577	-32583	12432	-12426	-61.656	37022

Observatoire de Port Alfred (CZT)

Année	D(°)	H nT	Z nT	X nT	Y nT	I (°)	F nT
1986.5	-44.055	16275	-33379	11696	-11316	-64.007	37135
1989.5	-44.760	16246	-33380	11536	-11440	-64.047	37124
1990.5	-44.990	16245	-33375	11489	-11485	-64.045	37118
1991.5	-45.230	16233	-33376	11431	-11525	-64.063	37114
1992.5	-45.447	16234	-33370	11389	-11568	-64.058	37110
1993.5	-45.657	16236	-33365	11348	-11611	-64.052	37106
1994.5	-45.867	16234	-33373	11305	-11651	-64.058	37112
1995.5	-46.073	16245	-33383	11270	-11700	-64.050	37126
1996.5	-46.290	16261	-33401	11236	-11754	-64.042	37149
1997.5	-46.528	16268	-33435	11193	-11806	-64.053	37183
1998.5	-46.787	16268	-33480	11139	-11856	-64.085	37224

ÎLES KERGUELEN

Station de répétition de la Baie de l'Observatoire (OBY)

Année	D(°)	H nT	Z nT	X nT	Y nT	I (°)	F nT
1985.5	-53.174						
1986.5	-53.334	18124	-43805	10821	-14538	-67.523	47406
1988.5	-53.693	18071	-43812	10700	-14563	-67.586	47393
1989.5	-53.887	18023	-43817	10623	-14560	-67.641	47379
1992.5	-54.394	17941	-43826	10445	-14587	-67.738	47355
1994.5	-54.694	17892	-43836	10341	-14601	-67.797	47347
1996.5	-55.030	17856	-43894	10234	-14632	-67.864	47387

Station de répétition de Port Jeanne d'Arc (PJA)

Année	D(°)	H nT	Z nT	X nT	Y nT	I (°)	F nT
1981.5	-53.880	18079	-44031	10657	-14604	-67.677	47597
1984.5							47501
1985.5	-54.358						47481
1986.5	-54.550	17987	-43932	10437	-14653	-67.737	47477
1988.5							47456
1989.5	-55.105	17891	-43946	10235	-14674	-67.848	47448
1992.5	-55.639	17814	-43952	10055	-14705	-67.937	47424
1993.5	-55.790	17792	-43948	10003	-14714	-67.960	47412
1996.5	-56.250	17736	-44013	9854	-14747	-68.052	47452
1998.5	-56.803	17678	-44118	9731	-14759	-68.164	47528

Station de répétition de Port Christmas (PCM)

Année	D(°)	H nT	Z nT	X nT	Y nT	I (°)	F nT
1993.5	-51.826	18139	-43223	11211	-14260	-67.235	46874
1994.5	-51.974	18105	-43267	11153	-14262	-67.293	46905
1996.5	-52.387	18074	-43391	11031	-14317	-67.387	47006

Station de répétition de Port Douzième (P12)

Année	D(°)	H nT	Z nT	X nT	Y nT	I (°)	F nT
1993.5	-54.810	17846	-44694	10285	-14585	-68.233	48124

Station de répétition de Ratmanoff (RAT)

Année	D(°)	H nT	Z nT	X nT	Y nT	I (°)	F nT
1993.5	-56.317	18121	-44940	10050	-15079	-68.040	48456

Site "ancien pilier de l'observatoire 1972" (KGL)

Année	D(°)	H nT	Z nT	X nT	Y nT	I (°)	F nT
1988.5	-52.553	18279	-43706	11114	-14512	-67.305	47373
1993.5	-53.422	18121	-43721	10798	-14552	-67.488	47327
1994.5	-53.565	18094	-43736	10746	-14557	-67.525	47332
1995.5							47346
1996.5	-53.862	18058	-43791	10649	-14583	-67.590	47368

Observatoire de Port-aux-Français (PAF)

Année	D(°)	H nT	Z nT	X nT	Y nT	I (°)	F nT
1981.5	-51.657	18829	-44783	11681	-14768	-67.195	48580
1984.5	-52.042	18777	-44698	11550	-14805	-67.213	48483
1985.5	-52.177	18761	-44689	11505	-14820	-67.227	48467
1986.5	-52.342	18736	-44689	11447	-14833	-67.253	48458
1988.5	-52.663	18674	-44695	11326	-14847	-67.323	48440
1989.5	-52.858	18631	-44706	11249	-14851	-67.377	48433
1990.5	-53.023	18603	-44707	11189	-14861	-67.407	48423
1991.5	-53.198	18566	-44714	11122	-14866	-67.450	48415
1992.5	-53.343	18543	-44714	11070	-14876	-67.475	48406
1993.5	-53.493	18519	-44714	11017	-14886	-67.501	48397
1994.5	-53.647	18493	-44729	10962	-14893	-67.538	48402
1995.5	-53.790	18474	-44752	10913	-14906	-67.568	48415
1996.5	-53.943	18456	-44784	10863	-14920	-67.603	48438
1997.5	-54.115	18428	-44834	10802	-14930	-67.655	48474
1998.5	-54.297	18392	-44981	10733	-14935	-67.720	48513

ÎLE SAINT PAUL

Station de répétition de Saint Paul (SP1)

Année	D(°)	H nT	Z nT	X nT	Y nT	I (°)	F nT
1986.5	-40.767	19681	-46368	14906	-12851	-67.002	50372
1987.5							50405
1989.5							50475
1990.5							50500
1991.5	-41.194	19474	-46630	14654	-12825	-67.334	50535
1992.5							50555
1993.5	-41.333	19405	-46714	14571	-12816	-67.442	50584
1994.5							50624
1996.5	-41.459	19310	-46919	14471	-12785	-67.630	50737
1997.5	-41.515	19272	-47022	14431	-12774	-67.713	50818

Station de répétition de Saint Paul (SP2)

1997.5	-42.720	19428	-46981	14273	-13180	-67.534	50840
--------	---------	-------	--------	-------	--------	---------	-------

Point de mesure à Saint Paul (SP3)

1997.5	-42.680	19446	-47758	14296	-13183	-67.845	51565
--------	---------	-------	--------	-------	--------	---------	-------

Observatoire de Martin de Viviers à l'île Amsterdam (AMS)

Année	D(°)	H nT	Z nT	X nT	Y nT	I (°)	F nT
1986.5	-40.973	19104	-47508	14424	-12526	-68.093	51205
1987.5	-41.028	19079	-47558	14393	-12524	-68.147	51242
1989.5	-41.203	18985	-47675	14284	-12506	-68.287	51316
1990.5	-41.273	18945	-47727	14238	-12497	-68.350	51350
1991.5	-41.355	18894	-47783	14182	-12484	-68.425	51383
1992.5	-41.412	18860	-47829	14144	-12475	-68.480	51413
1993.5	-41.472	18826	-47882	14106	-12467	-68.535	51450
1994.5	-41.537	18793	-47944	14067	-12461	-68.594	51496
1995.5	-41.582	18769	-48010	14039	-12456	-68.648	51548
1996.5	-41.622	18744	-48092	14012	-12450	-68.707	51616
1997.5	-41.677	18706	-48194	13972	-12438	-68.787	51698
1998.5	-41.727	18660	-48299	13926	-12419	-68.877	51779

TERRE ADÉLIE

Station de répétition de Port Martin (PMN)

Année	D(°)	H nT	Z nT	X nT	Y nT	I (°)	F nT
1985.5	137.624	1309	-67454	-883	967	-88.889	67475
1989.5							67296
1990.5	135.472	1449	-67267	-1016	1033	-88.766	67301
1991.5							67276
1992.5							67231
1998.5	133.504	1140	-67144	-1201	1140	-88.587	67164

Observatoire de Dumont d'Urville (DRV)

Année	D(°)	H nT	Z nT	X nT	Y nT	I (°)	F nT
1985.5	-160.938	1362	-69872	-1287	-444	-88.883	69886
1989.5	-163.370	1463	-69731	-1402	-418	-88.798	69746
1990.5	-163.991	1488	-69700	-1430	-410	-88.777	69716
1991.5	-164.423	1519	-69682	-1464	-408	-88.750	69699
1992.5	-164.920	1544	-69652	-1491	-401	-88.730	69670
1993.5	-165.467	1560	-69628	-1510	-391	-88.717	69646
1994.5	-166.012	1585	-69607	-1538	-383	-88.695	69626
1995.5	-166.793	1597	-69585	-1555	-365	-88.685	69603
1996.5	-167.508	1604	-69563	-1566	-347	-88.678	69582
1997.5	-168.427	1618	-69545	-1585	-324	-88.667	69564
1998.5	-169.180	1633	-69535	-1604	-306	-88.655	69554

TERRE DU ROI GEORGES V

Station de répétition de Cap Denison (CDE)

Année	D(°)	H nT	Z nT	X nT	Y nT	I (°)	F nT
1989.1							65844

2.4. ÉVOLUTION DE LA DIFFÉRENCE DE CHAMP MAGNÉTIQUE ENTRE LA STATION DE RÉPÉTITION DE PORT JEANNE D'ARC ET L'OBSERVATOIRE DE PORT-AUX-FRANÇAIS (KERGUELEN, 1962 -1998)

L'étude de la variation séculaire des éléments du champ magnétique repose principalement sur les données d'observatoire et sur les données des stations de répétition. Les variations du champ magnétique enregistrées dans les observatoires ou mesurées dans les stations de répétition doivent être représentatives de l'évolution du champ magnétique à l'échelle régionale.

Nous avons déjà évoqué l'existence d'anomalies magnétiques locales importantes dans les îles d'origine volcanique des Terres australes et antarctiques françaises. L'observatoire de Port-aux-Français et les stations de répétition installées aux îles Kerguelen sont implantés sur des terrains constitués par des séries basaltiques alcalines érodées en surface. Les mesures effectuées sur différents sites de l'île ont confirmé l'existence d'anomalies atteignant plusieurs degrés pour la déclinaison et plus de mille nanoteslas pour l'intensité du champ total, sur des distances de quelques kilomètres seulement. Le gradient régional (environ 10 nT/km ne peut évidemment pas expliquer ces différences. On admet que ces anomalies sont dues principalement à la magnétisation rémanente des basaltes de surface. Compte tenu de l'importance des anomalies superficielles on pouvait s'interroger sur la signification de la variation séculaire déterminée à partir des séries de données de l'observatoire de Port-aux-Français. En particulier était-il vraiment légitime de considérer que la variation séculaire calculée est bien représentative pour l'ensemble de l'île (environ 150 km d'est en ouest et 120 km du nord au sud pour l'île principale). L'hypothèse admise était que les anomalies de surface pouvaient être considérées comme stables dans le temps. On devait donc vérifier que pour des points de mesure suffisamment proches pour que les différences des variations d'origine externe soient négligeables (en prenant la précaution d'effectuer des mesures par champ magnétique calme et si possible en dehors de la variation diurne du champ), la différence calculée des éléments du champ magnétique restait constante au cours du temps.

Ce point est particulièrement important pour justifier les raccordements des mesures lors des deux changements de site du pilier de mesures absolues de l'observatoire. Pour des raisons logistiques l'abri de mesures absolues installé en 1957 a du en effet être remplacé une première fois en 1972 (déplacement limité à quelques mètres) et une seconde fois en 1988 (déplacement de l'abri de mesures de 3 km vers l'est). Les données obtenues à la station de répétition de Port Jeanne

d'Arc se sont avérées très utiles pour confirmer la validité de cette hypothèse.

La station de Port Jeanne d'Arc est située à environ 35 km de l'observatoire. Créée en 1948 par une expédition australienne de l'A.N.A.R.E., la borne de mesure a été réoccupée une première fois en 1962 et, à partir de 1981, aussi régulièrement que le permettaient les conditions d'accès et la disponibilité de matériel de mesure. L'ensemble des réoccupations effectuées entre 1962 et 1998 permet maintenant de contrôler l'évolution de la différence de champ entre cette station et l'observatoire sur une durée de plus de trente ans. Les résultats des différences calculées entre les deux sites pour les éléments X, Y, Z et F du champ magnétique sont présentés page suivante (table 1). La situation magnétique est donnée par l'indice k à l'observatoire et par l'indice A_k de la journée. Une dispersion estimée à ± 3 nT doit être admise pour tenir compte des incertitudes de repositionnement à chaque réoccupation et des incertitudes liées à la réduction des mesures de terrain.

On constate que la différence entre les deux sites pour la composante nord-sud (X) est de l'ordre de 1000 nT. On peut considérer que cette différence évolue peu entre 1962 et 1998 (moins de 1 nT/an). Si cette évolution est faible, elle ne paraît pas toutefois être nulle. Il en est de même pour la composante est-ouest Y. Pour la composante verticale les valeurs calculées pour 1962 doivent être interprétées avec prudence : la hauteur du point de mesure au dessus de la borne n'est pas connue, les mesures à la BMZ peuvent être affectées d'une erreur d'une dizaine de nT. Si l'on se limite à la période 1981-1998 on note que pour la composante verticale Z, comme pour le champ total F, la différence entre les deux sites évolue très peu (moins de 0,5 nT par an). La dispersion des résultats peut aussi être liée à des modifications de l'environnement magnétique des sites de mesure, aussi bien à la station de répétition qu'à l'observatoire. Des contrôles d'environnement magnétique ont été effectués avec un magnétomètre à protons autour de la borne de Port Jeanne d'Arc depuis 1986. Aucune anomalie n'a été relevée pour cette période. On ne possède pas d'informations antérieures exploitables. La tendance relevée pour la diminution de la différence de champ suivant la direction nord-sud (X) devra donc être éventuellement confirmée par les mesures à venir.

Le résultat précédent est vérifié, sur une période plus courte (10 ans), par les mesures effectuées à la station de la Baie de l'Observatoire, située à environ 30 km à l'ouest de Port-aux-Français. Toutefois on ne retrouve pas la tendance de la différence de champ suivant la composante X à diminuer d'un peu moins de 1nT/an. Les résultats des différences de champ calculées pour ces deux sites sont présentés page suivante (table 2).

Table 1. Différences calculées pour les éléments du champ magnétique X, Y, Z et F entre la station de répétition de Port Jeanne d'Arc (PJA) et l'observatoire de Port-aux-Français (PAF) pour la période 1962-1998

Date de la mesure	$X_{PJA}-X_{PAF}$	$Y_{PJA}-Y_{PAF}$	$Z_{PJA}-Z_{PAF}$	$F_{PJA}-F_{PAF}$	k	Ak
11-02-1962	-1039	170	(687)	-	-	-
27-11-1962	-1026	173	(676)	-	-	-
07-09-1984	-	-	-	-982	2	35
21-01-1986	-1015	180	751	-981	1	-
09-06-1988	-	-	-	-984	5	15
14-02-1989	-1014	177	760	-985	4	75
20-04-1992	-1016	170	762	-982	2	47
28-12-1993	-1014	172	766	-985	2	19
06-06-1996	-1010	173	-	-988	3	29
11-03-1998	-1002	176	-	-985	3	78

Table 2. Différences calculées pour les éléments du champ magnétique X, Y, Z et F entre la station de répétition de la Baie de l'Observatoire (OBY) et l'observatoire de Port-aux-Français (PAF) pour la période 1986-1998

Date de la mesure	$X_{OBY}-X_{PAF}$	$Y_{OBY}-Y_{PAF}$	$Z_{OBY}-Z_{PAF}$	$F_{OBY}-F_{PAF}$
27-01-1986	-624	295	884	-1052
05-06-1988	-626	285	883	-1047
30-02-1989	-627	292	889	-1054
24-03-1992	-625	289	888	-1051
17-03-1994	-621	291	893	-1053
14-08-1996	-629	288	891	-1051

Les mesures faites à Port Jeanne d'Arc, comme à la Baie de l'Observatoire, montrent bien que la différence de champ évolue peu au cours du temps, moins de 1 nT/an. Cette valeur limite de 1 nT/an devra être prise en compte pour estimer la précision à attendre des raccordements de sites anciens occupés par des expéditions scientifiques ayant visité les K erguelen entre 1840 et 1902. Il reste que cette incertitude est faible par rapport au taux de variation séculaire observé dans cette région durant les cinquante dernières années.

Les valeurs de la variation séculaire calculées pour l'observatoire de Port-aux-Français depuis sa création en 1957 peuvent donc contribuer valablement à la mise à jour des modèles de champ postérieurs à 1950 pour ce secteur de l'Océan Indien.

TROISIÈME PARTIE

**INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE DE PARIS
ÉCOLE ET OBSERVATOIRE DES SCIENCES DE LA TERRE**

FRENCH RESULTS OF THE GEOMAGNETIC FIELD

REPEAT STATION NETWORKS MEASUREMENTS

M. MANDEA ALEXANDRESCU

J. BITTERLY

BUREAU CENTRAL DE MAGNÉTISME TERRESTRE
IPGP - B89, 4, place Jussieu, 75252 PARIS CEDEX 05 - France
Télécopie : 33 (0)1 44 27 24 02 E mail : bcmt@ipgp.jussieu.fr

3.1. REGIONAL MAGNETIC REPEAT STATION NETWORK DESCRIPTION

3.1.1. Metropolitan France

Country FRANCE

Contact M. MANDEA ALEXANDRESCU
 Institut de Physique du Globe de Paris
 Carrefour des 8 routes
 45340 CHAMBON LA FORÊT
 Tel: 33 (0)1 38 33 95 00
 Fax : 33 (0)1 38 33 95 04
 E mail : bcmt@ipgp.jussieu.fr

NETWORK CONFIGURATION

The IPGP maintains 33 repeat stations in Metropolitan France and 2 on Reunion Island.

Repeat stations	Reoccupation interval
33 in France, used routinely	every 5 years
2 on Reunion Island (Indian Ocean)	variable

Magnetic observatory

Chambon la Forêt IAGA Code: CLF

Station Markers

The following have been used:

- Triangulation stations,
- Concrete pillar, non magnetic, 125 cm high, diameter 30 cm, grooved at 120° to fit the DIM and PPM,
- Concrete slabs at ground level, with centered station mark and inset cylindrical tubes (Aluminium, brass or non magnetic alloy) to install the tripod legs,
- Suitable non magnetic landmarks.

Logistics

- Access: motor vehicle for mainland stations
- Fieldwork: generally during the middle of the year
- Staff: 1 observer and 1 assistant

Comments

- The spacing between stations in Metropolitan France is typically 100 km, and somewhat less in geologically variable regions.
- Stations are located in places with low magnetic gradients, and avoid large magnetic anomalies and subsurface electrical conductivity structures (at least 10 km from coastlines) ; each station is representative for the surrounding region.
- Fieldwork is carried out during the mid-year to facilitate comparisons with observatory annual means.

