

Mesures du champ magnétique en Afrique de l'Ouest (1983-1986) Comparaison avec le modèle IGRF 1985-1990 Variations séculaires

Jacques VASSAL, Jean-Claude VILLENEUVE⁽¹⁾

Résumé : Nous présentons les résultats de campagnes de mesures des composantes magnétiques terrestres faites dans 8 pays d'Afrique de l'Ouest entre 1983 et 1986, et proposons une méthode de réduction des mesures prenant en compte la variation séculaire. Les résultats sont comparés aux valeurs de champ théorique définies par les modèles globaux (IGRF 4^e génération).

Mots-clés : Magnétisme terrestre - Bases magnétiques - Réoccupations - Modèle global - Afrique de l'Ouest.

Abstract : Geomagnetic measurements in West-Africa (1983-1986). Comparison with IGRF 1985-1990 model. Secular variations. We present results of ground magnetic survey executed 8 countries of West-Africa from 1983 to 1986. We propose a data reduction method which uses secular variation. The results were compared with mathematical model IGRF 1985-90.

Keys words : Geomagnetism - Magnetic bases - Reoccupation - Global model - West-Africa.

INTRODUCTION

Le réseau général de bases magnétiques de l'Afrique de l'Ouest, établi dans les années 1958 à 1965 par l'ORSTOM (RECHENMAN et RÉMIOT, 1962, RECHENMAN, 1967), comprend environ 400 points de mesures du champ magnétique répartis dans les pays francophones de l'Afrique de l'Ouest. Il a servi à l'établissement des cartes magnétiques qui restent la référence pour tous les travaux magnétiques de la sous-région.

Seules quelques-unes de ces bases magnétiques ont été réoccupées, principalement aux alentours des années 1968 et 1974. Le service Géophysique de l'ORSTOM de Dakar a entrepris, à partir de 1983 une

campagne de mesure du champ, avec réoccupation d'anciennes bases dont certaines datent des missions Carnegie de 1913 et 1926. Pour des raisons économiques, il n'était pas envisageable de refaire un réseau complet. Notre but est plutôt de suivre l'évolution temporelle du champ depuis quelques dizaines d'années, et de chiffrer la validité des modèles globaux dans la région. Le critère de choix des points de mesures a donc été une bonne répartition spatiale, et le maximum de réoccupations.

Malheureusement, le développement de l'urbanisme a fait disparaître un grand nombre de bornes. Les mesures ont été faites si possible à proximité des anciennes stations, et ont été matérialisées par des piliers pour d'éventuelles réoccupations futures.

Une première campagne a été faite en 1983-84 au Sénégal (9 points) et en Guinée (6 points). Une seconde campagne en 1985-86 a couvert le Mali

(1) ORSTOM, BP 1386, Dakar (Sénégal).

(14 points), la Côte-d'Ivoire (6 points), le Burkina-Faso (3 points), le Niger (7 points) et le Togo (6 points), soit au total 51 bases auxquelles on a adjoint 9 mesures faites indépendamment en RCA en 1984-85.

APPAREILS UTILISÉS

Les appareils utilisés pour la détermination des éléments magnétiques ont été les suivants :

- pour la déclinaison D : un théodolite Chasselon ou un Fluxgate 3 composantes ;
- pour le champ total F : un magnétomètre à protons de fabrication ORSTOM ;
- pour l'inclinaison I : un fluxgate 3 composantes ;
- pour la composante verticale Z : une BMZ ou calcul avec F et I ;
- pour la composante horizontale H : un QHM ou calcul avec F et I.

Tous ces appareils ont été testés et étalonnés à l'observatoire de Mbour au Sénégal.

D'autre part, un enregistreur ASKANIA des composantes magnétiques H, D et Z a été installé en 10 sites au voisinage des zones de mesure pour des durées allant de 10 à 20 jours.

RÉDUCTION DES MESURES INSTANTANÉES

La réduction des mesures consiste à rendre aussi homogène que possible des mesures dispersées dans le temps, en les ramenant à une époque commune, ici à mi-janvier 1986.

Il n'existe pas de méthode parfaite de réduction. En effet :

— Les différences à un instant donné (qu'on cherche à connaître) entre le champ effectif mesuré et le champ moyen proviennent d'une variation diurne plus ou moins synchrone en temps local et dont l'amplitude, fonction de la latitude magnétique, peut être modifiée par des influences externes (électrojet) ou internes (courants telluriques guidés par les structures géologiques).

— Les différences entre le champ mesuré à l'époque t et le champ réduit à l'époque t_0 dépendent de la variation séculaire au point de mesure (à priori inconnue et que l'on veut déterminer), fonction des latitudes et longitudes, et parfois de la tectonique locale.

