

NOTICE DE LA CARTE DE LA DÉCLINAISON MAGNÉTIQUE ET DE SA VARIATION SÉCULAIRE

PAR

P. HERRINCK

Docteur ès Sciences de l'Université de Paris
Chef de la Section de Géophysique du Service Météorologique
et Géophysique du Congo.

CHAPITRE I.

INTRODUCTION TECHNIQUE

Définitions

Le champ magnétique terrestre en un point peut être défini comme la force qui agit sur une masse magnétique unitaire placée en ce point ; il se représente par un vecteur F et a donc une grandeur et un sens.

Pour en permettre un repérage commode, ce vecteur est rapporté au plan horizontal et à la verticale passant

par le point considéré. La projection du vecteur sur le plan horizontal fournit la composante horizontale H et celle sur la verticale, la composante verticale Z .

En outre, l'angle horizontal formé par la composante horizontale et le plan méridien géographique porte le nom de déclinaison D .

Les trois quantités H , Z et D définissent entièrement le champ magnétique.

L'inclinaison magnétique I est l'angle formé par le vecteur F et le plan horizontal.

Par convention, la déclinaison est affectée du signe positif (+) si le plan vertical contenant le vecteur champ est situé à l'Est du méridien géographique, et du signe négatif (-) s'il est situé à l'Ouest.

De même, l'inclinaison est affectée du signe positif si le vecteur pointe vers le bas, ce qui est le cas dans l'hémisphère magnétique Nord. Dans l'hémisphère magnétique Sud, l'inclinaison est négative.

Si l'inclinaison et la déclinaison s'expriment en degré et minutes sexagésimales, la grandeur du champ F ou de ses composantes H et Z se mesurent en OERSTED ou en son sous-multiple, le gamma, qui vaut un cent millième d'OERSTED. Remarquons toutefois que le GAUSS dont l'usage comme unité de champ

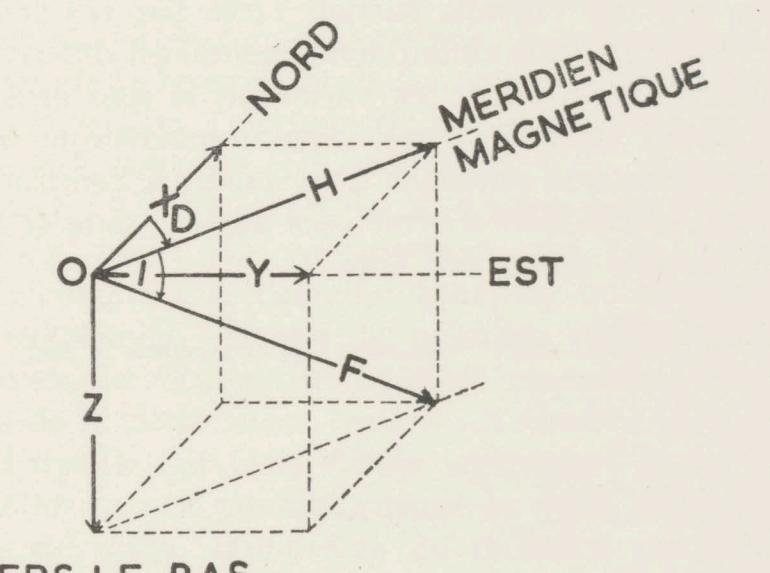


FIG. 1. — Définition du champ magnétique en un point.

U. B. GENT

est encore fort répandu a été réservé, conformément à une convention internationale, pour désigner l'unité d'induction magnétique.

Instruments de mesures

La mesure de la déclinaison s'effectue au moyen, soit d'un appareil spécialisé appelé théodolite magnétique, soit d'un théodolite de géodésie muni d'un déclinatoire, soit encore d'un théodolite-boussole.

Ces deux derniers appareils sont affectés d'une constante propre, ou erreur de zéro, qu'il est indispensable de déterminer. Cette opération s'effectue par comparaison de leurs mesures avec les données, en un même lieu et à un même moment, fournies par un théodolite magnétique.

Le théodolite magnétique permet également de mesurer d'une manière absolue la composante horizontale du champ à partir des unités mécaniques fondamentales : le centimètre, le gramme et la seconde.

Il existe aussi des méthodes de mesures basées sur l'emploi d'unités électriques. Ces méthodes présentent l'inconvénient, spécialement en région tropicale, de poser un problème difficile en ce qui concerne la conservation des étalons électriques.

La composante verticale s'obtient généralement par le calcul, une fois connue la composante horizontale et l'inclinaison.

La mesure de l'inclinaison se réalise par une méthode de zéro au moyen d'un appareil appelé induiteur terrestre.

Parmi les appareils classiques nécessitant un étalonnage préalable, citons, pour la composante horizontale, le « Quartz Horizontal Magnétomètre » (QHM) et, pour la composante verticale, la « Balance Magnétique Verticale » (BMZ).