OBSERVATIONAL PROCEDURES

- Absolute measurements
 D, I : portable fluxgate theodolite (DI-flux), constructed by EOST.
 F : two proton precession magnetometers (PPM), ELSEC 820 and GSM19.
 Azimuth : sun observations are made with Zeiss 010A theodolite.
- Instruments comparisons/calibrations, and optical adjustment of the theodolite are carried out at the reference observatory (CLF).
- The PPM sensor is set up at the F-substation marker approximately several metres from the main station.

- Care is taken to ensure that DIM and PPM observations are made at the same height as for the previous measurements (usually both at the same height).
- Several reference land marks are used for azimuth control ; angles between the land marks are mesured during each occupation ; sometimes sun observations are made to check azimuths, one set in the morning and one set in the afternoon.

Variometer : none

Occasionally we use ELSEC 820 PPM base station recording at one-minute intervals.

- Frequency and Duration of Observations
 Observations are spread over 1 to 2 days
 A set of six absolute observations is obtained for the three components, i.e. of D, I and F.
 Absolute measurements are made twice daily, if possible one early in the morning and the other late in the evening (to reduce the effect of the diurnal variation).

Comments

- A local total field survey is conducted around each station to check for changes in the magnetic environment since the last occupation.
- F observations are made every 2 m, 10 m and 20 m from the station in each of the four geographical directions, as well as every 20 cm intervals above the station marker to a height of 3 metres.
- One or two F-substations, placed a few meters away from the main station, are used for making F measurements at the same time when D and I measurements are made in the main station.
- Several series of F observations are simultaneously made at the F-substation and the main station, to obtain a ΔF correction which is applied to adjust the F measurements at the main station position.
- A laptop computer is used in the field for data reduction.

DATA REDUCTION PROCEDURE

Magnetic elements observed at the repeat stations are reduced by reference to the digital data from the Chambon la Forêt observatory (CLF).

Observations must be averaged and reduced to a common epoch. Generally, this epoch (T) is chosen to be the 1st July of the year when observations are made, i.e. 19xx.5 (for comparison with the annual mean values given by magnetic observatories).

Let $E_{S,t}$ = value of field element E in the repeat station S at time t

$E_{O,t}$ = corresponding value in the reference magnetic observatory

\bar{E} = annual mean value for the element E

If the reference observatory is representative of the field station, then

$$E_{S,t} - \bar{E}_{S,t} = E_{O,t} - \bar{E}_{O,t}$$

Assuming that the secular variation of the element E over the time (t-T) is the same at both reference CLF observatory and the field station, then

$$\bar{E}_{S,t} - \bar{E}_{O,t} = E_{S,t} - E_{O,t}$$

i.e. $\bar{E}_{S,t} = \bar{E}_{O,t} + \Delta E$, where $\Delta E = E_{S,t} - E_{O,t}$

Considering the CLF observatory annual mean value, $\bar{E}_{O,t}$, one estimates ΔE from corresponding pairs of observations in the field station and the reference observatory at the time t .

Several sets of observations of D, I & F made at different times t_i over 1, 2 or 3 days, give the estimates

$$\Delta E_i = E_{S,t_i} - E_{O,t_i} \quad i = 1, 2, \dots$$

These values are weighted with regard to the level of magnetic disturbance at time t_i , and according to the departure of E measurement from the quiet night-time values at the reference observatory. ΔE is the weighted mean of the above estimates. Finally, the accuracy of the repeat station annual means is estimated to be better than 5 nT.

3.1.2. French Antarctic and Sub-Antarctic Lands

Country: FRENCH ANTARCTIC and SUB-ANTARCTIC LANDS

Contact J-J. Schott
 École et Observatoire des Sciences de la Terre (EOST)
 Service des observatoires magnétiques
 5, rue René Descartes
 67084 STRASBOURG Cedex - FRANCE
 Tel : 33 (0)3 88 41 63 67
 Fax : 33 (0)3 88 61 67 47
 E mail : bcmt@ipgp.jussieu.fr

NETWORK CONFIGURATION

The "Service des observatoires magnétiques" at EOST maintains repeat stations in French sub-antarctic islands (Crozet archipelago, Kerguelen Island, Saint Paul and Amsterdam Islands) in Indian Ocean and one repeat station in Antarctica (Adélie Land). Separate occupations are made occasionally in the repeat station of Cap Denison in King George Land (Antarctica).

Repeat stations Location		Reoccupation interval (year)
in Crozet archipelago (2) (Possession Island) :		
American Bay 1	(BUS)	2 or 3
American Bay 2	(B29)	
in Kerguelen Islands (6):		
Observatory Bay	(OBY)	2 or 3
Port Jeanne d'Arc	(PJA)	2 or 3
Port Christmas	(PCM)	variable
Port Douzième	(P12)	variable
Ratmanoff	(RAT)	variable
KGL absolute hut	(KGL)	each
in Saint Paul Island (3):		
St Paul 1	(SP1)	1 or 2
St Paul 2	(SP2)	
St Paul 3	(SP3)	

in Antarctica (2):

in Adélie Land		
Port Martin	(PNM)	variable
in King George Land		
Cap Denison	(CDE)	variable

Magnetic observatories	IAGA Code
Port Alfred (Crozet), 1974 +	CZT
Kerguelen, 1957 to 1987	KGL
Port aux Français (Kerguelen Island), 1988 +	PAF
Martin de Viviers (Amsterdam Island), 1981 +	AMS
Dumont d'Urville (Adélie Land), 1957 +	DRV

Station Markers

Concrete slabs at ground level, with centred station mark

Logistics

- Access : by ship
- Fieldwork : generally during the summer
- Staff : 1 observer and 1 assistant

Comments

The repeat stations on sub-antarctic islands (always located near the magnetic observatory) are useful to verify that the secular variation observed in the reference observatory is not anomalous, and also to provide insurance against the destruction or the displacement of the reference absolute pier. Indeed, on these volcanic islands, the measurements made at distances of 4 to 100 km away from the observatory, show the existence of intense magnetic anomalies due to basaltic rock remanent magnetisation. These anomalies are of crustal origin, fortunately they remain relatively constant in time and do not affect secular variation. The important magnetic gradients represent a particular problem in magnetic repeat stations located on these basaltic regions : each re-occupation requires a careful relocation of theodolite or sensor of proton magnetometer.

OBSERVATIONAL PROCEDURES

Absolute measurements

- D, I : portable fluxgate theodolite (DI-flux), constructed by EOST
- F: proton precession magnetometer
- Azimuth: sun observations are made with Zeiss 010A theodolite

Instruments calibrations are carried out at the reference observatory.

The PPM sensor is set up at a F-substation marker approximately ten metres away from the main station.

Variometer: none

Occasionally we use a ELSEC 820 PPM base station recording F total field at one-minute intervals.

Frequency and Duration of Observations

- Observations are spread over 1 to 4 days.
- A local total field survey is conducted around each repeat station to test for changes in the magnetic environment since the previous occupation.
- A set of absolute observations consists of 4 of D and I measurements, each with a corresponding F measurement. At least two sets of absolute measurements are made daily, if possible one early in the morning and one late in the evening.

- Several series of F observations are made to obtain an average difference between the main station and the F sub-station. The F sub-station is used to make F measurements at the same time as I measurements are made at the main station.

DATA REDUCTION PROCEDURE

Magnetic elements observed at the repeat stations were reduced to a common epoch (19xx.5) by reference to digital data from the nearest observatory.

Let $E_{S,t}$ = value of field element E at the repeat station at time t

$E_{O,t}$ = corresponding value at the reference magnetic observatory

\bar{E} = annual mean value for the element E

If the reference observatory is representative of the field station, then

$$E_{S,t} - \bar{E}_{S,t} = E_{O,t} - \bar{E}_{O,t}$$

Several sets of observations made at different times t_i spread over 1, 2 or 3 days, are used to calculate the instantaneous values for the difference ΔE_i :

$$\Delta E_i = E_{S,t_i} - E_{O,t_i} \quad i = 1, 2, \dots$$

These values are weighted with regard to the level of magnetic disturbance at time t_i . The weighted average ΔE of the instantaneous differences is calculated. The annual mean value at the repeat station for the element E is next calculated.

Finally the accuracy in sub-antarctic repeat station annual means is estimated to be 5-15 nT.

3.2. MAGNETIC REPEAT STATION MASTER FILES

For more details about Master Files description, see "Guide for magnetic repeat station surveys" [Newitt et al., 1996].

3.2.1. Metropolitan France

BCMT/IPGP FRANCE, Repeat station master file 1987-1997 Rev. June 1998

This file contains data from Metropolitan France (1986-1987: 32 magnetic repeat stations ; 1992: 33 magnetic repeat stations and 1997: 33 magnetic repeat stations).

- For these repeat stations the reoccupation interval is 5 years.
- The spacing between stations in Metropolitan France is typically 100 km.
- All field elements are reduced to annual mean values.
- Absolute observations of D, I and F were made, but the results are given as D, H and F.
- Declination is given in decimal degrees and the H and F components are given in nT.
- Annual changes are obtained from the difference between 1992 and 1997 surveys values divided by time interval.
- Secular variation is also computed (for D in decimal degrees/year, for the H and F components in nT/year).

*AILEFROIDE				44.8839	06.4439		1513	1977
Y DHF M1.2	1987.5	-01.583	22591	46097	1985.0	0.112	10.8	19.4
Y DHF M1.2	1992.5	-01.097	22600	46218	1990.0	0.097	1.8	24.2
Y DHF M1.2	1997.5	-00.529	22656	46328	1995.0	0.161	11.2	22.0
*AUVERSE				47.4903	00.0778		86	1965
Y DHF M1.2	1987.5	-03.971	21150	46829	1985.0	0.133	12.8	15.4
Y DHF M1.2	1992.5	-03.376	21170	46926	1990.0	0.119	4.0	19.4
Y DHF M1.2	1997.5	-02.689	21245	47029	1995.0	0.137	15.0	20.6
*BIONVILLE				49.1100	06.4917		314	1948
Y DHF M1.2	1987.5	-01.964	20353	47443	1985.0	0.117	5.6	18.6
Y DHF M1.2	1992.5	-01.471	20346	47558	1990.0	0.099	-1.4	23.0
Y DHF M1.2	1997.5	-00.889	20392	47675	1995.0	0.116	9.2	23.4
*BONIFACIO				41.3703	09.1808		80	1953
Y DHF M1.2	1986.5	-00.540	24534	45237	1984.0	0.108	11.8	14.8
Y DHF M1.2	1992.5	-00.019	24551	45402	1989.0	0.087	2.8	27.5
Y DHF M1.2	1997.5	00.458	24616	45526	1995.0	0.095	13.0	24.8
*CALENZANA				42.5200	08.8700		280	1963
Y DHF M1.2	1986.5	-00.814	23839	45452	1984.0	0.111	10.0	20.3
Y DHF M1.2	1992.5	-00.306	23860	45601	1989.0	0.085	3.5	24.8
Y DHF M1.2	1997.5	00.213	23919	45719	1995.0	0.104	11.8	23.6
*CHAMBON LA FORET				48.0238	02.2600		145	1935
Y DHF M1.1	1987.5	-03.395	20892	47105	1985.0	0.132	8.4	15.6
Y DHF M1.2	1992.5	-02.835	20902	47209	1990.0	0.112	2.0	20.8
Y DHF M1.2	1997.5	-02.192	20963	47313	1995.0	0.129	12.2	20.8
*CLARENS				43.1550	00.4050		563	1965
Y DHF M1.2	1987.5	-03.453	23510	45347	1985.0	0.111	17.6	16.2
Y DHF M1.2	1992.5	-02.903	23545	45452	1990.0	0.110	7.0	19.0
Y DHF M1.2	1997.5	-02.238	23639	45549	1995.0	0.133	18.8	19.4
*CLARENSAC				43.8381	04.2333		207	1965
Y DHF M1.2	1987.5	-02.209	23170	45735	1985.0	0.111	12.0	20.3
Y DHF M1.2	1992.5	-01.712	23191	45848	1990.0	0.099	4.2	22.6
Y DHF M1.2	1997.5	-01.128	23266	45951	1995.0	0.117	15.0	20.6
*DELETTES				50.5967	02.2317		131	1965
Y DHF M1.2	1987.5	-03.702	19629	47793	1985.0	0.129	18.8	15.8
Y DHF M1.2	1992.5	-03.215	19630	47894	1990.0	0.097	0.2	20.2
Y DHF M1.2	1997.5	-02.473	19682	48002	1995.0	0.148	10.4	21.6
*DRAGUIGNAN				43.5647	06.4108		400	1948
Y DHF M1.2	1987.5	-01.394	23262	45748	1985.0	0.111	11.6	21.0
Y DHF M1.2	1992.5	-00.906	23273	45867	1990.0	0.098	2.2	23.8
Y DHF M1.2	1997.5	-00.335	23341	45985	1995.0	0.114	6.4	23.6
*FRANGY				46.7253	05.3144		193	1948
Y DHF M1.2	1987.5	-02.073	21631	46729	1985.0	0.117	9.0	19.6
Y DHF M1.2	1992.5	-01.575	21635	46843	1990.0	0.100	0.8	22.8
Y DHF M1.2	1997.5	-00.971	21692	46950	1995.0	0.100	11.4	21.4
*GARCHY				47.2933	03.0667		193	1957
Y DHF M1.2	1987.5	-03.295	21332	46794	1985.0	0.126	9.8	17.4
Y DHF M1.2	1992.5	-02.752	21345	46902	1990.0	0.109	2.6	21.6
Y DHF M1.2	1997.5	-02.128	21403	47004	1995.0	0.125	11.6	20.4
*HAGENBACH				47.6400	07.1533		318	1965
Y DHF M1.2	1987.5	-01.526	21125	47108	1985.0	0.113	6.4	20.4
Y DHF M1.2	1992.5	-01.027	21115	47218	1990.0	0.100	-2.0	22.0
Y DHF M1.2	1997.5	-00.480	21173	47343	1995.0	0.109	11.6	25.0

*LA MEURDRAQUIERE				48.8533	01.4117		125	1965
Y DHF M1.2	1987.5	-04.950	20516	47228	1985.0	0.139	13.0	13.6
Y DHF M1.2	1992.5	-04.326	20536	47321	1990.0	0.125	4.0	18.6
Y DHF M1.2	1997.5	-03.620	20610	44415	1995.0	0.141	14.8	18.8
*LE FAVRIL				49.1933	00.5028		172	1965
Y DHF M1.2	1987.5	-04.028	20392	47386	1985.0	0.135	9.6	15.6
Y DHF M1.2	1992.5	-03.459	20405	47483	1990.0	0.114	2.6	19.4
Y DHF M1.2	1997.5	-02.765	20470	47588	1995.0	0.139	13.0	19.4
*LE MONESTIER				45.6800	03.5983		633	1965
Y DHF M1.2	1987.5	-02.592	22178	46352	1985.0	0.123	11.2	18.8
Y DHF M1.2	1992.5	-02.069	22193	46462	1990.0	0.105	3.0	22.0
Y DHF M1.2	1997.5	-01.449	22259	46566	1995.0	0.105	13.2	20.8
*LEON				43.9039	01.3125		8	1948
Y DHF M1.2	1987.5	-04.192	23116	45540	1985.0	0.138	17.8	12.6
Y DHF M1.2	1992.5	-03.610	23158	45632	1990.0	0.116	8.4	18.4
Y DHF M1.2	1997.5	-02.898	23244	45713	1995.0	0.142	17.2	16.2
*LIZY-SUR-OURQ				49.0731	03.0001		147	1992
Y DHF M1.2	1992.5	-02.635	20438	47516	1990.0	99999	99999	99999
Y DHF M1.2	1997.5	-02.005	20491	47625	1995.0	0.126	10.6	21.8
*MAISONSLES SOULAINES				48.2967	04.7733		280	1965
Y DHF M1.2	1987.5	-02.497	20855	47236	1985.0	0.119	7.8	18.4
Y DHF M1.2	1992.5	-01.968	20855	47348	1990.0	0.106	0.0	22.4
Y DHF M1.2	1997.5	-01.372	20911	47461	1995.0	0.119	11.2	22.6
*MARLE				49.7514	03.9000		165	1948
Y DHF M1.2	1987.5	-02.852	20115	47629	1985.0	0.123	7.2	16.8
Y DHF M1.2	1992.5	-02.314	20113	47737	1990.0	0.108	-0.4	21.6
Y DHF M1.2	1997.5	-01.688	20164	47850	1995.0	0.125	10.2	22.6
*MARLENHEIM				48.6300	07.4817		369	1967
Y DHF M1.2	1987.5	-01.678	20631	47490	1985.0	0.112	5.2	18.8
Y DHF M1.2	1992.5	-01.205	20621	47604	1990.0	0.095	-2.0	22.8
Y DHF M1.2	1997.5	-00.639	20666	47724	1995.0	0.113	9.0	24.0
*MIGRE				46.0947	00.5731		89	1948
Y DHF M1.2	1987.5	-04.186	21975	46338	1985.0	0.140	14.4	14.8
Y DHF M1.2	1992.5	-03.606	22003	46435	1990.0	0.116	5.6	19.4
Y DHF M1.2	1997.5	-02.913	22084	46530	1995.0	0.139	16.2	19.0
*NANTES-LACHAPELLE/ERDRE				47.3061	01.5869		34	1953
Y DHF M1.2	1987.5	-04.686	21337	46711	1985.0	0.135	9.2	22.2
Y DHF M1.2	1992.5	-04.075	21367	46803	1990.0	0.122	6.0	18.4
Y DHF M1.2	1997.5	-03.345	21456	46898	1995.0	0.146	17.8	19.0
*NEUFCHATEL				49.7967	01.5117		230	1948
Y DHF M1.2	1987.5	-03.925	20004	47521	1985.0	0.131	21.6	16.2
Y DHF M1.2	1992.5	-03.342	20013	47623	1990.0	0.117	1.8	20.4
Y DHF M1.2	1997.5	-02.673	20069	47726	1995.0	0.134	11.2	20.6
*NURRET LEFERRON				46.6733	01.4733		172	1965
Y DHF M1.2	1987.5	-03.386	21676	46635	1985.0	0.131	12.4	16.4
Y DHF M1.2	1992.5	-02.827	21695	46743	1990.0	0.112	3.8	21.6
Y DHF M1.2	1997.5	-02.176	21770	46847	1995.0	0.130	15.0	20.8
*PLOUDALMEZEAU				48.5100	04.6467		81	1965
Y DHF M1.2	1987.5	-06.256	20718	47073	1985.0	0.146	15.8	10.6
Y DHF M1.2	1992.5	-05.602	20755	47155	1990.0	0.131	7.4	16.4
Y DHF M1.2	1997.5	-04.840	20838	47224	1995.0	0.152	16.6	13.8