Nous effectuons cette réduction en 2 étapes :

a) Élimination de la variation diurne

Le niveau moyen d'activité magnétique, plus ou moins synchrone en temps universel, peut être assimilé au niveau de nuit. On prendra comme niveau de

nuit la valeur moyenne du champ entre 23 h et 3 h. A ce niveau moyen se superpose la variation diurne du champ qui peut être fortement influencée dans nos régions par la proximité de l'électrojet équatorial sensible surtout dans la journée (9 h-15 h). On a montré par exemple (VASSAL, 1982a) qu'au Sénégal, entre Mbour et Kedougou, les différences de variation diurne pouvaient atteindre 50 à 60 nano-Teslas. Les mesures aux stations sont alors corrigées de la variation diurne du jour correspondant en soustrayant à la valeur brute de la station au temps t, l'écart mesuré sur l'enregistreur le plus proche entre la valeur du niveau de nuit et la valeur à l'instant t. Pour diminuer l'indétermination de cette réduction (qui augmente avec l'éloignement du lieu d'enregistrement), les mesures sont effectuées si possible le matin ou le soir. Étant en période de minimum d'activité solaire, le niveau moyen d'agitation magnétique est resté très faible pendant toute la campagne. Seules les mesures en deux stations (Sikasso et Koutiala) ont été perturbées par un orage magnétique.

b) Réduction à mi-janvier 1986

Les mesures ayant été faites à différentes époques t, elles sont ramenées à une époque commune t_0 (mi-janvier 1986). En tout point i, une fois éliminée la variation diurne, la différence des valeurs du champ aux époques t_0 et t, $dBi(t_0 - t) = Bi(t_0) - Bi(t)$, se compose d'une différence de variation séculaire, d'origine interne, fonction de la latitude ϕ et de la longitude λ (soit $(t_0 - t) \cdot VS(\phi, \lambda)$) à laquelle s'ajoute un résidu de différence de variation, d'origine externe, saisonnière ou autre, du niveau moyen du champ (soit $bi(t_0) - bi(t)$). Cette variation de la part externe du champ est, en première approximation, régionale-ment constante. On obtient donc pour une station i :

$$dBi(t_0 - t) = (t_0 - t) \cdot VS(\phi_i, \lambda_i) + (bi(t_0) - bi(t))$$

Entre 2 stations distinctes i et j, on obtient alors :

$$dBi(t_0 - t) - dBj(t_0 - t) = (t_0 - t) \times (VS(\phi_i, \lambda_i) - VS(\phi_j, \lambda_j))$$

En prenant comme référence j l'observatoire de Mbour au Sénégal, on peut calculer les valeurs réduites des stations à l'époque t_0 en fonction des données de Mbour et des variations séculaires à Mbour et aux stations de mesure :

$$Bi(t_0) = Bi(t) + (Bj(t_0) - Bj(t)) + (t_0 - t) \times (VS(\phi_i, \lambda_i) - VS(\phi_j, \lambda_j))$$

Les variations séculaires VS sont déduites du modèle IGRF pour 1985-90 (IAGA, 1986). On a montré, en effet, que les variations séculaires réelles, très lentes et en première approximation linéaires, sont très bien approximées par les modèles IGRF, au moins sur 2 ou 3 ans (VASSAL, 1982b). Cette méthode de réduction a été testée, entre Bangui et Mbour, sur les moyennes mensuelles des années 1983 à 1986, les données de Bangui étant réduites à 1986 en prenant Mbour comme référence.

Bien que n'étant pas parfaite, cette méthode permet de réduire les données de manière beaucoup plus satisfaisante que les méthodes ne faisant pas intervenir les variations séculaires locales.

c) Incertitude des résultats

Les principales causes d'incertitude proviennent de la réduction : élimination de la variation diurne et réduction à la date t_0 . En effet, les hypothèses de synchronisme en temps local de la variation diurne, de synchronisme en temps universel du niveau moyen d'agitation, ainsi que la linéarité de la variation séculaire, ne sont que des approximations. Elles entraînent des incertitudes sur les valeurs réduites qui augmentent avec la distance aux stations d'enregistrement et avec l'écart de temps $t-t_0$. Une estimation de l'indétermination des mesures nous donne des valeurs de l'ordre de $\pm 5\text{nT}$ pour F , H et Z et $\pm 0.01^\circ$ pour D .

COMPARAISON AVEC LE MODÈLE IGRF 1985-1990, VARIATION SÉCULAIRE

Les modèles globaux de champ magnétique (IGRF : International Geomagnetic Reference Field) donnent une description quantitative du champ magnétique terrestre principal au moyen d'une série de coefficients de Gauss, développant mathématiquement en harmoniques sphériques le potentiel géomagnétique. Ces coefficients sont déterminés à partir de données magnétiques de diverses sources (observatoires, satellites, etc.). En 1986, l'« IAGA Division I Working Group 1 », (1986) a proposé la 4^e génération de ces modèles, dont celui pour 1985-1990 que nous utilisons ici. On a calculé à tous les points de mesure les différences entre les valeurs calculées par le modèle IGRF et les valeurs réduites, ainsi que la valeur de la variation séculaire actuelle donnée par le modèle IGRF (tableau I).