*QUINZENA				42.1100	09.3317		400	1963
Y DHF M1.2	1986.5	-00.365	24055	45193	1984.0	0.111	7.0	17.0
Y DHF M1.2	1992.5	-00.008	24080	45354	1990.0	0.060	4.2	26.8
Y DHF M1.2	1997.5	00.537	24137	45466	1995.0	0.109	11.4	22.4
*RIEUPEYROUX				44.3333	02.2850		674	1948
Y DHF M1.2	1987.5	-02.948	22907	45818	1985.0	0.129	12.2	20.0
Y DHF M1.2	1992.5	-02.395	22931	45928	1990.0	0.111	4.8	22.0
Y DHF M1.2	1997.5	-01.789	23010	46031	1995.0	0.121	15.8	20.6
*SAINT EMILION				44.8650	00.1450		15	1965
Y DHF M1.2	1987.5	-03.786	22629	45897	1985.0	0.138	15.4	14.2
Y DHF M1.2	1992.5	-03.218	22656	45992	1990.0	0.114	5.4	19.0
Y DHF M1.2	1997.5	-02.548	22743	46089	1995.0	0.134	17.4	19.4
*SALON LATOUR-STYBARD				45.4600	01.5117		491	1965
Y DHF M1.2	1987.5	-03.260	22295	46196	1985.0	0.130	13.2	15.6
Y DHF M1.2	1992.5	-02.697	22320	46306	1990.0	0.113	5.0	22.0
Y DHF M1.2	1997.5	-02.007	22436	46416	1995.0	0.138	23.2	22.0
*SEGLIEN				48.0889	03.1850		226	1948
Y DHF M1.2	1987.5	-05.599	20932	46940	1985.0	0.145	15.0	11.2
Y DHF M1.2	1992.5	-04.961	20965	47031	1990.0	0.128	6.6	18.2
Y DHF M1.2	1997.5	-04.234	21041	47114	1995.0	0.145	15.2	16.6
*TUCHAN				42.8750	02.7600		313	1948
Y DHF M1.2	1987.5	-02.613	23701	45344	1985.0	0.124	14.6	19.2
Y DHF M1.2	1992.5	-02.084	23730	45450	1990.0	0.106	5.8	21.2
Y DHF M1.2	1997.5	-01.465	23812	45550	1995.0	0.124	16.4	20.0
*VILLENEUVE DE MARC				45.4633	05.1464		492	1948
Y DHF M1.2	1987.5	-02.149	22277	46309	1985.0	0.114	9.0	19.0
Y DHF M1.2	1992.5	-01.650	22292	46427	1990.0	0.100	3.0	23.6
Y DHF M1.2	1997.5	-01.081	22347	46532	1995.0	0.114	11.0	21.0

3.2.2. French Antarctic and Sub-Antarctic Lands

BCMT/EOST FRANCE, Repeat station master file
1952-1998

Rev: June 1999

This file contains data from Antarctic and Sub-Antarctic French magnetic repeat stations. Only the following historical sites have been selected:

In Antarctica:

- Port Martin (Adelie Land, created in 1951).
- Cap Denison (King George Land, created by A.A.E., 1912).
- Inland points (measurements of F were made during two traverses, in 1994 and 1996, between the French base Dumont d'Urville, and Dome C where the French-Italian base Concordia is under construction). The names of the different points are coded as (D xxx), the xxx code gives the distance in km between Dumont d'Urville and the measurement point.

In Sub-Antarctic islands:

1. in Crozet archipelago

- American Bay 1 (created in 1985), the site position of American Bay 1, in Possession island, was considered to be within about 500 metres SE of the station occupied by B.A.N.Z.A.R. Expedition in 1929. Large magnetic anomalies exist near this repeat station.
- American Bay 2, in Possession island (first occupation by B.A.N.Z.A.R. Expedition, 1929). A slab from old 1929 station about 10 metres was installed in 1995.

2. in Kerguelen Island

- Port Jeanne d'Arc, the magnetic repeat station at Port Jeanne d'Arc (PJA) has been established on the site occupied by A.N.A.R.E. in 1947. The measurements are made on the concrete plug installed by A.N.A.R.E.
- Observatory Bay, (first occupation by Deutsche South Polar Expedition, 1902), this station was established on the site of the absolute hut used during 1902-1903.
- Port Christmas, the Christmas Harbour magnetic repeat station, located in the North of Kerguelen, was set up near the site occupied by Ross in 1840.
- Port Douzieme, in Morbihan bay (Thumb Peak), first occupation by Perry (Transit of Venus Expedition, 1874).
- KGL Absolute hut, in Kerguelen island (P72: old absolute pier used during 1957-1987 for the magnetic observatory KGL).
- Ratmanoff, in the Eastern part of Kerguelen island (created in 1993).

3. in Saint Paul Island

- Saint Paul SP1 magnetic repeat station : in February 1986, a slab was installed about 200 metres south of the station occupied by the *Novara* Expedition (1857).
- Saint Paul Island SP2 : in 1992, for logistical reasons, another slab was installed at 30 metres elevation, about 200 meters N-NW of the 1986 slab.

- Saint Paul Island SP3 : in November 1874, a French expedition made both astronomic observations of the transit of Venus and magnetic observations from Saint Paul island. The site of 1874 pier was located to be within about 150 metres to W of the Novara Station. In 1997, this site was reoccupied.

For the above mentioned repeat stations the reoccupation interval is variable.

For the Antarctic and Sub-Antarctic magnetic stations, measurements made at distances of 5 to 80 km away from the stations show large magnetic anomalies (100 to 2000 nT), however the site differences remain practically constant during the concerned periods.

Comments:

All field elements are reduced to annual mean values using the data from the nearest observatory.

- D is given in decimal degrees, H and F are given in nT.
- Secular variation is also computed (for D in decimal degrees/year, for H and F in nT/year).

Port Martin : in 1990 and 1991 the observations were made under relatively disturbed conditions and only approximate correction, based on Dumont d'Urville observatory records were made to obtain the undisturbed night-time values of the field. Absolute observations of X, Y, Z and F were made, but the results were reported as X, Y, F. For 1952, X, Y, F elements are given from Mayaud's observations.

Cape Denison : the F measurements were made under relatively disturbed conditions, these data are not suitable to compute secular variation.

American Bay : the observations were made under moderately disturbed conditions and corrections, based on Port Alfred observatory records, were made to obtain the undisturbed night-time values of the field. Absolute observations of D, I and F were made, but the results are expressed as D, H and F. A significant horizontal field gradient is observed at the site, due to basaltic rocks.

Port Jeanne d'Arc : the observations were made under magnetically quiet conditions (usually, early in the morning and late in the evening) and corrections, based on Port-aux-Français records, were made to obtain the undisturbed night-time values of the field. Absolute observations of D, I and F were made, but the results are expressed as D, H and F.

Observatory Bay : the observations were made under magnetically quiet conditions (usually early in the morning and late in the evening) and corrections, based on Port-aux-Français records, were made to obtain the undisturbed night-time values of the field. Absolute observations of D, I and F were made, but the results are expressed as D, H and F.

Port Christmas, Port Douzieme (Thumb Peak), KGL Absolute hut (P72) and Ratmanoff : the observations were made under relatively quiet conditions.

Saint Paul Island (SP1, SP2 and SP3) : the observations were made under relatively quiet conditions (early morning and late evening, usually). The final reduction of data was based on Martin de Viviès (Amsterdam Island) records.

*PORT MARTIN (ADELIE LAND)				-66.817	141.400		015	1951
Y XYF M1.3	1952.0	+845	+646	69183	1952.0	99999	50.0	50.0
Y XYF M1.3	1985.5	-883	96	67475	1985.5	99999	99999	99999
Y XYF M1.3	1989.5	99999	99999	67296	1987.5	99999	99999	-46.0
Y XYF M1.3	1990.5	-1016	1033	67301	1988.0	-26.6	13.2	-34.8
Y XYF M1.3	1991.5	99999	99999	67276	1991.0	99999	99999	-25.0
Y XYF M1.3	1992.5	-1070	1053	67231	1991.5	-27.0	10.0	-35.0
Y XYF.M1.3	1998.5	-1201	1140	67164	1995.5	-21.8	14.5	-11.2
*CAP DENISON (KING GEORGE LAND)				-67.000	142.667		012	1931
Y XYF M1.3	1952.0	1240	788	67353	1952.0	99999	99999	99999
Y XYF M1.3	1959.0	885	1138	66453	1959.0	128.0	-51.0	50.0
D XYF A.3	19890116	99999	99999	65844	1989.0	99999	99999	99999
*D10 (TRAVERSE DRV/DOME C)				-66.704	139.809		0260	1994
D XYF A.3	19940210	99999	99999	67782	1994	99999	99999	99999
*D69 (TRAVERSE DRV/DOME C)				-67.138	138.988		1358	1996
D XYF A.3	19960119	99999	99999	66824	1996	99999	99999	99999
*D143 (TRAVERSE DRV/DOME C)				-67.737	138.185		1858	1996
D XYF A.3	19960120	99999	99999	66673	1996	99999	99999	99999
*D215 (TRAVERSE DRV/DOME C)				-68.309	137.368		2230	1994
D XYF A.3	19940128	99999	99999	66477	1994	99999	99999	99999
*D223 (TRAVERSE DRV/DOME C)				-68.377	137.282		2250	1996
D XYF A.3	19960121	99999	99999	66334	1996	99999	99999	99999
*D232 (TRAVERSE DRV/DOME C)				-68.460	137.196		2300	1994
D XYF A.3	19940208	99999	99999	66415	1994	99999	99999	99999
*D314 (TRAVERSE DRV/DOME C)				-69.111	136.275		2439	1994
D XYF A.3	19940129	99999	99999	66220	1994	99999	99999	99999
*D339 (TRAVERSE DRV/DOME C)				-69.313	135.980		2400	1996
D XYF A.3	19960122	99999	99999	66123	1996	99999	99999	99999
*D362 (TRAVERSE DRV/DOME C)				-69.495	135.708		2429	1994
D XYF A.3	19940206	99999	99999	66253	1994	99999	99999	99999
*D414 (TRAVERSE DRV/DOME C)				-69.906	135.028		2460	1994
D XYF A.3	19940130	99999	99999	66042	1994	99999	99999	99999
*D453 (TRAVERSE DRV/DOME C)				-70.208	134.511		2640	1994
D XYF A.3	19940205	99999	99999	65829	1994	99999	99999	99999
*D521 (TRAVERSE DRV/DOME C)				-70.733	133.569		2769	1994
D XYF A.3	19940204	99999	99999	65239	1994	99999	99999	99999
*D534 (TRAVERSE DRV/DOME C)				-70.829	133.373		2767	1994
D XYF A.3	19940201	99999	99999	65242	1994	99999	99999	99999
*D539 (TRAVERSE DRV/DOME C)				-70.864	133.307		2800	1996
D XYF A.3	19960205	99999	99999	65107	1996	99999	99999	99999
*D575 (TRAVERSE DRV/DOME C)				-71.143	132.781		2875	1996
D XYF A.3	19960124	99999	99999	65104	1996	99999	99999	99999
*D641 (TRAVERSE DRV/DOME C)				-71.648	131.819		3046	1994
D XYF A.3	19940203	99999	99999	65637	1994	99999	99999	99999
*D717 (TRAVERSE DRV/DOME C)				-72.236	130.651		3060	1996
D XYF A.3	19960126	99999	99999	64724	1996	99999	99999	99999
*D790 (TRAVERSE DRV/DOME C)				-72.784	129.447		3200	1996
D XYF A.3	19960203	99999	99999	64170	1996	99999	99999	99999
*D918 (TRAVERSE DRV/DOME C)				-73.724	127.151		3270	1996
D XYF A.3	19960128	99999	99999	63955	1996	99999	99999	99999
*D1111 (DOME C)				-75.123	123.317		3252	1996
D XYF A.3	19960130	99999	99999	62993	1996	99999	99999	99999
*AMERICAN BAY 1 (CROZET ARCHIPELAGO)				-46.387	51.809		006	1985
Y DHF M1.2	1986.5	-44.565	18189	36851	1986.5	99999	99999	99999
Y DHF M1.2	1989.5	-45.219	18177	36857	1988.0	-0.218	-4.0	-2.0
Y DHF M1.2	1990.5	-45.413	18177	36848	1990.0	-0.194	0.0	-9.0
Y DHF M1.2	1991.5	-45.641	18178	36849	1991.0	-0.228	1.0	0.5
Y DHF M1.2	1993.5	999999	99999	36851	1992.0	99999	99999	1.0
Y DHF M3	1994.5	999999	99999	36825	1993.0	99999	99999	99999
Y DHF M2	1995.5	-46.284	99999	36839	1994.0	99999	99999	14.0
Y DHF M2	1996.5	-46.501	18183	36862	1995.0	-0.217	99999	23.0
Y DHF M2	1997.5	-46.732	18199	36895	1997.0	-0.231	16.0	33.0

*AMERICAN BAY 2 (CROZET ARCHIPELAGO)				-46.388	51.799		035	1929
Y DHF M1.2	1995.5	-44.771	17561	36999	1995.0	99999	99999	99999
Y DHF M1.2	1996.5	-44.988	17577	37022	1996.0	-0.217	16.0	23.0
*PORT JEANNE D'ARC (KERGUELEN)				-49.552	69.818		009	1947
Y DHZ M1.2	1962.0	-48.450	18329	-44566	1962.0	-0.217	-14.0	99999
Y DHF M1.2	1981.5	-53.881	18079	47597	1981.0	-0.286	-13.2	99999
Y DHF M1.2	1984.5	999999	99999	47501	1983.0	99999	99999	-32.0
Y DHF M1.2	1985.5	-54.358	99999	47481	1985.0	-0.119	99999	-29.0
Y DHF M1.2	1986.5	-54.532	17987	47477	1986.0	-0.130	-18.4	-24.0
Y DHF M1.2	1988.5	999999	99999	47456	1987.5	99999	99999	-10.5
Y DHF M1.2	1989.5	-55.105	17891	47448	1989.0	-0.191	-32.0	-9.7
Y DHF M1.2	1992.5	-55.639	17814	47424	1991.0	-0.185	-28.8	-9.0
Y DHF M1.2	1993.5	-55.789	17792	47412	1993.0	-0.179	-27.9	-9.3
Y DHF M1	1996.5	-56.250	17736	47452	1995.0	-0.152	-19.5	7.0
Y.DHF M1	1998.5	-55.603	17678	47528	1975.0	-0.176	-2.0	12.0
*OBSERVATORY BAY (KERGUELEN)				-49.420	69.889		015	1985
Y DHF M1.2	1985.5	-53.174	99999	99999	1985.5	99999	99999	99999
Y DHF M1.2	1986.5	-53.334	18124	47406	1986.0	-0.160	99999	99999
Y DHF M1.2	1988.5	-53.693	18071	47393	1987.5	-0.173	-26.5	-6.5
Y DHF M1.2	1989.5	-53.887	18024	47379	1989.0	-0.184	-33.3	-9.0
Y DHF M1.2	1992.5	-54.393	17941	47355	1991.0	-0.176	-30.5	-8.5
Y DHF M1.2	1994.5	-54.694	17892	47347	1992.0	-0.161	-26.4	-6.4
Y DHF M1.2	1996.5	-55.030	17856	47387	1994.5	-0.159	-21.2	8.0
*PORT CHRISTMAS (KERGUELEN)				-48.678	69.025		005	1840
Y DHF M2.3	1993.5	-51.826	18139	46874	1993.5	99999	99999	99999
Y DHF M2.3	1994.5	-51.974	18105	46905	1994.0	-0.149	-34.0	31.0
Y DHF M2.3	1996.5	-52.387	18074	47006	1995.0	-0.187	-21.7	44.0
*PORT DOUZIEME (KERGUELEN)				-49.516	70.155		010	1993
Y DHF M2.3	1993.5	-54.810	17846	48124	1993.5	99999	99999	9999
*KGL ABSOLUTE HUT (P72. KERGUELEN)				-49.352	70.215		008	1988
Y DHF M1.2	1988.5	-52.553	18279	47373	1988.5	99999	99999	99999
Y DHF M1.2	1993.5	-53.422	18121	47327	1991.0	-0.174	-31.6	-9.2
Y DHF M1.2	1994.5	-53.565	18094	47332	1991.5	-0.169	-30.8	-6.8
Y DHF M1.2	1995.5	999999	99999	47346	1994.5	99999	99999	9.5
Y DHF M1.2	1996.5	-53.862	18058	47368	1995.0	-0.147	-21.0	13.7
*RATMANOFF (KERGUELEN)				-49.242	70.562		003	1993
Y DHF M2.3	1993.5	-56.323	18121	48456	1993.5	99999	99999	99999
*SAINT PAUL ISLAND 1 (SP1)				-38.714	77.536		003	1986
Y DHF M1.3	1986.5	-40.767	19681	50372	1986.5	99999	99999	99999
Y DHF M1.3	1987.5	999999	99999	50405	1987.0	99999	99999	33.0
Y DHF M1.3	1989.5	999999	99999	50476	1988.5	99999	99999	35.0
Y DHF M1.3	1990.5	999999	99999	50500	1990.0	99999	99999	32.0
Y DHF M1.3	1991.5	-41.193	19474	50535	1989.0	-0.085	-41.4	32.5
Y DHF M1.3	1992.5	999999	99999	50555	1992.0	99999	99999	20.0
Y DHF M1.3	1993.5	-41.333	19405	50584	1990.0	-0.081	-39.4	29.0
Y DHF M2	1994.5	999999	99999	50624	1994.0	99999	99999	39.6
Y DHF M2	1996.0	-41.444	99999	50706	1994.5	-0.044	99999	48.8
Y DHF M2	1996.5	-41.459	19310	50737	1995.0	-0.042	-31.7	51.0
Y DHF M2	1997.5	-41.515	19272	50818	1996.0	-0.056	-38.0	81.0
*SAINT PAUL ISLAND 2 (SP2)				-38.712	77.535		030	1997
Y DHF.M2	1997.5	-42.720	19428	50840		99999	99999	99999
*SAINT PAUL ISLAND 3 (SP3)				-38.712	77.534		050	1996
Y DHF M1.3	1997.5	-42.680	19446	51565		99999	99999	99999

3.3. HALF CENTURY OF REPEAT STATION MAGNETIC MEASUREMENTS IN FRANCE

Among the oldest applications of the magnetic field was in navigation and thus field studies quickly became an important economic factor in world trade. Besides navigation, magnetic field measurements are important for several reasons. Abrupt changes in field variations are attributed to solar activity and its interaction with the terrestrial environment. Large magnetic storms can disrupt satellite operation, communication systems, power transmission networks, and possibly account for physiological symptoms in humans [Campbell, 1997].

Geomagnetism provides a unique opportunity to explore the Earth's outer core environment where the bulk of the field is generated. Field measurements can also yield valuable insights into the location of mineral deposits and aid in applications in the petroleum industry.

Given the importance of the magnetic field in daily life, it is necessary to understand how the field behaves on temporal and spatial scales. Early to recognise its significance, France was one of the first countries to make systematic magnetic measurements. For example, declination was first determined in 1541 by Künster Bellarmatus in Paris to be $+7^\circ$ (it reached a maximum eastward value of $+11.5^\circ$ in 1580 and a maximum westward value of -22.5° in 1814, see review in [Alexandrescu et al., 1996]). In 1667 the Académie de Sciences officially established the Paris observatory which made regular declination determinations and later in the 18th century, inclination determinations became possible. In 1883, the French government established a permanent magnetic observatory at St. Maur (20 km east of Paris) which eventually moved in 1935 to its present location at Chambon-la-Forêt, some 100 km south of Paris. The full magnetic field is recorded each minute at the Chambon la Forêt facility with three sets of fluxgate and proton magnetometers.

Although the permanent observatory yields continuous data for a single point, several other stations are required to describe the spatial variations. For this reason, Moureaux [1886] initiated the first network of 80 repeat stations in 1885 which blossomed to 617 stations by 1898. Data acquired during that time lead to the first iso-declination map for France, the likes of which have not significantly changed today (Figure 1-see first part). In 1921, the Institut de Physique du Globe de Paris was created and was made responsible for all French magnetic measurements. Between 1921 and 1927, the number of repeat stations grew to 1328. With the magnetic map of France firmly established [Mathias and Maurain, 1929] such a dense coverage was no longer needed. The modern French network was created in 1947 with 13 stations. Today it consists of 33 stations (Figure 1-see first part) that are occupied once every 5 years. The stations are in isolated areas, such as on the edges of vineyards, spread out about 100 km from one another, and are protected by the local police (in theory!).

In France, a magnetic station consists of a bronze cylinder buried ~ 1.7 meters below the surface and a concrete marker (roughly 0.3 m diameter by 1.25 m depth) exposed ~ 0.3 m on

the surface. The bronze cylinder is there to relocate the site in case the marker is stolen. A tripod is placed above the concrete block with a theodolite positioned directly above an X etched in the concrete. Several sightings on fixed landmarks are made about the horizon to ascertain the accurate position of the theodolite and establish the true north direction. Landmarks commonly include crosses on church steeples, antennae, etc. A DI-flux sensor, linked to a battery powered electronics unit, is connected to the theodolite in order to measure the declination (D) and inclination (I). A 100 m^2 total field intensity (F) map of the vicinity is made using a portable proton precession magnetometer to verify that no significant changes have been made to the magnetic environment since the previous occupation. The proton magnetometer also measures F during D and I determinations. A technique called the residues method is used to measure the magnetic field [Newitt et al., 1996]. Because magnetic field activity varies the most during the day, measurements (six in total) are made near sundown or sunrise over one or two days.

Magnetic components (D, I and F) measured at the repeat stations are reduced using the Chambon observatory data as a reference, assuming that the transient variations of the magnetic field are identical at both the repeat station and the observatory. In order to sufficiently compare the repeat station data with conventional annual means from the observatory, field observations should be viewed at the same epoch (normally at July 1st of the year the measurements are taken).

The last French measurement campaign took place in the Summer of 1997, a half century after the 'modern' network of repeat stations commenced. The data were reduced to 1997.5 with an uncertainty of < 5 nT for each component. These data were then combined with pre-existing values and the data were interpolated through time (20 readings per year) over the 50 year time series. Using GMT [Wessel and Smith, 1991], postscript images were made of each component and an animated movie was produced for the three.

Figure 2 (see first part) displays the three components in 1948, 1974 and 1997. Declination varied about 5.5° in 50 years. Although mainland France has recently experienced negative declinations, positive ones were first measured in Corsica during the last campaign. The addition of a station in Garchy, ~ 200 km south of Paris, in 1958 highlights the Paris basin magnetic anomaly as field lines are seen to abruptly deflect in the area after 1958, but not before. Inclination varied only $\sim 1^\circ$ in the same 50 year time span. Interestingly, I values decreased with both time and latitude until 1987, when they began slightly increasing through 1992, and then decreased thereafter. The slope of iso-intensity values changed during this time interval with respect to latitude, going from down to the west to down to the east. Intensity also exhibits exciting changes over the past 50 years. F values alone have increased more than 1000 nT in a given location. The rate of change has not been constant. A distinct acceleration occurred between 1968 and 1975 which could correspond to a geomagnetic 'jerk' [Courtillot et al., 1978]. Like I, a change in slope with respect to constant latitude occurs. Moreover, like D, a deflection in the isoline is

apparent after installation of the Garchy station. Figure 3 (see first part) shows the temporal variations in the three components D, I, F. It can be seen that the level of variation is not identical around the country, and that inflections appear sometimes in the curves. The continuous and high quality data from CLF observatory allow identification of sudden changes in the secular variation of the main field.

A further use of our magnetic repeat station measurements is the declination map of France. The last map was published by IGN and IGP for the epoch 1995.5, derived partly from the 1965 aeromagnetic survey of France, updated using secular variation information from the repeat stations (Figure 4-see first part). The measurements made in 1997 will be used for the new edition of this map for the epoch 2000.

QUATRIÈME PARTIE

INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE DE PARIS

OBSERVATOIRE DE CHAMBON LA FORÊT

MAGNÉTISME TERRESTRE

MAIN RESULTS OF THE VTH WORKSHOP ON GEOMAGNETIC OBSERVATORY

INSTRUMENTS, DATA ACQUISITION AND PROCESSING

(SEPT 21-26, 1992 CHAMBON LA FORÊT), FRANCE

D. GILBERT, M. MANDEA ALEXANDRESCU, G. PETIAU

Observatoire Magnétique National de Chambon la Forêt
Carrefour des 8 Routes
F-45340 CHAMBON LA FORÊT
Téléphone 33 (0)2 38 33 95 00 - Télécopie 33 (0)2 38 33 95 04

4.1. INTRODUCTION

During the first "International Workshop on Data Acquisition and Processing", held in August 1986 at Ottawa, a program to assist "geomagnetic field observers" with their work was agreed. In the ten years since the first workshop was held, some very important changes have taken place in the magnetic observatory community, particularly with new technologies and important programs, such as INTERMAGNET. The geomagnetic observatories are opening up new applications for their data. There are new users of geomagnetic data and products and all are benefiting from the increased reliability and, most importantly, the timeliness of the data availability. This imposes additional responsibilities on the geomagnetic observatories. Now, even more than before, they must produce data that are reliable, timely, and in a form that their users can use.

It was agreed that future workshops should be held every two years and include topic on sensors, electronics and inter observatory comparisons. This is especially important due to the automatization of the observatories which usually means less fragmented absolute control of the recordings. Indeed, the aim of such a meeting is, in addition to presenting and comparing geomagnetic instruments and standards, to analyse the difficulties in processing the data.

The Chambon la Forêt workshop, after Ottawa, Nurmijärvi and Tihany, was a success, as can be seen from the results (published a little late !!). In this report, only the results of the absolute measurements and comparisons of the recording instruments are presented. We wish to thank all participants for their contributions in form of instruments, measurements, lectures and discussions.

The workshop would not have been possible without the hard work of the local organising committee (J.L. Le Mouël - president, C. Netter - secretary - as well as J. Bitterly, J. Dubois, D. Gilbert, F.X. Lalanne, and G. Petiau). Additional, important support was given by MEHC, MRE, MAE, IGP and IAGA. All the participants were grateful to individuals and institutions for their interesting week spent in Orléans Forest and/or near the Seine river, in Paris.

Chambon la Forêt observatory was chosen as the venue for this workshop as it occupies an important place in geomagnetic history. Firstly, let us note some of the important dates.

4.2. CHAMBON LA FORÊT OBSERVATORY AND ITS HISTORY

The greatest difficulty in studying long-term changes in the Earth's magnetic field arises from the lack of reliable long time-series. Long time-series from direct observations provide extremely useful information about changes in the geomagnetic field on a historical time-scale. This is intermediate between that of magnetic observatories and of archeomagnetic and paleomagnetic data (see for instance the review by Courtillot and Le Mouël, 1988). Methods for measuring total field intensity were not developed until 1832 and our knowledge of the geomagnetic field prior to this is limited to measurements of its direction.

Magnetic declination and inclination (or "dip") observations have been made in the Paris region since the XVIth and XVIIth centuries, respectively. Even though the first D value was measured in 1541, the first important moment in French geomagnetic history was 1667, when the Académie des Sciences decided to build an observatory in

Paris and to measure declination. During the next two centuries magnetic measurements were principally made at the Paris Astronomical Observatory (measurements were also made at Issy and Montmorency). There were fewer measurements of inclination than declination, due to its later discovery, the lower level of interest to navigators and the difficulty in measuring it. The first inclination measurement was performed in 1660. A review of the instruments and methods used by early observers and a complete declination and inclination time-series for the Paris region was done by Alexandrescu et al. [1996].

During the last century, with the efforts of the Bureau Central Météorologique, a non-magnetic establishment was built on the grounds of the Saint-Maur Observatory, situated at less than 20 km East of Paris (Figure 1) Photographic recording was adopted and absolute measurements were made for deducing the true value of the magnetic field from the traces, beginning in 1883.

At the end of the last century, the closure of Saint-Maur Observatory was urgently required because the site had become magnetically polluted by electric traction (trams, etc.) The solution adopted was to built another observatory. The selected place was about 70 km west Paris. On January 1st, 1901 the new National Magnetic Observatory at Val-Joyeux was inaugurated. The Saint-Maur – Val-Joyeux differences were based on recordings made in the two locations throughout the year 1901.

Many magnetic stations which continuously monitored the geomagnetic field at the beginning of the century were closed, due to electric traction or other transmissions in the vicinity (e.g. Abbadia, Bordeaux, Toulouse, Le Pic du Midi, Lyon, Perpignan, Marseilles, Nice, Clermont-Ferrand, Nantes). The encroachment of urbanisation in the Paris region, also affected Val-Joyeux Observatory and, at the beginning of 1930, a new site was needed to house the French observatory.

The new site was situated in the Forêt d'Orléans about 90 km south of Paris, near the village of Chambon la Forêt. In Spring 1934, the new buildings were erected, and by October 1935 the installation of the instrumentation was started. In order to determine the differences in the magnetic field between sites, each observatory recorded in parallel from January 1st 1936 to April 1st 1937 [Eblé, 1938].

On 1st January 1936, Chambon la Forêt as officially opened the French National Magnetic Observatory. The observatory is situated in a pine and oak forest, 5 km from the nearest village. The closest neighbour, a forest warden, is located at about 4 km. The observatory area covers about 30 000 m². There are six huts for various measurements, a main building with offices, residential apartments and guest rooms (Figure 2).

Since the opening of the observatory, magnetic variations were recorded by Mascart instrument and direct observations were made three time each day. Declination and inclination absolute measurements were made using a magnetic theodolite (Chasselon) and an inductor (Cambridge) respectively. In 1939 another variometer, the La Cour, was installed and, the Chambon la Forêt observatory started publishing data from this instrument in 1946.

The development of the proton precession magnetometer is arguably the most important innovation in geomagnetic field measurements. The type of instrument tested and installed at Chambon la Forêt utilised the Overhauser effect and was introduced in 1958 (Abraham-Solomon).

In 1978 a fluxgate variometer (VFO31) was installed at the observatory. During the same period, a new, portable theodolite with a fluxgate sensor was developed for measuring the components of the Earth's magnetic field. Using this instrument as a null detector, it was possible to make absolute declination and inclination measurements [Gilbert et al., 1987; Bitterly et al., 1984; Cantin et al., 1991; Bitterly et al., 1995]. The base values obtained by this combination of instruments were first published by Chambon la Forêt observatory in 1986. A new absolute measurement hut, about 60 m from the variometer vault was built in 1981. The hut, constructed of wood and synthetic materials, is non-magnetic and has an inside area of 31.5 m². It contains four concrete pillars (named P1 - P4) with marble plates on the top (Figure 3).

The azimuth mark, beyond the variometer vault, is visible from each pillar. The geomagnetic field was measured from each of the pillar and the differences between the reference pillar of the observatory (P1) and the other pillars are given in Table 1 (the differences with the old reference pillar of the observatory, P0 are also included).

Table 1. The indicated values must be added to the absolute measurements made on different pillars for obtaining the values in P1.

	P0	P2	P3	P4
D (")	+60	-32	+15	+10
H (nT)	-4.8	+1.0	+0.4	-0.2
Z (nT)	-0.3	+0.2	+0.2	-0.7
F (nT)	-2.5	+0.4	+0.3	-0.8

During the last few years that the variometer situation has changed. After a long "life" of 110 years, the Mascart variometer was retired. Four years later, in July 1992 the La Cour variometer was also retired due to the introduction of another fluxgate vector magnetometer, one year before.

Today, Chambon la Forêt Observatory possesses three fluxgate vector magnetometers (VFO31, TSA and GEOMAG, all manufactured by THOMSON SINTRA) and three scalar magnetometers (GSM10, GEOMAG SM90, LETI), which insure its good and continued operation. In the main building of the observatory one room is reserved for electronics and data acquisition. The vault and this room are connected by underground ducts for cables, etc. The data are read by PC computers and stored on floppy disks.

Base line control is accomplished by making absolute measurements twice a week. A DI-fluxgate instrument is used together with the proton magnetometers. These conditions guarantee the accuracy of the base line of the variometers to a few tenths of nT.

4.3. CHAMBON LA FORÊT WORKSHOP (Sept. 21-26, 1992)

The results of the workshop measurements are presented in two parts: 1) absolute measurements results, 2) comparisons of the variometers.

4.3.1. Absolute measurements

Absolute measurements of the geomagnetic elements are made at regular intervals in order to establish baseline values. The instruments used for absolute measurements remain largely traditional, as highlighted in a recent report of IAGA. Currently, the combinations used are either a DI-fluxgate and proton magnetometer (for measuring *D*, *I* and *F*) or Quartz Horizontal Magnetometer (QHM), declinometer, and proton magnetometer (for measuring the *H*, *D* and *F*).

Table 2. Participants of the absolute measurements session and the instruments used in their respective country.

Participant	Country	Instrument type
ALEXANDRESCU Mioara	Romania	QHM
AUSTER Volker	Germany	MVPm
CHOLAKOV Ilia	Bulgaria	QHM, Declinometer, PPM
COMMINS Kierran	Eire	QHM, Declinometer
GILBERT Daniel	France	DI-flux
KULTIMA Johannes	Finland	DI-flux
LINTHE Hans-Joachim	Germany	DI-flux
OLAFSDOTTIR Birna	Sweden	DI-flux
PAJUMPÄÄ Kari	Finland	DI-flux
PEDERSEN Borge	Denmark	DI-flux
SCHULTZ Gunter	Germany	DI-flux
SAS-UHRYNOWSKI Andrei	Poland	DI-flux
ZOLTOWSKI M. Andrei	Poland	DI-flux

The term "absolute observation" is attributed to Gauss. True absolute measurements, in his sense, have been remarkably few in number. The term "relative instruments" is applied to instruments which require periodic calibration for establishing and maintaining their instrumental constants.

In the 1980's, the advantage of a fluxgate sensor to define the direction of zero axial field was used with the fluxgate theodolite. Now, this type of magnetometer is used, more and more, at a number of observatories for absolute observations of declination and inclination. This new configuration allows continuous standardisation of the measured fluxgate component values.

In order to compare the instruments and the measurement methodology, it is beneficial to hold "absolute measurement" sessions during geomagnetic observatory meetings. During the CLF workshop, three days (21st - 23rd September 1992) were reserved for the absolute measurements. Table 2 lists the participants and the instruments they used.

Table 3. Differences between the absolute measurements obtained by various observers and Chambon la Forêt standards.

For the Chambon la Forêt observatory, 1nT is equivalent to 9 seconds of arc on D

Observer	Date	Delta D (Seconds)	Delta H (nT)	Delta Z (nT)	Components measured
ALEXANDRESCU	23/09/92		0.8		H
	23/09/92		1.3		H
	23/09/92		1.2		H
AUSTER	22/09/92	17"	0.2	0.0	D I
	22/09/92	19"	0.4	0.3	
CHOLAKOV	21/09/92	-5"	-4.4		DH
	21/09/92		-2.7		
	21/09/92		-2.9		
	22/09/92	-13"	-3.1	7.4	
	22/09/92		-2.3	5.6	
COMMINS	22/09/92		-2.9		
	22/09/92	4"	11.4	-5.7	DH
GILBERT		-2"	0.1	-0.1	
	21/09/92	-2"	-0.1		
	21/09/92	-1"	-0.2		
	22/09/92	-2"	0.1		
	22/09/92	1"	-0.2		
	22/09/92	3"	0.1		
	22/09/92	-1"	-0.4		
	23/09/92	2"	0.0		
KULTIMA OLAFSDOTTIR	23/09/92	1"	0.1		
	21/09/92	4"	0	0.2	DI
	22/09/92	0"	0.2	0.2	DI
	22/09/92	-1"	0.2	0.2	
	23/09/92	8"	-0.3	0.2	
PAJUMPÄÄ PEDERSEN	23/09/92	8"	0.3	0.2	
	21/09/92	6"	0.3	0.1	DI
	22/09/92	6"	-0.2	0.3	DI
SCHULTZ	22/09/92	4"	-0.5	0.4	
	23/09/92	3"	-0.2	-0.2	
	23/09/92	0"	-0.2	0	
	21/09/92	7"	0.1	0	DI
SAS-UHRYNOWSKI	22/09/92	3"	-0.1	0.1	
	23/09/92	-6"	-0.1	0	DI
ZOLTOWSKI	23/09/92	-4"	0.1	0.1	
	21/09/92	5"	1.9	-0.9	DI
	21/09/92	9"	0.3	0	

During the "absolute measurement" sessions, the "measurement values" of all participants were collected. For this publication, the "untreated" data were analysed using a simple statistical method. The next three tables give the results of this analysis, and are listed by observer and observatory.