On constate que les mesures en République Centrafricaine (RCA) donnent des différences très importantes avec le modèle IGRF. Il existe en effet dans cette région une anomalie magnétique majeure, l'anomalie de Bangui, étudiée entre 1975 et 1980. Le modèle global IGRF ne rend pas compte de cette anomalie régionale. Pour le reste de l'Afrique de l'Ouest, les

écarts entre champ réel et champ IGRF restent relativement faibles. On obtient les valeurs moyennes des écarts suivantes :

$$\overline{dH} = +30 \pm 98 \text{ nT}$$

$$\overline{dZ} = +82 \pm 78 \text{ nT}$$

$$\overline{dD} = +0.02 \pm 0.12 \text{ deg.}$$

On a calculé les variations séculaires (V.S.) réelles pour 10 stations qui ont été occupées dans les années 1975. On obtient les écarts moyens suivants entre les valeurs de v.s. réelles et calculées à partir des modèles IGRF75 et IGRF85 :

$$\overline{d(vsH)} = -8 \pm 6 \text{ nT/an}$$

$$\overline{d(vsZ)} = +12 \pm 6 \text{ nT/an}$$

$$\overline{d(vsD)} = +0.03 \pm 0.01 \text{ deg./an}$$

CONCLUSION

Pour l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest, le modèle actuel IGRF 85-90 donne une image satisfaisante des valeurs réelles du champ magnétique. L'écart moyen entre valeurs mesurées et calculées est faible. Les écarts de chaque mesure représentent l'anomalie locale du champ. Ces écarts sont surtout importants en Centrafrique, siège de l'anomalie de Bangui où ils atteignent $+977 \text{ nT}$ sur H et -1638 nT sur Z (à Yakota). Pour le reste de la zone étudiée ces écarts ne dépassent qu'exceptionnellement les 200 nT . Les utilisateurs potentiel des valeurs du champ peuvent donc obtenir par le calcul une bonne approximation de ces valeurs.

Le modèle de variation séculaire donne un écart systématique sur les 3 composantes. Cet écart reste faible et l'extrapolation des valeurs actuelles pour quelques années semble acceptable.

On remarquera que si les V.S. actuelles sur les composantes H et Z sont variables suivant le lieu, elles sont remarquablement constantes sur la déclinaison et restent comprises entre 0.12° et 0.15° (soit $7'$ et $9'$) par an. Le nord magnétique se rapproche donc du nord géographique de $7'$ à $9'$ par an.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 3 mars 1987.

BIBLIOGRAPHIE

IAGA Division I Working Group 1, 1986. — International Geomagnetic Reference Field revision 1985. *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, 85, 217-220.

RECHENMANN (J.), 1967. — Réseau de bases magnétiques au Niger et au Tchad Occidental 1962-1965, *Cah. ORSTOM sér. Géophys.*, n° 8.

RECHENMANN (J.) et REMIOT (R.), 1962. — Réseau général de bases magnétiques en Afrique Occidentale, *Cah. ORSTOM sér. Géophys.*, n° 2.

VASSAL (J.), 1982a. — La variation du champ magnétique et ses relations avec l'électrojet équatorial au Sénégal Oriental. *Ann. Géophys.*, 38, 347-355.

VASSAL (J.), 1982b. — Les variations du champ géomagnétique à Mbour (Sénégal) et Bangui (Centrafrique) entre 1955 et 1981. *Ann. Géophys.*, 38, 855-861.

ANNEXE

PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

L'annexe donne ci-dessous une description succincte de l'emplacement des stations de mesure classées par pays. Les descriptions complètes avec cartes et schémas sont archivées à l'observatoire de Mbour, et de Bangui pour les données de RCA. On indique aussi l'emplacement des enregistrements.

La figure 1 indique schématiquement l'emplacement des stations de mesure. On a tracé sur la carte la position en 1985 de l'équateur magnétique définie par le modèle IGRF.

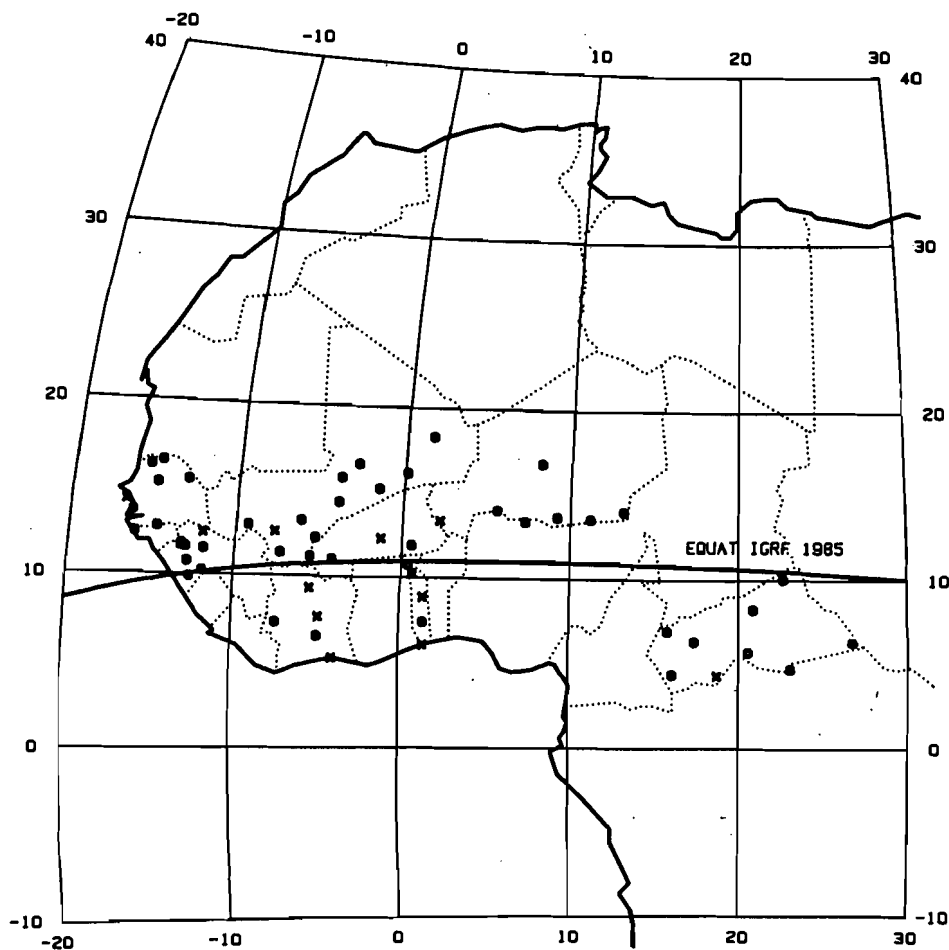


Fig. 1. — Localisation géographique des stations de mesure. On a tracé sur la figure la position de l'équateur magnétique définie par $Z=0$ pour 1985
 Geographical locations of stations. The position of magnetic equator is given by $Z=0$ for 1985

Tableau I
 Résultats. Les valeurs Ho Zo et Do sont les valeurs réduites au 15-01-86
 Results. Ho, Zo and Do are data reduced to january 15, 1986