Table 4 shows that, generally speaking, the standard deviation for all components is less than 5 seconds of arc and 5 nT (excepting NGK and PAG).

Table 4. Average differences (retaining all measurements) between the absolute measurements performed by the observatory's representatives and Chambon la Forêt observatory standards.

OBSERVATORY	IAGA Code	SD	SH	SZ
BELSK	BEL	1.0	0.6	-0.2
BROFELDE	BFE	3.2	-0.3	0.1
CHAMBON LA FORÊT	CLF	0.1	0.1	0.1
LOWÖ	LOV	3.8	0.1	0.2
NIEMEGK	NGK	18.0	0.3	0.1
NURMIJÄRVI	NUR	*		
PANAGYURISHTE	PAG	-9.0	-3.5	6.5
SODANKULÄ	SOD	*		
SURLARI	SUA		1.1	
VALENTIA	VAL	1.0	5.8	-2.9

* Only one measurement

Table 5 is more representative of the instrumental differences than of operator "know-how". It appears that the MVPm instrument from Niemegek observatory has significant errors in its D measurements. For the same geomagnetic component the measurements performed with the Panagyurishte instruments are also out of range. The RMS values for the two other components are greater for PAG and VAL. All the other instruments show a great confidence in the base line level.

Table 5. Root Mean Squares (RMS) values of the absolute measurements performed by various observatory representatives, from Chambon la Forêt observatory standards.

OBSERVATORY	IAGA Code	D rms	H rms	Z rms
BELSK	BEL	6.3	1.0	0.5
BROFELDE	BFE	3.9	0.3	0.3
CHAMBON LA FORÊT	CLF	1.8	0.2	0.1
LOWÖ	LOV	5.7	0.3	0.2
NIEMEGK	NGK	18.0	0.3	0.2
NURMIJÄRVI	NUR	*		
PANAGYURISHTTE	PAG	9.8	3.2	6.6
SODANKULÄ	SOD	*		
SURLARI	SUA		1.0	
VALENTIA	VAL	3.2	8.1	4.0
WINGST	WGN	5.4	0.1	0.1

* Only one measurement

In order to make this analysis more representative, the results of the RMS values are plotted in Figure 4. This figure details the "instrumental" problems for every observatory. It

is very important to underline the differences between the H values measured with the QHM system and H values computed using D and I measurements. The absolute mean for the differences between the absolute measurements performed with the QHM system and CLF observatory standards is greater than 2 nT, even if we don't use in this computation the first measurement performed by VAL's representative (11.4 nT). When the DI-flux system is used, this mean is less than 0.5 nT. Regarding D , it is important to outline the range of this absolute mean is less than 5", ignoring NGK and PAG measurements.

The quality of the geomagnetic observatory data can be characterised by good baseline control, maintained by periodic absolute measurements performed with standardised instrumentation. Thus, nowadays, a DI-flux and a PPM combination should preferentially be used in observatories for D , I and F measurements and for baseline control.

4.3.2. Comparison of the recording instruments

The second important aspect of this workshop relates to variometer comparison and calibration using Chambon la Forêt as the reference observatory. The time-span for completion of the comparisons ranged between a few days and up to three months depending upon the installation data.

Tested instruments and methodology applied

During this workshop the tested instruments came from five countries. Table 6 lists the variometer's names in order of their installation date :

Table 6. Recording instrument comparisons - Participants and the instruments used

Instrument type	Country	Observatory	Comments
VFO	FRANCE	Chambon la Forêt	Reference CLF
TSA	FRANCE	Chambon la Forêt	Thomson (Magnolia)
390	FRANCE	Chambon la Forêt	INTERMAGNET
DLM	HUNGARY	Budapest	L. Hegymegi
STT	FRANCE	Strasbourg	J. Bitterly
DOU	BELGIUM	Dourbes	J. Rasson
MPE	GERMANY	Niemegek	V. Auster
120	DENMARK	Copenhagen	O. Rasmussen
123	DENMARK	Copenhagen	O. Rasmussen

All the variometers which were brought to CLF observatory were tested by comparing their recordings with those of the standard observatory reference (VFO31). It was not found possible to compare directly horizontal components because some instruments were not exactly aligned along the same direction ; i.e. that the two horizontal components needed to be recalculated before comparison. The vertical component comparison is done in a direct way, considering that the sensors installation was realised with a correct levelling out.

In the following, the notations and relations between components are summarise as being:

H Horizontal component

D Declination

Z Vertical component

H_r, D_r, Z_r Recording components of the reference variometer

H_t, D_t, Z_t Recording components of the tested variometer

H_{or}, D_{or}, Z_{or} Baseline values of the reference variometer

H_{ot}, D_{ot}, Z_{ot} Baseline values of the tested variometer

$$H = \sqrt{(H_{or} + H_r)^2 + D_r^2} = \sqrt{(H_{ot} + H_t)^2 + D_t^2}$$

then

$$H_{ot} = \sqrt{H^2 - D_t^2} - H_t$$

$$D = D_{or} + \arctan(D_r / (H_{or} + H_r))$$

$$= D_{ot} + \arctan(D_t / (H_{ot} + H_t))$$

then

$$D_{ot} = D - \arctan(D_t / (H_{ot} + H_t))$$

and

$$Z = Z_{or} + Z_r = Z_{ot} + Z_t$$

$$Z_{ot} = Z - Z_t$$

Description of the difference-plots

The Figures 5-12 depict the results of the comparison recordings. On each page there are two figures. Each day-plot shows two curves :

1. With high sensitivity (1 nT/div.) – the difference between the tested variometer and the reference one (it corresponds to the baseline values with a changed sign);

2. With small sensitivity (50 nT/div.) – the plot of the corresponding recording component.

The first correction applied synchronised the recordings, by interpolating the minute values, in order to obtain the minimum differences.

Sensitivity determinations

a) VFO31 variometer The reference variometer used for testing the visiting variometers was VFO31; its sensitivity, computed and measured, is known within 0.1%. The VFO31 sensitivity was found using two methods.

The first consists of comparing the value of the compensated field displayed on the variometer with the corresponding base line value [J.M. Cantin and G. Petiau, *pers. comm.*]. This test can be applied to both to H and Z components, but not to D . As an example, for CLF, the H compensation is 20900 units, corresponding to a base line value of 20880 nT. Changing the compensation by 1000 units, (i.e. with $(20880/20900) \cdot 1000$ nT, and comparing the obtained result with the recorded variation gives the sensitivity.

The second method consists of measuring the variations in the baseline for the most important diurnal variations in the geomagnetic field. For the CLF observatory, the daily variation is about 20, 100 and 30 nT for H , D and Z components respectively. The absolute measurements are made with an accuracy of ± 0.1 nT. This test is a little bit difficult, but by making a very large number of absolute measurements, the same sensitivities as those found by applying the first method are obtained : $k = 0.994$ and $k = 0.995$, for H and Z component, respectively (sensitivity values given by the constructor have to be multiplied by the corrective coefficient k). It is also possible to compute also the sensitivity for D and it is found as $k = 0.996$ (component for which the daily variation is quite important).

b) Guest variometers As mentioned above, the geomagnetic field variations recorded by one variometer and the differences with the reference variometer (VFO31) are shown on the same figure. While the two curves show similar behaviour, the sensitivity of the variometers is different.

Because the sensitivity of the VFO31 variometer is known, it is possible to find a sensitivity correction coefficient (k) for which the differences are no larger linked to the natural field variations. The k coefficient can therefore be applied to the tested variometer (corrected value of the sensitivity = value given by the visitor $\times k$).

Particular attention was paid to those variometers which were installed outside. The test was done using rapid variations (i.e. bays) since the diurnal variation cannot be used as it is mixed with the temperature drift.

Temperature coefficient estimation

After applying the sensitivity correction, the difference for the variometers installed outside still presented a drift linked to the temperature variations (the variometers installed in the vault were not affected by this kind of influence). In order to estimate this coefficient, the records of the sensor and electronic temperature variations of the STT variometer were used, because this instrument was also installed outside.

Noise estimation

After the temperature coefficient has been applied, the remaining difference was due to the noise of the variometers, both the tested and the reference one (VFO31). The following test consisted of comparing two of the CLF variometers, (VFO31 and TSA) to find the maximum noise of the VFO31.

In order to be able to directly compare the signal amplitude with the variometer noise, and to find the accuracy of the measured value, it is easier to express the noise by its peak to peak (p-p) value for the considered frequency (i.e. pink noise). This corresponds to its mean amplitude (p-p) for each period. The noise (N_{p-p}) can then be expressed as a function of the effective noise density:

$$N_{p-p}(\Delta F = F) = N_{ef}(\Delta F = 1) \cdot 2\sqrt{2} \cdot \sqrt{F}$$

NB. The estimations and computations were calculated for all the days recorded and for each variometer. For the present publication only a representative day was chosen (see Figures 5-12).

4.3.3. Baseline values

In order to compare the baseline values provided by the tested variometers, differences between the variations recorded by the instruments and the computed absolute values using the standard observatory instruments were determined, for one hour each day. This comparison was done, when it was possible between 0-1 UT, when the temperature was the most stable. The baseline values are represented in Figure 13.

4.3.4. Results and conclusions of the comparative recordings

As mentioned above, the variometers brought to Chambon la Forêt observatory were tested, in order to analyse their sensitivity and to estimate their temperature and noise coefficients. The results of the these comparisons are summarised in Table 7.

Table 7. The sensitivity correction, temperature and noise coefficients for tested variometers during the Chambon la Forêt workshop

Variometer		Sensitivity correction coefficient (k)	Temperature coefficient nT/°C	Noise 1-5 mn	nT pp 1/4-1h	F=F 2-24h
VFO	H	0.994	-0.9	0.1	0.1	0.2
	D	0.995	0.2	0.1	0.1	0.2
	Z	0.996	0.2	0.1	0.1	0.2
TSA	H	0.997	-0.5	0.1	0.1	0.2
	D	0.992	0	0.1	0.1	0.2
	Z	1.003	0.1	0.1	0.1	0.2
390	H	0.998	vault	1.0	2	0.3
	D	1.003	T=cst	1.4	0.2	0.2
	Z	1.005		0.2	0.2	0.2
DLM	H	0.984	vault	2	0.3	0.4
	D	0.985	T=cst	0.2	0.2	0.4
	Z	0.986		0.2	0.2	0.3
STT	H	1.002	E.35 S.6	0.5	0.4	0.3
	D	1.004	-0.1 0.5	0.5	0.4	0.3
	Z	1.009	-0.1 1.1	0.5	0.3	0.2
DOU	D	1.019	0.7	0.4	0.4	0.4
	I	1.036	0.3	0.3	0.4	0.4
MPE	H	1.030	0.6	0.3	0.4	1.0
	D	0.980	-0.3	0.4	0.4	0.8
	Z	1.000	-0.2	0.3	0.4	0.8
120	H	0.996	vault	0.3	0.4	0.5
	D	0.995	T=cst	0.3	0.4	0.5
	Z	0.996		0.4	0.5	0.6
123	H	1.004	vault	0.4	0.5	0.6
	D	1.000	T=cst	0.4	0.5	0.6
	Z	1.000		0.3	0.4	0.5

* perturbations - approximating a square wave

A close look at the recordings made by the different instruments lead to, the following short remarks:

- a) The recording of the temperature variations for the STT instrument was used to estimate the temperature coefficients for the electronics (E) and the sensor (S).
- b) The 390 variometer displays some noise for periods shorter than one minute.
- c) For the DOU variometer, an orthogonality problem was noted, of about 1°. This was corrected by computation, as is shown in the corresponding figure, applying $D_c = D + 0.2$ and $I_c = I - 0.018$.
- d) The same orthogonality problem was detected for the MPE system, between D and H components. It also was corrected by $H_c = H + 0.03 \cdot D$, indeed with 1.7°.

It may be concluded that the recordings are close to an accuracy of about 1 nT. Some unexplained amplitude variations of a few nT occurred in some instruments. This kind of comparison helped in detecting these errors. It is very important to check the recording instruments against each other and, preferably, against different types of instruments. From the results of these measurements, it is self-evident that these workshops are essential to the observatory community and must be continued. Also the instruments to be tested must be installed at the organising site some weeks before to permit good comparisons to be made.

4. 4. CONCLUSIONS

The Chambon la Forêt workshop represented a further step in understanding the problems linked to observatory data acquisition and processing. At an epoch when the computer codes are more and more important in observatories, it could

be thought that the weak points in observatory practice had disappeared; this workshop showed that handling of digitally recorded data is much more difficult than early believed, in spite of the computers used in their acquisition and their computation.

The results presented above show that problems still exist in the practice of absolute measurements and in the quality of the recording instruments. It is difficult to get the same quality of the geomagnetic field data when the instruments are so different in their resolution ranges. It is easy to install a 3-axis fluxgate variometers giving field variations with a resolution of 1 nT. If a tenth of nT is required, more effort and care to achieve observatory-standard data from the same equipment are also required. In order to achieve observatory quality data, the reliability of the absolute instruments must be assured.

The observatories are hard-pressed by their funding agencies to justify their existence. Fortunately, during the last few years, some important programmes, (i.e. INTERMAGNET), have provided the means to develop new applications for geomagnetic data, but more importantly, the programmes have stressed the quality of data. The INTERMAGNET standards can be accomplished by some observatories, but it must be kept in mind that some others, are still far away from meeting the minimum required standards.

Unfortunately, the INTERMAGNET programme cannot attract the observatories situated in areas where the financial, political or social problems are important. Some of these observatories could be closed down in the near future. The number of the observatories recently closed or at risk is of great concern to the community. Many observatories in the

Former Soviet Union are in imminent danger of abandonment. Since 1990, the situation worsened (salaries of personnel have not been paid, recording equipment have broken down and not been repaired, absolute measurements have ceased or become of very poor quality). The way in which aid is furnished to observatories at risk by established observatories has and will stall closure of some key stations on the world map observatory distribution. The participation of personnel from these observatories in the international meetings is important for opening contacts and for keeping their interest in this field of activity.

Now, even more than before, the geomagnetic field observer must be the producer and first user of the data. In this way it is possible to get the first information about the quality of the data produced and to understand the physics of the phenomenon present behind them. However, one must not lose the links with tried and tested methods and principles, and the quality control of the absolute measurements must not be compromised. Finally, it must not be forgotten that an observatory is a "site of excellence", permitting work with old and present-day data coupled with present-day and future ideas.

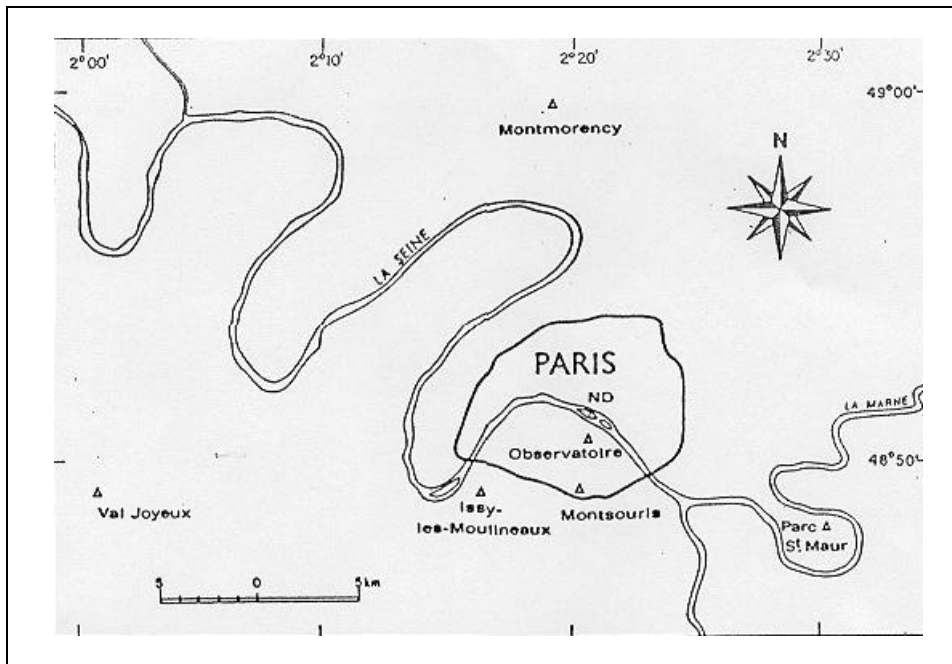


Figure 1. Map showing sites in the Paris region where geomagnetic field observations were made from 1541 to 1936 (date when Chambon la Forêt observatory was opened).