Burkina-Faso:													
Stations	Lat.	Long.	Alt	Date	HO	dH	vaH	ZO	dZ	vaZ	DO	dD	vaD
Bobo-Dioulasso	11.167	-4.327	0.5	050486	32407	0	5	281	94	-82	-6.98	0.07	0.14
Fada Ngourma	12.042	0.361	0.3	280386	33026	37	11	1460	3	-68	-5.09	-0.06	0.13
Ouagadougou	12.382	-1.503	0.3	020486	32872	68	11	1871	118	-70	-5.63	-0.03	0.13
République de Guinée:													
Stations	Lat.	Long.	Alt	Date	HO	dH	vaH	ZO	dZ	vaZ	DO	dD	vaD
Kindia	10.000	-12.867	0.4	170684	31467	-95	-4	-310	151	-121	-10.86	0.18	0.15
Telimele	10.893	-13.037	0.7	160684	31614	-33	-1	324	124	-120	-10.58	0.07	0.15
Tianguel	11.638	-12.110	1.1	180684	32020	-205	1	1715	164	-114	-10.04	0.13	0.15
Gaoual	11.738	-13.203	0.4	100684	31756	4	1	2152	51	-119	-10.46	0.10	0.15
Koumbia	11.807	-13.493	0.3	060684	31596	157	1	2201	147	-121	-10.86	0.39	0.15
Kasbala	11.920	-13.468	0.3	050684	31591	187	1	2498	-3	-120	-10.57	0.14	0.15
République du Mali:													
Stations	Lat.	Long.	Alt	Date	HO	dH	vaH	ZO	dZ	vaZ	DO	dD	vaD
Sikasso	11.338	-5.695	0.4	080286	32290	29	5	567	141	-87	-7.37	0.00	0.14
Bougouni	11.450	-7.517	0.3	070286	32179	0	4	848	173	-94	-8.07	0.03	0.14
Koutiala	12.350	-5.433	0.4	090286	32508	46	8	2243	-130	-83	-6.99	-0.04	0.14
Bamako	12.657	-7.932	0.3	130186	32423	-40	7	2622	118	-93	-7.98	0.06	0.14
Kita	13.070	-9.493	0.4	090186	32331	-18	7	3315	163	-99	-8.46	0.01	0.15
Segou (Aerodr.)	13.425	-6.277	0.3	220186	32648	8	10	3592	101	-84	-7.19	0.08	0.14
Segou	13.441	-6.280	0.3	230186	32708	-50	10	3605	111	-84	-6.19	0.10	0.14
Nopti-Savare	14.512	-4.090	0.3	240186	32973	13	14	5009	139	-73	-5.20	0.05	0.13
Mombori	15.283	-1.700	0.3	260186	33171	93	17	6121	109	-62	-5.85	0.05	0.14
Niazunke	15.930	-3.990	0.3	020286	33142	-57	17	7007	197	-69	-5.85	0.05	0.14
Gao (Aerodr.)	16.250	0.000	0.3	270186	33191	257	19	7564	102	-54	-4.48	0.01	0.13
Gao	16.273	-0.052	0.3	270186	33230	214	19	7563	136	-54	-4.55	0.07	0.13
Tombouctou	16.730	-3.005	0.3	310186	33212	-28	19	8204	152	-63	-5.43	0.10	0.14
Kidal	18.472	1.383	0.3	280186	33596	-123	23	10836	149	-43	-3.77	0.03	0.13
République du Niger:													
Stations	Lat.	Long.	Alt	Date	HO	dH	vaH	ZO	dZ	vaZ	DO	dD	vaD
Maradi	13.500	7.100	0.4	160486	33926	30	16	3736	5	-42	-3.10	0.03	0.12
Miassé	13.558	2.050	0.2	040586	33457	14	15	3643	55	-56	-4.28	-0.07	0.13
Goudoumaria	13.705	11.183	0.3	190486	34251	116	15	4128	118	-30	-2.22	0.08	0.12
Zinder	13.783	8.990	0.4	190486	34165	1	16	4139	116	-36	-2.78	0.19	0.12
Dabnou	14.157	5.365	0.3	290486	33755	97	17	4541	135	-45	-2.95	-0.42	0.12
Nguzai	14.243	13.100	0.3	200486	34403	174	15	5022	178	-23	-1.82	0.15	0.12
Agadez-Azél	17.052	8.055	0.5	270486	34008	118	20	9130	79	-28	-2.48	0.19	0.12
République de Côte-d'Ivoire:													
Station	Lat.	Long.	Alt	Date	HO	dH	vaH	ZO	dZ	vaZ	DO	dD	vaD
Abidjan	5.251	-3.928	0.0	101285	30303	77	-13	-7485	-50	-90	-8.53	0.03	0.14
Adiopodoume	5.325	-4.133	0.0	091285	30226	169	-13	-7438	18	-91	-8.54	-0.01	0.14
Toumodi	6.584	-5.065	0.1	151285	30777	74	-9	-5842	111	-92	-8.53	0.05	0.14
Man	7.354	-7.597	0.3	141285	31121	-193	-9	-4359	-75	-101	-9.17	-0.06	0.14
Bouake	7.728	-5.072	0.3	161285	31118	175	-5	-4318	69	-91	-8.07	-0.05	0.14
Korhogo	9.413	-5.623	0.4	020686	31775	35	-1	-2058	110	-90	-7.81	-0.03	0.14
République du Sénégal:													
Stations	Lat.	Long.	Alt	Date	HO	dH	vaH	ZO	dZ	vaZ	DO	dD	vaD
Ziguinchor	12.555	-16.280	0.0	290983	31744	-64	2	3828	98	-133	-11.36	-0.17	0.14
Kadougou	12.565	-12.217	0.1	180883	32007	-4	4	3075	75	-113	-9.85	0.13	0.15
Kolda	12.878	-14.958	0.0	300983	31939	-103	4	3889	182	-126	-10.93	0.07	0.15
Toubakouta	13.783	-16.480	0.0	230983	31791	48	6	5554	56	-132	-11.35	0.03	0.15
HOUR-observat.	14.392	-16.958	0.0	010186	32013	-148	8	6553	-19	-133	-11.33	-0.07	0.14
Linguere	15.398	-15.102	0.0	221083	32192	-93	11	7418	101	-121	-10.40	0.05	0.15
Matae	15.600	-13.328	0.0	211083	32263	-1	12	7519	-19	-112	-10.40	0.05	0.15
Richard-toll	16.437	-15.657	0.0	120983	32071	23	14	9057	-14	-121	-10.21	-0.18	0.15
Podor	16.680	-14.963	0.0	111083	32143	14	15	9182	71	-117	-10.06	0.03	0.15
République du Togo:													
Stations	Lat.	Long.	Alt	Date	HO	dH	vaH	ZO	dZ	vaZ	DO	dD	vaD
Lome	6.175	1.210	0.0	180586	31315	-5	6	-6850	54	-75	-6.33	-0.10	0.13
Atakpase	7.517	1.200	0.2	190586	31836	15	1	-4812	-174	-73	-5.94	-0.09	0.13
Sokode	8.994	1.150	0.4	210586	32334	27	3	-3019	87	-70	-5.67	0.03	0.13
Mango	10.374	0.473	0.1	250586	32653	46	7	-1004	51	-68	-5.44	-0.06	0.13
Dapango (Aerodr.)	10.800	0.250	0.2	270586	32736	46	8	-368	32	-68	-5.46	-0.01	0.13
Dapango	10.857	0.195	0.2	260586	32578	212	8	-371	119	-68	-5.22	-0.25	0.13
République Centrafricaine:													
Stations	Lat.	Long.	Alt	Date	HO	dH	vaH	ZO	dZ	vaZ	DO	dD	vaD
BANGUI-oba	4.433	18.567	0.4	010185	32093	205	-9	-9228	-265	-24	-2.46	0.12	0.13
Mbako	4.459	15.927	0.5	300385	31456	600	-9	-1006	548	-35	-0.24	-2.66	0.13
Bangassou	4.821	22.894	0.5	030385	32780	78	-10	-8482	-216	-4	-2.78	1.53	0.13
Obo	5.413	26.527	0.5	230285	32836	591	-10	-7840	341	13	-0.03	-0.46	0.12
Yakota	5.825	20.378	0.5	040385	32122	999	-6	-5837	-1555	-15	-2.45	0.84	0.13
Bossangoa	6.444	17.232	0.5	020485	32777	331	-3	-7982	1359	-27	-2.45	0.84	0.13
Bocaranga	7.018	15.652	1.1	010485	33154	27	-1	-5737	-84	-33	-2.45	0.84	0.13
Ndole	8.391	20.693	0.8	071284	34162	-23	-1	-3686	203	-10	-1.29	0.17	0.12
Takalana	10.180	22.463	0.5	141284	34691	95	1	-380	-152	0	-2.32	1.77	0.12