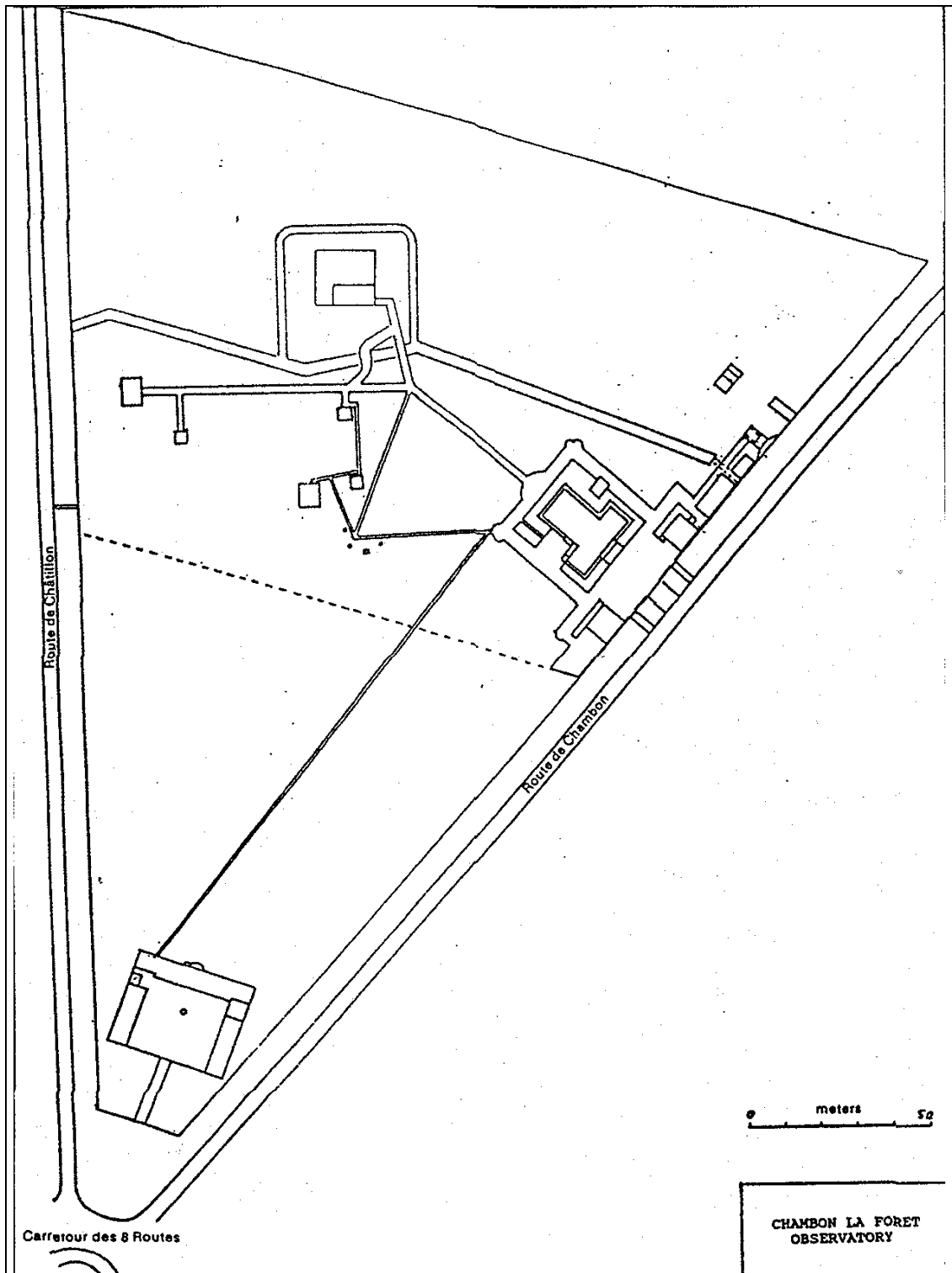


Figure 2. Map showing the Chambon la Forêt Observatory.

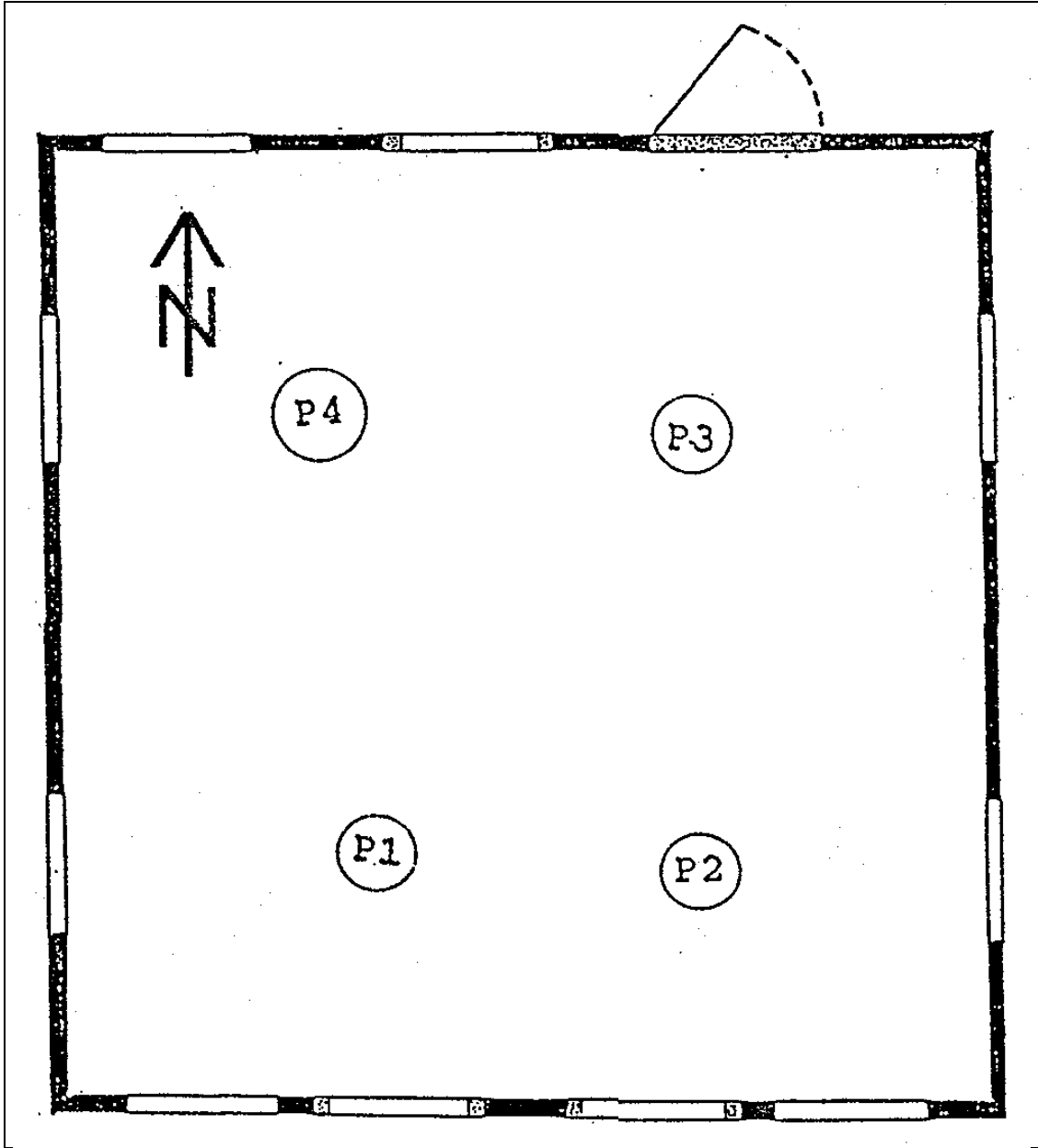


Figure 3. The new building for variometers calibration ("absolute measurements" house).

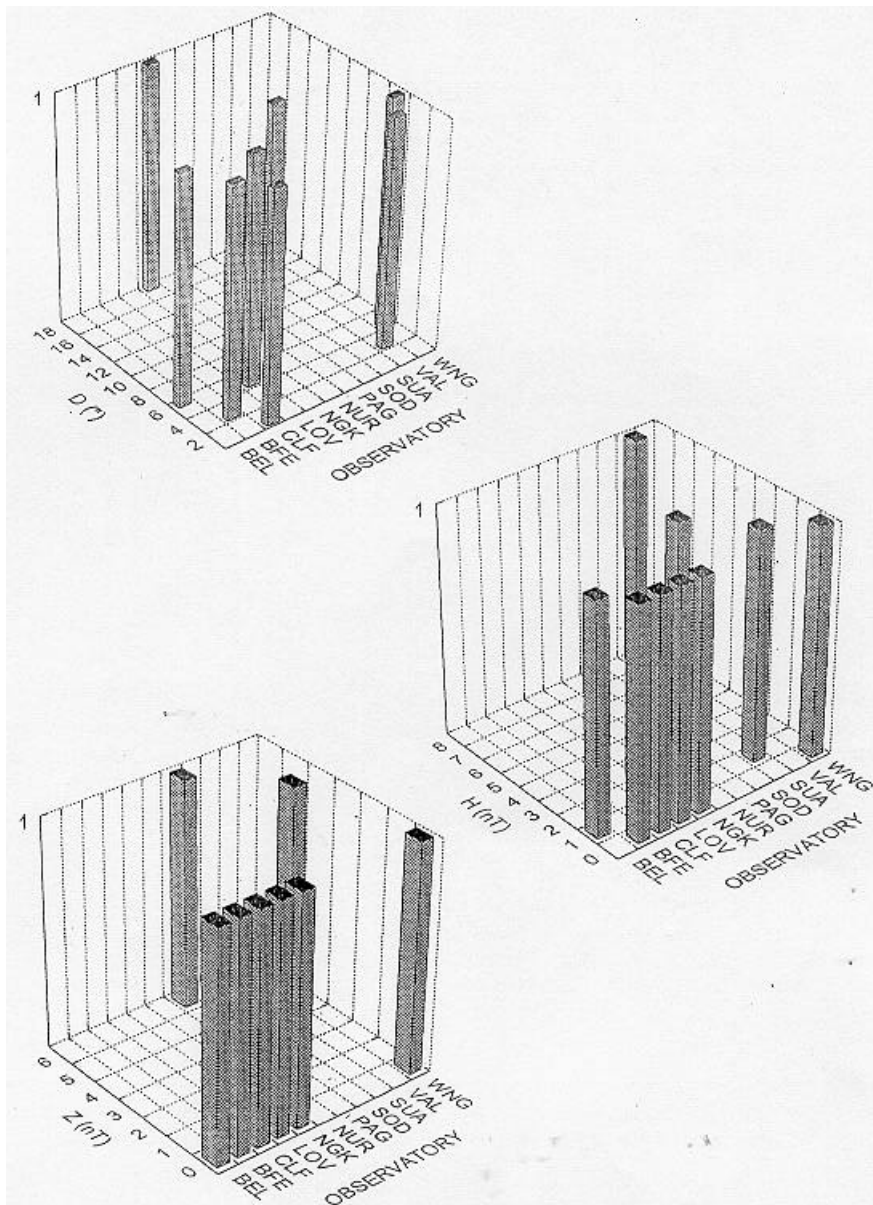


Figure 4. Root mean squares of the absolute measurements performed by the observatory representatives from Chambon la Forêt observatory standards (from the top to the bottom: *D*, *H* and *Z* component).

MAGNETOMETER COMPARISON

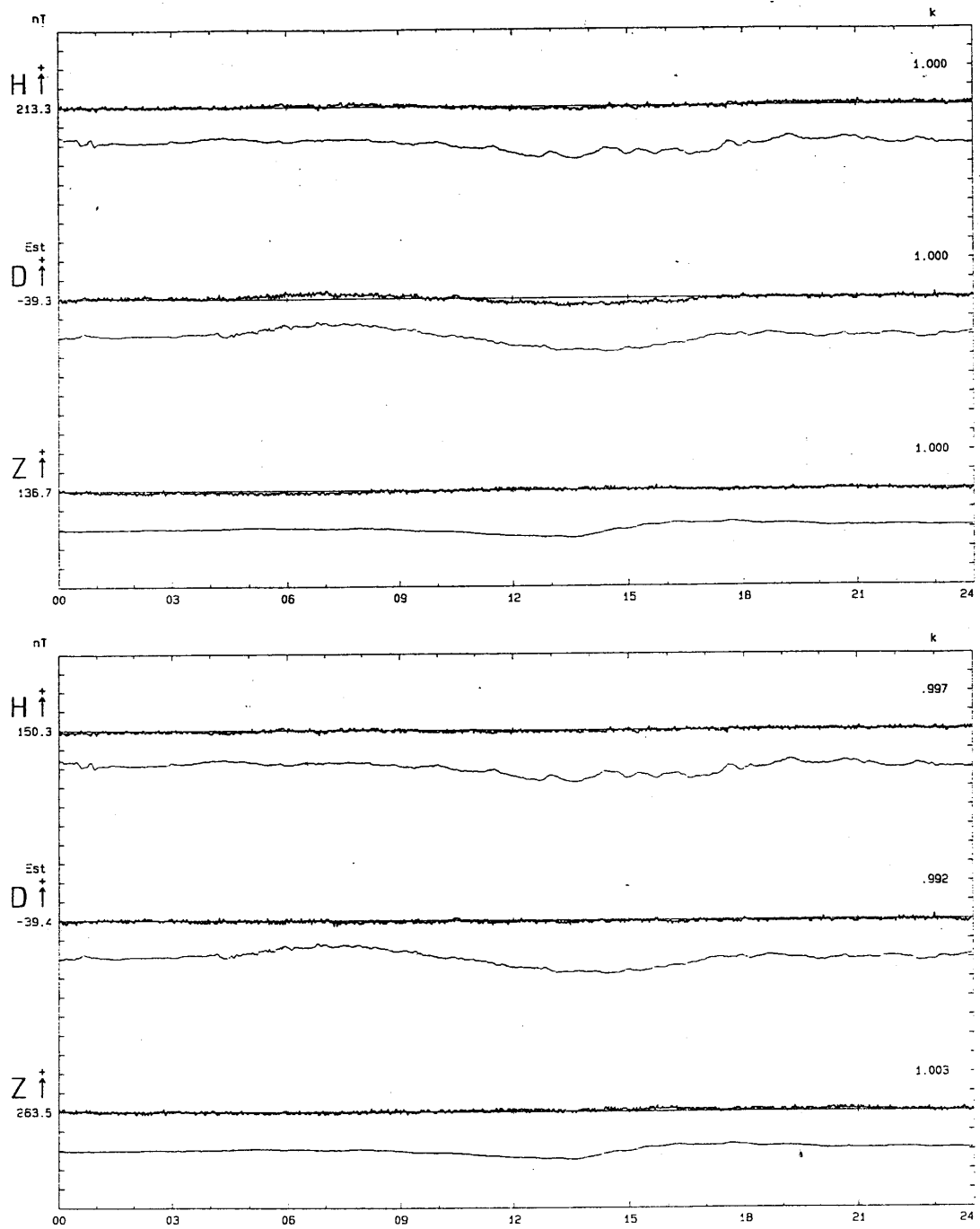


Figure 5: Test TSA reference VFO 12 JUL 1992

horizontal scale 1 hour/div, vertical scales component 50 nT/div, difference TSA-VFO 1 nT/div

MAGNETOMETER COMPARISON

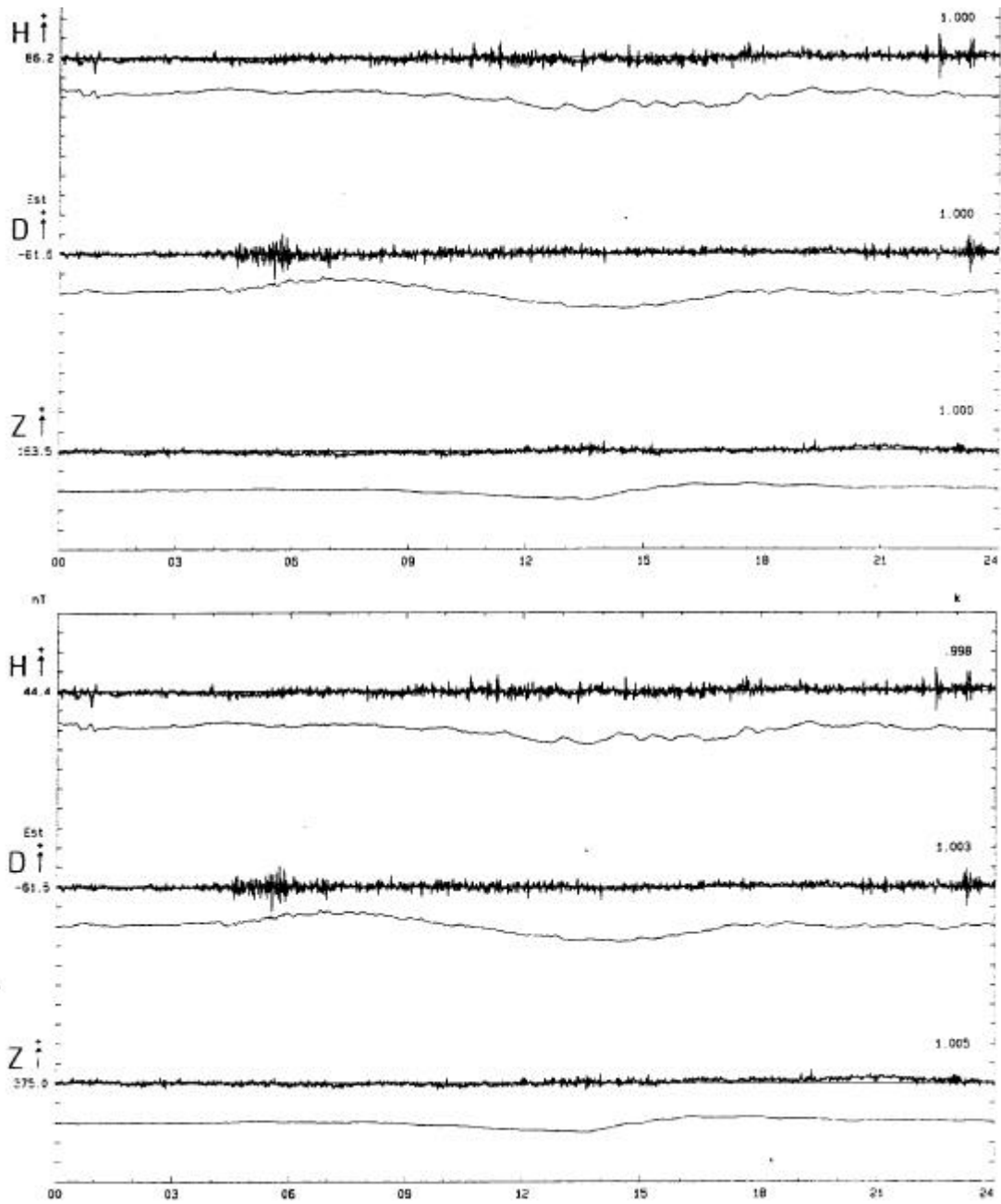


Figure 6: Test 390 reference VFO 12 JUL 1992

horizontal scale 1 hour/div, vertical scales component 50 nT/div, difference 390-VFO 1 nT/div