Le tableau I rassemble les résultats. Les stations sont groupées par pays et par latitude croissante dans chacun d'eux.

Colonne 1 : nom des stations.

Colonne 2 : latitudes nord en degrés décimaux.

Colonne 3 : longitudes (positives à l'est, négatives à l'ouest) en degrés décimaux.

Colonne 4 : altitude en kilomètres.

Colonne 5 : date de la mesure au format jour, mois, an (JJMMAA).

Colonne 6 : H_0 , valeur réduite à mi-janvier 1986 de la composante horizontale du champ en nano-Tesla.

Colonne 7 : dH , écart entre la valeur calculée par le modèle IGRF et la valeur réduite.

Colonne 8 : vsH , variation séculaire de la composante horizontale en nano-Tesla/an.

Colonnes 9 à 11 : idem colonnes 6 à 8 pour la composante verticale Z .

Colonnes 12 à 14 : idem colonnes 6 à 8 pour la déclinaison D , les valeurs étant exprimées en degrés décimaux. La déclinaison est ouest partout.

DESCRIPTION SUCCINCTE DES STATIONS

Burkina-Faso

Bobo-Dioulasso : 11°10'00"N 04°19'48"O

Aérodrome, face à la tour de contrôle, à 32 m de la manche à air dans l'azimut 118 gr., matérialisée par une dalle marquée BM1986. Réoccupation 1958.

Fada Ngourma : 12°02'30"N 00°21'39"E

A 200 m à l'est de la station météo de l'aérodrome, matérialisée par une borne marquée BM1986 ORSTOM.

Ouagadougou : 12°22'54"N 01°30'12"O

Réoccupation de la station de 1962, matérialisée par une borne au sud du bâtiment principal du centre CNRST. Enregistreur Askania.

République de Guinée

Kindia : 10°00'00"N 12°52'00"O

Ancien aérodrome, à 8 m à l'est de la borne de nivellement général SGAOF1953. Réoccupation de 1958.

Telimela : 10°53'36"N 13°02'12"O

A 1 km au sud de la ville, sur la route de Kindia, embranchement de la piste de Niabéli, sur cette piste à 12 m au sud-ouest d'une borne en ciment face au lycée agricole.

Tiangel-Bori : 11°38'18"N 12°06'36"O

Borne astronomique à 200 m du campement.

Gaoual : 11°44'18"N 13°12'12"O

121 m au sud du pont Tominé, route de Téli-mélé, dans l'axe de cette route et de l'ancienne route du lac.

Koumbia : 11°48'24"N 13°29'36"O

Sortie nord sur la route de Kamélé, à 100 m de cette route, sur la 1^{re} piste à droite, à l'intersection de cette piste.

Kambala : 11°55'12"N 13°28'06"O

Sortie nord du village, à 5 m à l'ouest du gros baobab, dans l'axe du lit du marigot.

République du Mali

Sikasso : 11°20'18"N 05°41'42"O

A 50 m du carrefour de la route de Koutiala et de la piste Sikasso-Zamblara, vers Sikasso à 15 m de la bordure nord de la piste, matérialisée par une borne en ciment marquée BM1986.

Bougouni : 11°27'00"N 07°31'00"O

Aérodrome, à l'extrémité nord, côté ouest de la piste, à 7 m à l'ouest de la balise en ciment délimitant l'extrémité nord de la piste, côté ouest, borne en ciment marquée BM1986.

Koutiala : 12°21'00"N 05°26'00"O

Aérodrome, à 12 m au nord de la balise à l'extrémité est côté nord de la piste, matérialisée par une dalle en ciment marquée BM1986.

Bamako-Sotuba : 12°39'24"N 07°55'45"O

Dans l'enceinte de centre avicole de Sotuba, à environ 100 m au sud de la maison du sous-directeur, pilier en PVC + béton marqué BM1986. Enregistreur Askania.

Kita : 13°04'12"N 09°29'36"O

Aérodrome, à l'extrémité sud de l'axe de la piste à 15,10 m du bord intérieur des plaques en ciment délimitant la bordure de la piste. Réoccupation très rapproché de 1957.

Segou : 13°25'30"N 06°16'36"O

Aérodrome, matérialisé dernière balise en ciment extrémité sud, côté ouest. Réoccupation de 1957.



Jacques VASSAL, Jean-Claude VILLENEUVE

Segou-Carnegie : 13°26'27"N 06°16'48"O

Station Carnegie A de 1926, 10 m à l'ouest du point astronomique de 1911, support de l'échelle de crue. Réoccupation 1913, 1926, 1954, 1957.

Mopti-Sevare : 14°30'42"N 04°05'24"O

Aérodrome, à l'extrémité sud de la piste en bordure de balisage de fin de piste à 1 m au sud d'une dalle semi-circulaire marquant l'axe de la piste. Réoccupation de 1958.

Hombori : 15°17'00"N 01°42'00"O

A 22 m à l'est d'une borne fontaine désaffectée face aux bureaux de l'arrondissement. Réoccupation 1953.

Niafunke : 15°55'48"N 03°59'24"O

A 19 m au sud de l'axe du mur d'enceinte de la maison de l'adjoint dans l'axe de l'entrée. Réoccupation approximative de station Carnegie 1913.

Gao : 16°15'00"N 00°00'00"O

Aérodrome, à l'extrémité est de la piste, à 1 m du bord de la dalle marquée A dans l'axe de la piste.

Gao-Carnegie : 16°16'24"N 00°03'06"O

Station sur la borne délimitant l'angle sud-ouest du jardin public entre la résidence et le fleuve. Réoccupation de Carnegie 1913.

Tombouctou : 16°43'48"N 03°00'18"O

Près de l'aérodrome, à 250 m au sud-ouest de la tour de contrôle, matérialisée par pilier en PVC + béton marqué BM1986. Réoccupation 1913, 1958.

Kidal-Tamaya : 18°28'20"N 01°23'00"E

Dans Jardin du Député à Tamaya, à 6 km au nord de Kidal, station hydrologique de l'ORSTOM, borne en ciment marquée BM ORST à 50 m à l'ouest de l'échelle de crue.

République du Niger

Maradi : 13°30'00"N 07°06'00"E

Aérodrome, borne en ciment marquée BM1986 à 28 m du coin sud-est du parc météo.

Niamey : 13°33'30"N 02°03'00"E

A Koubia-Keyna (8 km au nord-ouest de Niamey) à 300 m du bord nord de la RN1, matérialisé par un pilier marqué BM1986. Enregistreur Askania.

Goudoumaria : 13°42'18"N 11°11'00"E

A 1,50 m au nord de la borne de nivellement No22 à l'embranchement des routes de Goudoumaria et Gouré-Mainésoroa.

Zinder : 13°46'30"N 08°58'54"E

Aérodrome, pilier en PVC + ciment marqué BM1986 à 400 m au sud-ouest des bâtiments de l'aérogare, hors de la clôture du terrain.

Dabnou : 14°09'24"N 05°21'54"E

Station dans le triangle formé par les routes de Tahoua, Malbaza, Tsernaona, à 68 m au sud du panneau indicateur, à 2 m à l'est d'un rocher affleurant.

Nguigmi : 14°14'36"N 13°06'00"E

A 10 m au sud de la borne de nivellement à l'embranchement de la route et de la piste de Ngortogol, à 1 m du poste de douane.

Agadez-Azel : 17°03'06"N 08°03'18"E

Station hydrologique de l'ORSTOM de Azel (14 km au nord-est d'Agadez), pilier PVC + béton marqué BM, à 50 m à l'est de la station météo.