MAGNETOMETER COMPARISON

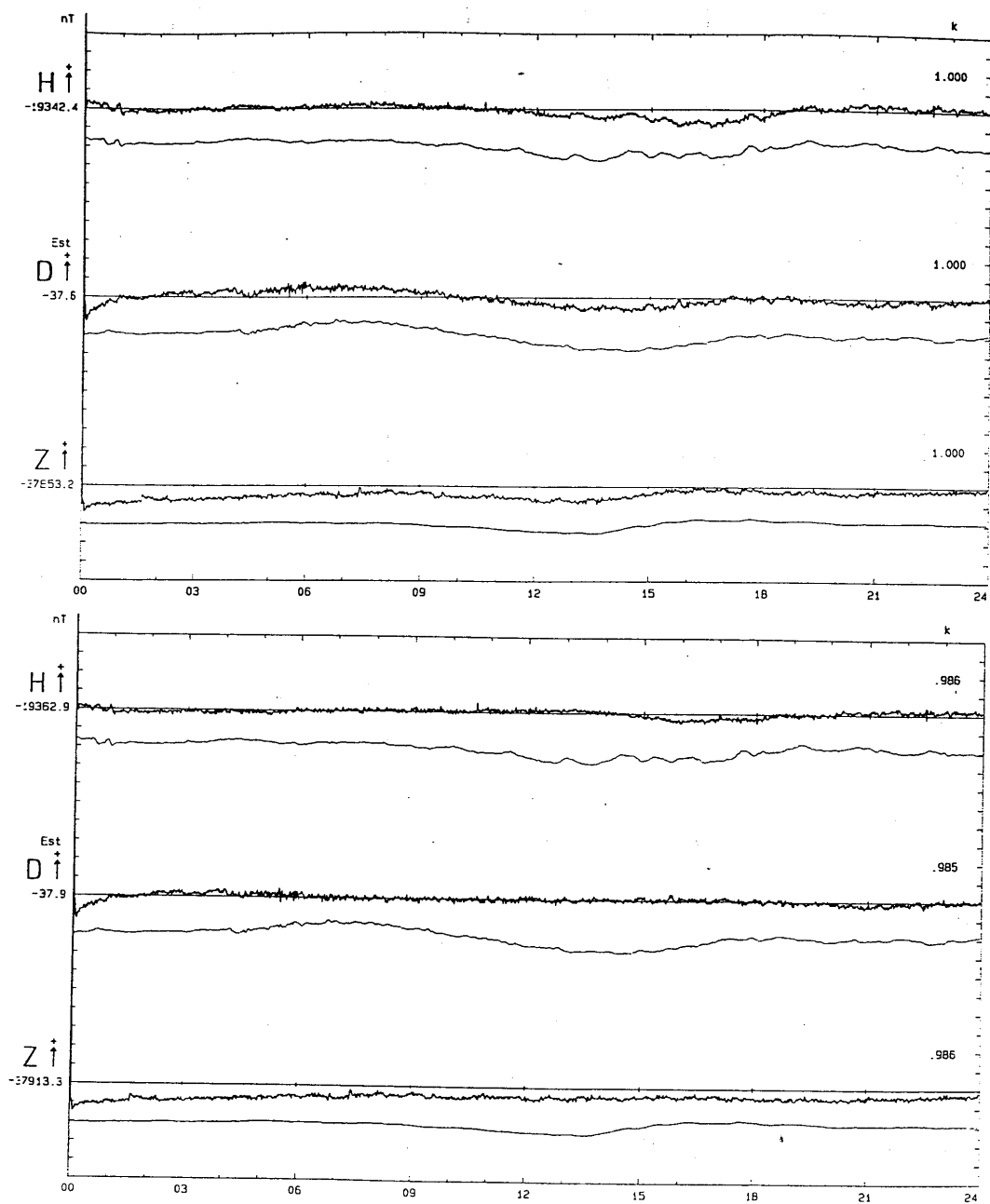


Figure 7: Test DLM reference VFO 12 JUL 1992

horizontal scale 1 hour/div, vertical scales component 50 nT/div, difference DLM-VFO 1 nT/div

MAGNETOMETER COMPARISON

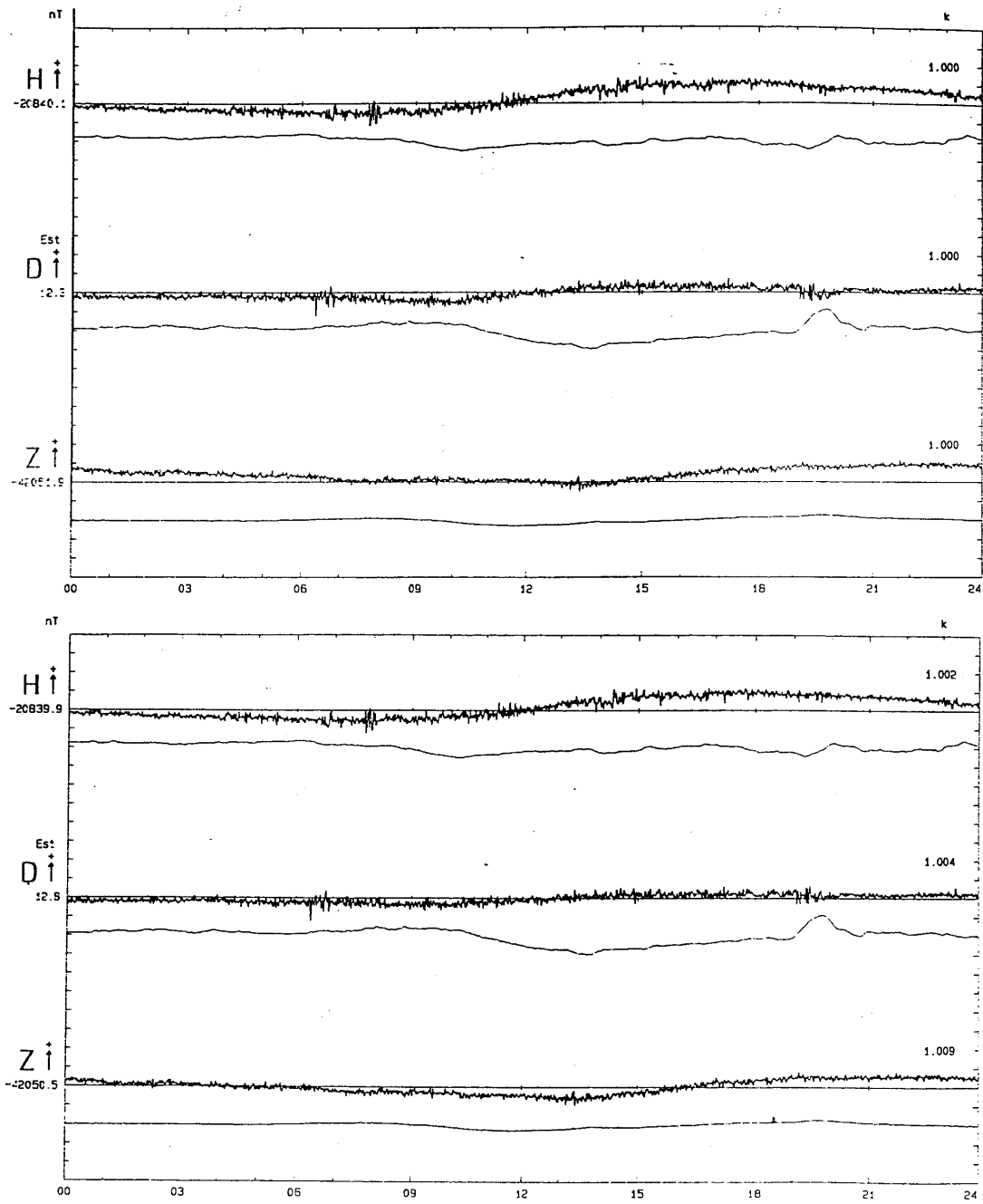


Figure 8: Test STT reference VFO 16 SEP 1992

horizontal scale 1 hour/div, vertical scales component 50 nT/div, difference STT-VFO 1 nT/div

MAGNETOMETER COMPARISON

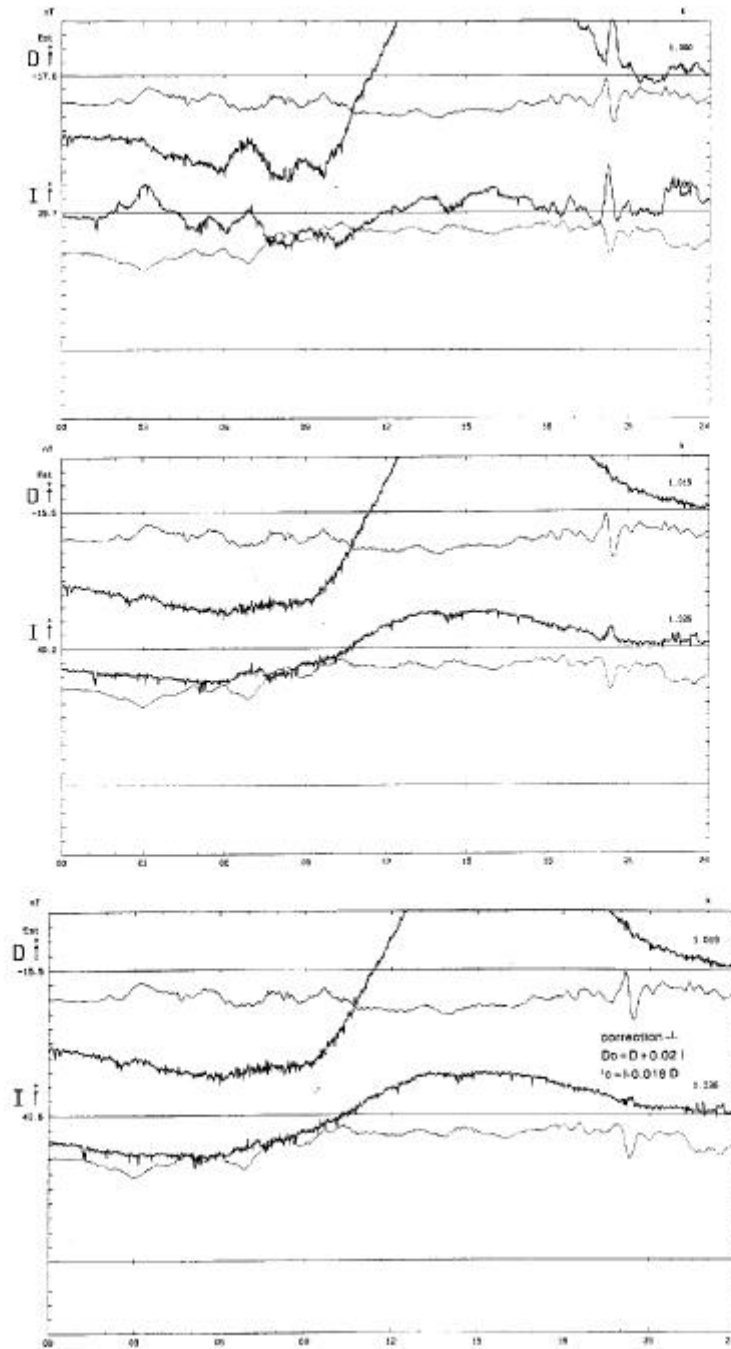


Figure 9: Test DOU reference VFO 17 SEP 1992

horizontal scale 1 hour/div, vertical scales component 50 nT/div, difference DOU-VFO 1 nT/div

MAGNETOMETER COMPARISON

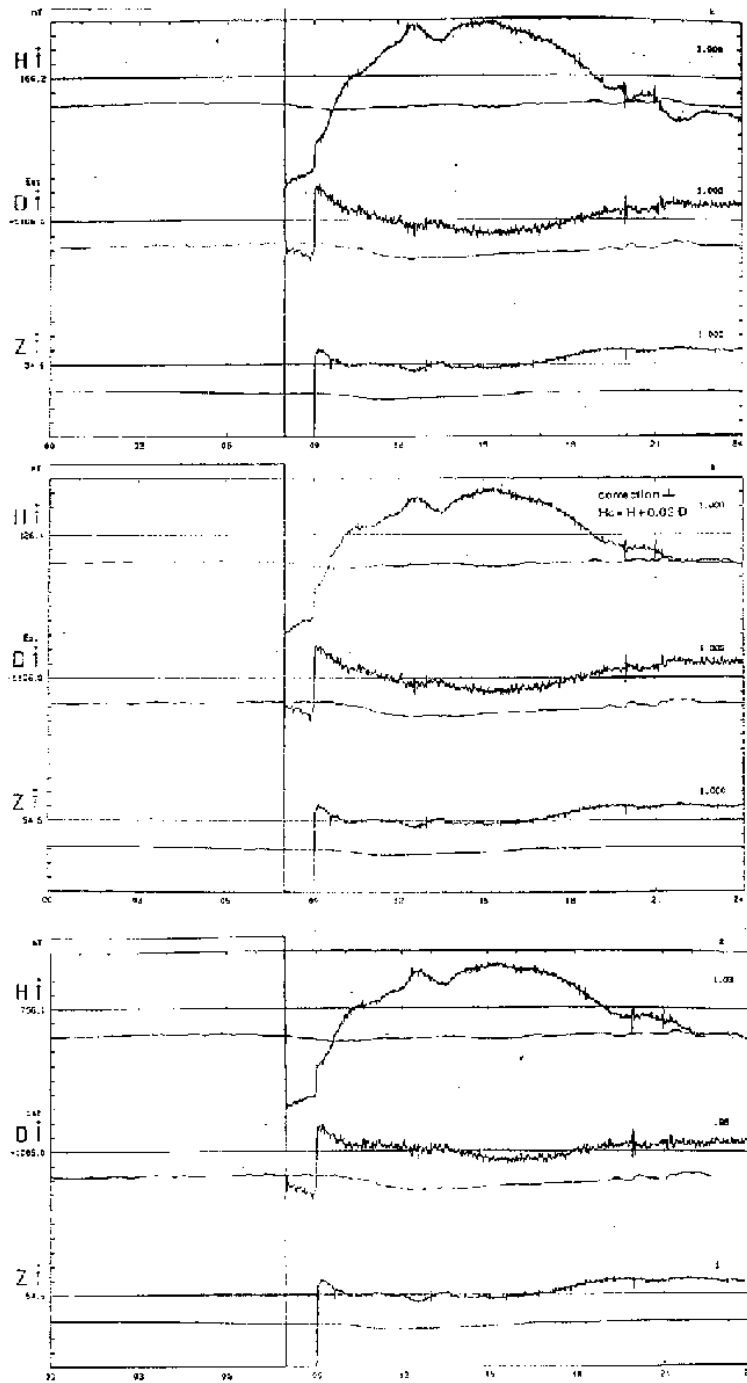


Figure 10: Test MPE reference VFO 14 SEP 1992

horizontal scale 1 hour/div, vertical scales component 50 nT/div, difference MPE-VFO 1 nT/div

MAGNETOMETER COMPARISON

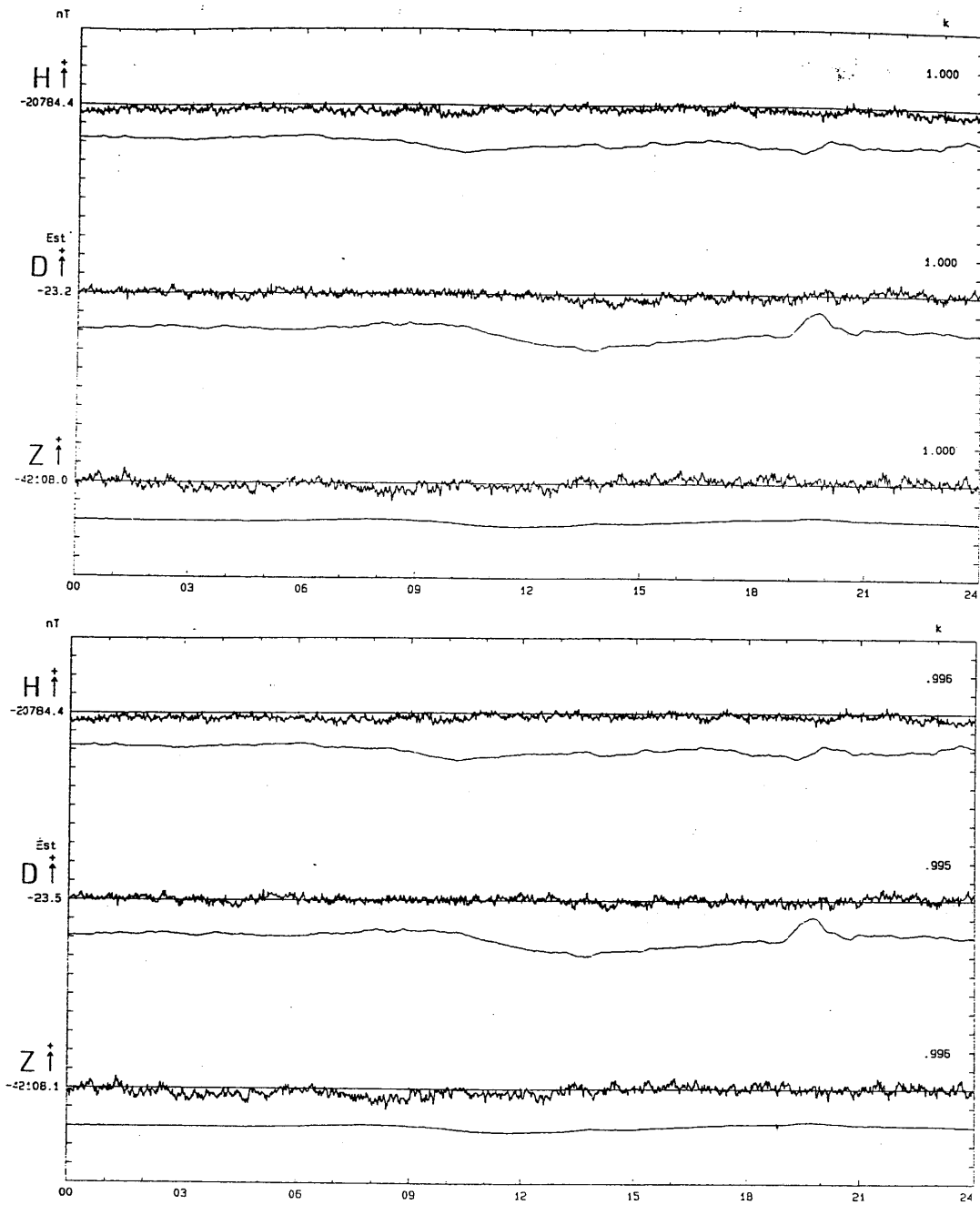


Figure 11: Test 120 reference VFO 16 SEP 1992

horizontal scale 1 hour/div, vertical scales component 50 nT/div difference, 120-VFO 1 nT/div