République de Côte-d'Ivoire (RCI)

Abidjan : 05°15'02"N 03°55'42"O

Aérodrome, réoccupation approximative de la station de 1958 à 35,8 m au sud-est de la balise no 51 de la piste d'envol. Réoccupation de 1958, 1963, 1968, 1972, 1973.

Adiopodoumé : 05°19'30"N 04°08'00"O

Centre ORSTOM d'Adiopodoumé, 17 km. Station située dans l'enceinte du parc météo, matérialisée par un pilier marqué BM1986. Enregistreur Askania.

Toumodi : 06°35'03"N 05°03'54"O

Dans la concession du restoroute « Maison Blanche » sur la route Bouaké-Abidjan, à l'embranchement de la piste de Kaankro. Borne de nivellement à l'angle des deux routes sur le côté nord de la piste de Kaankro.

Man : 07°21'15"N 07°35'48"O

Sur l'esplanade météo de l'antenne ORSTOM de Man, à 8,50 m du pluviomètre, dans l'azimut 225 gr.

Bouaké : 07°43'42"N 05°04'18"O

École de Konankankro, à 15 m de la bordure nord du terrain de sport, matérialisée par un pilier en PVC rempli de ciment, marqué BM1986. Enregistreur Askania.

Korhogo : 09°24'46"N 05°35'24"O
Aérodrome, près du parc météo, pilier de maçonnerie de 1,35 m marqué BM1986. Enregistreur Askania.

République du Sénégal

Ziguinchor : 12°33'18"N 16°16'48"O
Borne ORSTOM aéroport.

Kedougou : 12°33'54"N 12°13'01"O
Borne ORSTOM aéroport. Réoccupation. Enregistreur Askania.

Kolda : 12°52'41"N 14°57'29"O
Aérodrome

Toubakouta : 13°46'59"N 16°28'48"O
Borne ORSTOM au campement de chasse.

Mbour : 14°39'17"N 16°57'30"O
Observatoire géophysique ORSTOM.

Linguere : 15°23'53"N 15°06'07"O
Aérodrome, borne ORSTOM à 92 m au sud de la borne du point astronomique.

Matam : 15°36'00"N 13°19'41"O
Aérodrome, à 10 m au sud du coin SW du bout ouest de la piste d'envol.

Richard-toll : 16°26'13"N 15°39'25"O
Aérodrome, borne ORSTOM

Podor : 16°40'48"N 14°57'47"O
A 10 m à l'est du coin SE du bout sud de la piste d'envol.

République du Togo

Lomé : 06°10'30"N 01°12'36"E
Pilier marqué BM1986 implanté dans le périmètre de la ferme expérimentale de l'Institut de Recherches Agronomiques de l'université de Lomé. Enregistreur Askania.

Atakpame : 07°31'00"N 01°12'00"E
Aérodrome, borne dans le prolongement de l'axe du chemin d'accès, à 18,50 m de la bordure nord de la piste. Réoccupation de 1973.

Sokodé : 08°59'40"N 01°09'00"E
Aérodrome, pilier de 1,35 m marqué BM1986 près de la station météo. Enregistreur Askania.

Mango : 10°22'20"N 00°28'24"E
Aérodrome, borne en face au nord-ouest de l'aérogare à 10 m du côté nord-ouest de la piste. Réoccupation de 1974.

Dapango : 10°48'00"N 00°15'00"E
Aérodrome de Djangou, borne dans l'axe du taxiway, à 12,50 m de la bordure ouest de la piste. Réoccupation 1974.

Dapango (Ville) : 10°51'24"N 00°11'42"E
Pilier de 1,35 m marqué BM1986 à 300 m à l'est du relais herzien sur un plateau à l'ouest de la ville.

République Centrafricaine

Bangui : 04°25'59"N 18°34'01"E
Observatoire géophysique ORSTOM.

Mbako : 04°27'32"N 15°55'37"E
Pilier BM31.

Bangassou : 04°49'16"N 22°53'38"E
Pilier BM41 à Etman à 11 km au nord-est de Bangassou.

Obo : 05°24'47"N 26°31'37"E
Pilier BM80.

Yakota : 05°49'30"N 20°22'41"E
Village de Yakota, pilier BM21. Réoccupation point No 63 de 1976.

Bossangoa : 06°26'37"N 17°13'55"E
Station agricole IRCT de Soumbé à 13 km à l'ouest de Bossangoa. Pilier BM11.

Bocaranga : 07°01'05"N 15°39'07"E
Pilier BM51 à 4 km au nord du point astronomique IGN RN1075.

Ndele : 08°23'28"N 20°41'35"E
Pilier BM62 à 300 m à l'ouest de Ouïhi, à 4 km à l'est de Ndele.

Takalama : 10°10'48"N 22°27'47"E
A 100 m à l'est du puits FED route de Birao, pilier BM70.