MAGNETOMETER COMPARISON

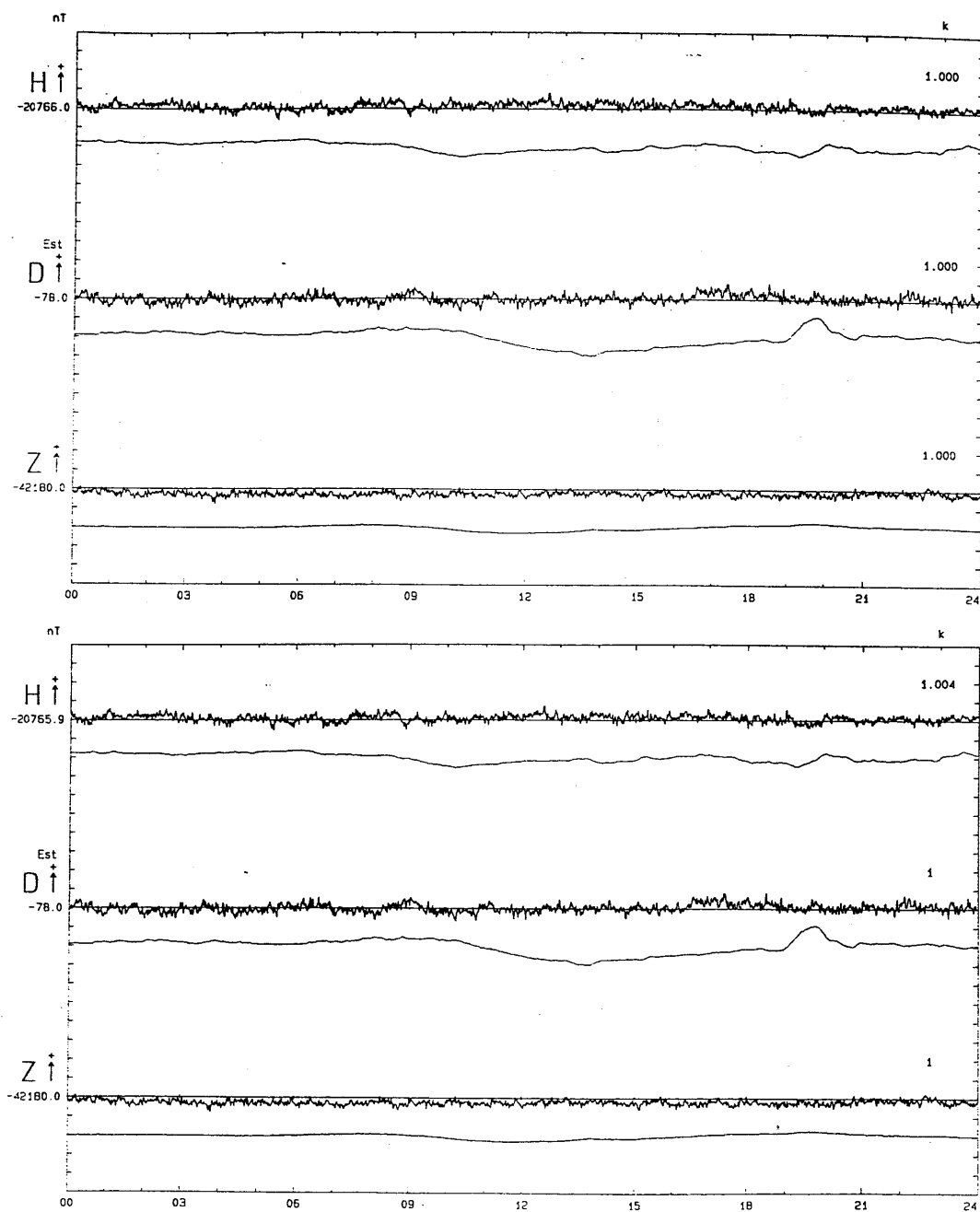


Figure 12: Test 123 reference VFO 16 SEP 1992

horizontal scale 1 hour/div, vertical scales component 50 nT/div difference, 123-VFO 1 nT/div MAGNETOMETER

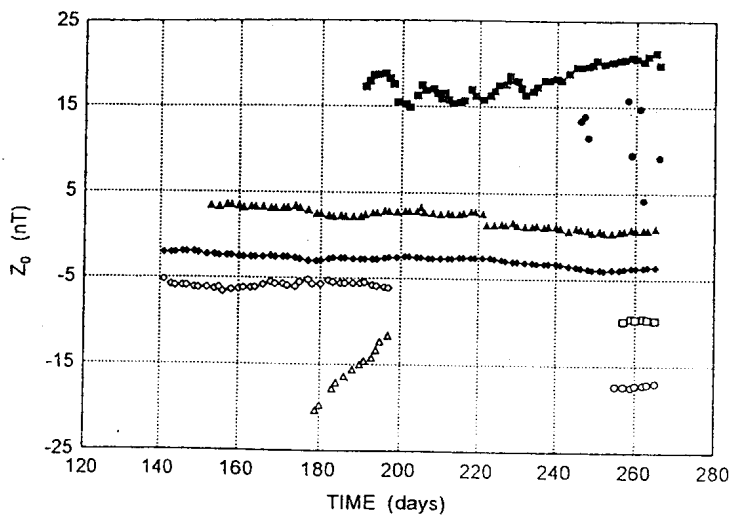
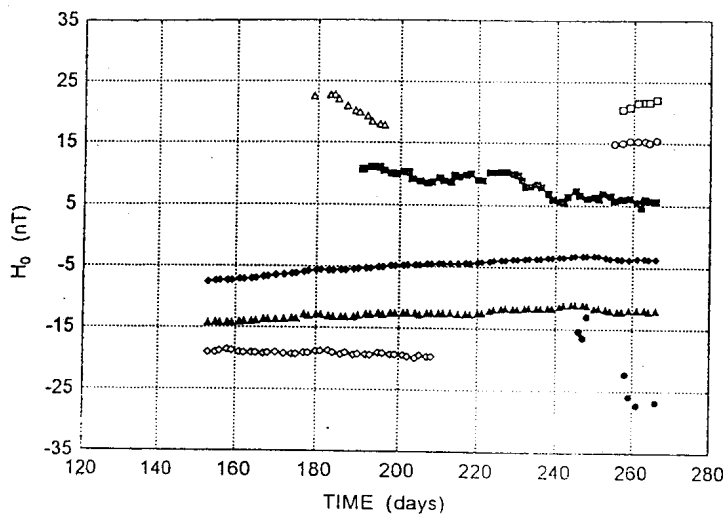
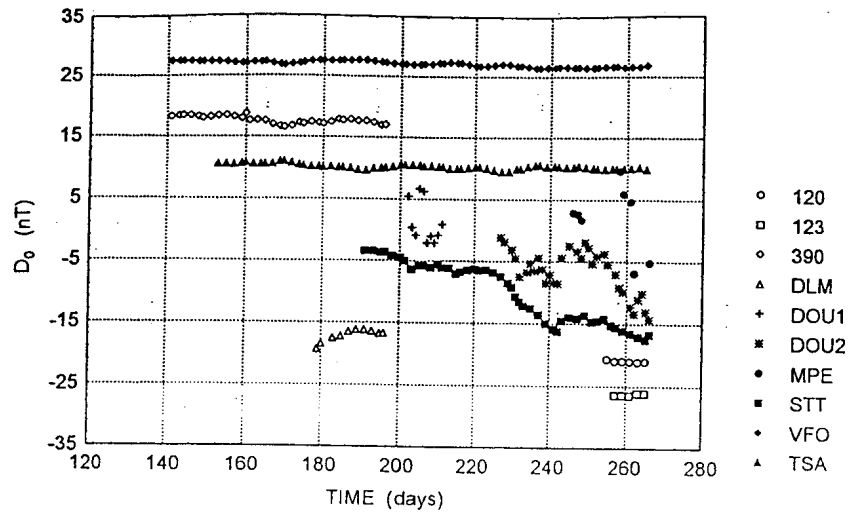


Figure 13: Baselines for the variometers installed for the recording comparison at Chambon la Forêt observatory (from the top to the bottom : D, H and Z component)

RÉFÉRENCES / REFERENCES

- Alexandrescu M., Courtillot V., Le Mouël J.-L., Geomagnetic field direction in Paris since the mid-XVIIth century, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **98**, 321-360, 1996.
- Bitterly, J., Cantin, J.M., Schlich, R., Folques, J. and Gilbert, D., Portable magnetometer theodolite with fluxgate sensor for Earth's magnetic field component measurements. *Geophysical Surveys*, **6**, 233-239, 1984.
- Bitterly, J., Maisons, C. and Schlich, R., Absolute magnetic measurements and secular variation at French subantarctic islands repeat stations, *IUGG XIXth General Assembly*, 9-22 août 1987, Vancouver, GA5.1-7, abstract p. 668, 1987.
- Bitterly, J., Pérès, A., Bitterly, M. et Folques, J., Campagnes de mesures dans les stations de répétition du Territoire des Terres australes et antarctiques françaises, résultats pour la période 1981-1993, *Rapport interne EOPG, Strasbourg*, décembre 1994.
- Bitterly J., Gilbert D., Cantin J.M., Burdin J., Pérès A., Développement des magnétomètres théodolites à vanne de flux dans les observatoires magnétiques français 1975-1995, in *Observations magnétiques, Bulletin n° 8, BCMT Paris*, 99-129, 1995.
- Campbell, W.H., Introduction to Geomagnetic Fields, 290 pp., Cambridge University Press, Cambridge, 1997.
- Cantin, J.M., Bitterly, J., Burdin, J., Folques, J., Pillet, R., Bitterly, M., Gilbert, D., Menvielle, M. & Clerc, G., Recent development of the instrumentation in French antarctic magnetic observatories. *Geophysical Transactions*, **36**, n°3-4, 239-259, 1991.
- Cazin, A., Relation des observations magnétiques faites à l'île Saint-Paul pendant les mois de novembre et décembre 1874. in "Recueil de mémoires et documents relatifs à l'observation du passage de Vénus sur le soleil, mission de l'île Saint-Paul ; rédacteur : Amiral Mouchez, Institut de France, Académie des Sciences, II, n° 2, 313-369, Gauthier-Villars, Paris, 1878.
- Cecchini, G., N. Jobert, E. Le Borgne et E. Selzer, Nouveau réseau magnétique de la Corse, *Annales de l'Institut de Physique du Globe de l'Université de Paris et du Bureau Central de Magnétisme Terrestre*, t. XXX, 125-156, 1960.
- Chamberlain, N.G., Observations of terrestrial magnetism at Heard, Kerguelen and Macquarie Islands, 1947-1948, Report n° 5, Commonwealth of Australia, Ministry of National Development, Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics. Issued under the authority of Senator the Hon. W.H. Spooner, Minister for National Development., Melbourne, 1-10, 1952.
- Courtillot, V., J. Ducruix and J.L. Le Mouël, Sur une accélération récente de la variation séculaire du champ magnétique terrestre, *C.R. Acad. Sci. Paris Sér. D*, **287**, 1095-1098, 1978.
- Courtillot, V., J.-L. Le Mouël et B. Leprêtre, Réseau magnétique de répétition de la France. Campagne 1977, *Observations magnétiques, fascicule Institut de Physique du Globe de Paris*, **35**, 28 pp. 1978.
- Courtillot V. and J.-L. Le Mouël, Time variations of the Earth's magnetic field : From daily to secular, *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, **16**, 389-476, 1988.
- Eblé L., Comparaison entre les éléments magnétiques mesurés au Val-Joyaux et à Chambon-la-Forêt, in *Annales de l'Institut de Physique du Globe de l'Université de Paris et du Bureau Central de Magnétisme Terrestre*, t. XVI, 1938.
- Farr, C.C., B.A.N.Z. Antarctic Research Expedition. Report Series A, v. IV, Part. 1, Meteorology and Terrestrial Magnetism, 9-18, 1944.
- Gilbert, D. et J.-L. Le Mouël, Réseau magnétique de répétition de la France, campagne 1982, *Observations magnétiques, fascicule Institut de Physique du Globe de Paris*, **50**, 34 p., 1984.
- Gilbert D., Cantin J.M., Bitterly J., Schlich R., Folques J., Absolute measurements of the Earth's magnetic field in French observatories. *IUGG XIXth General Assembly*, 9-22 August 1987, Vancouver, 1987.
- Gilbert, D., Cantin, J.M., Bitterly, J., Schlich, R. and Folques, J., Absolute measurements of the Earth's magnetic field in French observatories : results obtained with the portable theodolite fluxgate magnetometer for the period 1979-1986. Geological Survey of Canada, paper 88-17, 59-66, (Coles R.L. ed.), 1988.
- Gilbert, D., Campagne de mesure de répétition de la France (1986-1987), Gilbert, D. et J. Bitterly, Guide pour les campagnes de mesures faites dans les stations du réseau magnétique de répétition français, in : *Observations magnétiques, Bulletin n°5, réseaux magnétiques de répétition, B.C.M.T., France*, 5-34 et 77-97, 1994.
- Gilbert, D., Campagne de mesure de répétition de la France, (1992), in : *Observations magnétiques, Bulletin n° 8, réseaux magnétiques de répétition, B.C.M.T., France*, 7-44, 1996.
- Jacka, F., Magnetic observations at Heard, Kerguelen and Macquarie Islands 1947-1951, A.N.A.R.E. Reports, series C, v.1, 8-10, 1953.
- Larzillière, H. et Lachaux, R., Réoccupation du Cap Denison, Terre du Roi Georges V; in : *Annales de l'Institut de Physique du Globe de l'Université de Paris et du Bureau Central de Magnétisme Terrestre*, t. XXXII, 139-141, 1964.
- Le Borgne, E., Réseau magnétique de répétition de la France Métropolitaine. Troisième série de mesures en ces stations, rapportées à l'époque 1958,0. *Annales de l'Institut de Physique du Globe de l'Université de Paris et du Bureau Central de Magnétisme Terrestre*, t. XXX, 99-114, 1960.

- Le Borgne, E., J.-L. Le Mouël, C. Plessard, et R. Scheib-Gluntz, Réseau magnétique de répétition de la France Métropolitaine. Quatrième série de mesures en ces stations, rapportées à l'époque 1963,0, *Annales de l'Institut de Physique du Globe de l'Université de Paris et du Bureau Central de Magnétisme Terrestre*, t. XXXIII, 271-279, 1965.
- Le Borgne, E. et J.-L. Le Mouël¹. La nouvelle carte magnétique de la France. *Annales de l'Institut de Physique du Globe de l'Université de Paris et du Bureau Central de Magnétisme Terrestre*, t. XXXV, 197-224, 1969.
- Le Borgne, E. et J.-L. Le Mouël, ². Les stations de la France métropolitaine pour le levé magnétique mondial. *Annales de l'Institut de Physique du Globe de l'Université de Paris et du Bureau Central de Magnétisme Terrestre*, t. XXXV, 225-242, 1969.
- Le Borgne E., J.-L. Le Mouël et J.C. Rossignol, Réseau magnétique de répétition de la France. Résultats de la campagne 1967. Variation séculaire entre 1947 et 1967, *Observations magnétiques, fascicule Institut de Physique du Globe de Paris*, **5**, 19 p, 1971.
- Le Borgne E., J.-L. Le Mouël et J.C. Rossignol, Réseau magnétique de répétition de la France. Campagne 1972, *Observations magnétiques, fascicule Institut de Physique du Globe de Paris*, **14**, 28 p., 1974.
- Le Mouël, J.-L., Le levé aéromagnétique de la France, calcul des composantes du champ à partir de l'intensité. *Ann. Géophysique*, **26**, fasc. 2, 229-258, 1970.
- Luyken, K., Erdmagnetische Ergebnisse des Kerguelen-Station. Deutsche Südpolar Expedition, 1901-1903, herausgegeben von Erich von Drygalski. VI band, heft I und heft II, 1-187, Druck und Verlag von Georg Reimer, Berlin 1906.
- Mandea Alexandrescu, M., S. Gilder, V. Courtillot, J.-L. Le Mouel and D. Gilbert, Looking back on a half century of repeat magnetic measurements in France, *EOS, Trans. AGU*, **80**, 3, January 19, 25-26, 1999.
- Mayaud, P.N., Terre Adélie 1951-1952, Magnétisme terrestre, études des observations. Publication Expéditions Polaires Françaises, Paris. Résultats scientifiques, S. IV, 2, fascicule 1, 1-190, 1954.
- Mathias, E and C. Maurain, Nouveau réseau magnétique de la France (au 1^{er} janvier 1924), *Annales de l'Institut de physique du globe de l'Université de Paris et du Bureau central de magnétisme terrestre*, t.VIII, 37-62, Paris, Les Presses Universitaires de France, 1929.
- Moureaux, T., Détermination des éléments magnétiques en France. Nouvelles cartes magnétiques, *Annales du Bureau Central Météorologique de France*, année 1884, t. I, Études des orages en France et Mémoires divers, Gauthier-Villars, Paris, B55 à B226, 1886.
- Newitt, L.R., C.E. Barton and J. Bitterly, Guide for Magnetic Repeat Station Surveys, 112 pp., International Association of Geomagnetism and Aeronomy, Boulder, 1996.
- Perry, S.J., On magnetic observations at Kerguelen Island, *Proc. Roy. Soc. London*, v. XVI, 179, 95-102, 1877.
- Reise der Österreichischen Fregatte *Novara* um die Erde in den Jahren 1857, 1858, 1859, unter den Befehlen des Commodore B. von Willerstorff-Urbair, Nautisch-Physicalischer Theil, 78-87. Wien (in commission bei Carl Gerold's Sohn), 1862-1865.
- Ross, J.C., A voyage of discovery and research in the southern and antarctic regions during years 1839-1843, v. 1, John Murray, London 1847, 94-104, 1847.
- Sabine, E., Contributions to Terrestrial Magnetism n° V : Observations of the magnetic inclination and intensity made on board Her Majesty's ship *Erebus* on the passage from Kerguelen island to Van Diemen island in July and August 1840. *Phil. Trans. R. Soc. of London*, Part I, 1843, 229 ; Part II, 173-176, 1843.
- Schlich, R. Meister, L et Plessard, C., Réoccupation de Port Jeanne d'Arc - Kerguelen., *Annales de l'Institut de Physique du Globe de l'Université de Paris et du Bureau Central de Magnétisme Terrestre*, t. XXXII, 137-138, 1964.
- Selzer, E. et E. Thellier, Etablissement d'un réseau magnétique de répétition en France Métropolitaine. Première série de mesures en ces stations, rapportées à l'époque 1948,0, *Annales de l'Institut de Physique du Globe de l'Université de Paris et du Bureau Central de Magnétisme Terrestre*, t. XXIV, 83-94. Paris, Les Presses Universitaires de France, 1949.
- Selzer, E., Réseau magnétique de répétition de la France Métropolitaine. Deuxième série de mesures en ces stations, rapportées à l'époque 1953,0. *Annales de l'Institut de Physique du Globe de l'Université de Paris et du Bureau Central de Magnétisme Terrestre*, t. XXVII, 76-85, Paris, Les Presses Universitaires de France, 1954.
- Wessel, P. and W.H.F. Smith, Free software helps map and display data, *EOS Trans. AGU*, **72**, 441, 1991.