Enfin, des instruments utilisant le phénomène de précession nucléaire ont été mis récemment au point pour la mesure du champ total F. Grâce à une astuce [14] *, ceux-ci peuvent être adaptés pour la mesure

simultanée des composantes horizontale et verticale.

Variations des composantes du champ

En un même lieu, les composantes du champ magnétique terrestre ne restent pas constantes, mais sont soumises à des variations que l'on peut classer notamment suivant leur durée.

Il existe des variations à très courte période, que nous ne citons ici que pour mémoire. Parmi les variations à courte période on peut noter la variation diurne et les perturbations « orageuses ». En région équatoriale, si l'amplitude de la variation diurne de la déclinaison, par exemple, ne dépasse pas quelques minutes d'arc, les perturbations orageuses par contre peuvent atteindre exceptionnellement 20 minutes d'arc.

Dans un ordre croissant, on distingue ensuite les variations de période plus longue, telles les variations de 27 jours, de six mois et d'un an.

Enfin, il y a la variation séculaire, à laquelle s'ajoute une variation undécennale liée à l'évolution des taches solaires.

Seule la variation séculaire est d'origine purement interne au globe terrestre. Les autres variations sont dues principalement à des courants circulant dans la haute atmosphère. Certaines même, telles les perturbations orageuses, trouvent leur siège à une distance de plusieurs rayons terrestres.

Les choses se compliquent encore du fait que ces courants en induisent d'autres, à l'intérieur de la terre, et les phénomènes mesurés sont la résultante de tous les champs partiels créés par ces courants.

En outre, si le champ fondamental est différent d'un endroit à un autre, les variations le sont également.

Il en résulte qu'une mesure magnétique n'a de valeur qu'à la condition d'en connaître l'emplacement avec précision et d'avoir noté aussi la date et l'heure à laquelle elle a été faite.

* Les chiffres entre [] renvoient à la bibliographie *in fine*.

CHAPITRE II

HISTORIQUE SUCCINT

Si l'on en croit la légende, les Chinois auraient eu connaissance, depuis au moins 4.500 ans, des propriétés directrices d'un aimant placé dans le champ magnétique qui entoure la Terre. Il est dit notamment, qu'en l'an 2634 avant J.-C., l'empereur HOAN-TI, en guerre avec le prince TCHI-YEOU, aurait pu retrouver la direction de retraite de son ennemi au moyen d'un chariot sur lequel une petite figurine, pouvant tourner autour d'un axe vertical, pointait ses bras tendus vers le Sud. Les commentateurs des Annales chinoises en ont déduit que la figurine était munie d'un aimant.

Ce que l'on sait avec certitude date du XI^e siècle après J.-C. L'encyclopédiste SHON-KUA (1030-1093) décrit en effet le moyen utilisé par les devins de l'époque pour matérialiser la direction du Sud. Il consistait à frotter la pointe d'une aiguille au moyen d'une pierre à aimant pour lui faire indiquer la direction cherchée.

D'après les travaux de A. Crichton MITCHELL [19] résumés par CHAPMAN et BARTELS [1], ni les anciens Égyptiens, ni SALOMON, roi d'Israël, ni les Phéniciens, ni même les Grecs et les Romains n'avaient connaissance de la polarité de l'aimant, bien que la littérature classique antique cite à maintes reprises les propriétés d'attraction des pierres d'aimant (*lodestones*).

Dans la littérature européenne, la première description de la boussole et de son usage par les marins est donnée dans l'ouvrage *De Ustensilibus* du moine Alexandre NECKAM (1157-1217).

Il faut attendre la fin du XV^e siècle pour trouver certaines indications démontrant que l'on s'était rendu compte que l'aiguille aimantée ne s'orientait pas exactement suivant le méridien géographique.

Christophe COLOMB notamment connaissait l'existence de la déclinaison, mais avait observé, de plus, que l'aiguille qui était déviée légèrement vers l'Est au début de son premier voyage en 1492, s'était, en cours de route, rapprochée du méridien pour finir par pointer un peu à l'Ouest du Nord vrai.

La première mesure connue de la déclinaison magnétique date de 1510. Elle fut réalisée à Rome par Georg HARTMANN, qui signale également l'existence de l'inclinaison magnétique. Celle-ci, ne sera mesurée correctement qu'en 1576, par l'Anglais Robert NORMAN, au moyen de la première boussole d'inclinaison de sa fabrication.

A partir de ce moment, l'étude du champ magnétique terrestre quitte le domaine qualitatif pour s'engager dans la voie scientifique. Les mesures du XVI^e siècle et les nombreuses expériences effectuées par William GILBERT ont permis, à ce dernier, de publier, en 1600, un traité intitulé *De Magnete*. Cette œuvre de synthèse peut être considérée comme le premier ouvrage scientifique moderne.

L'auteur y démontre que la Terre, dans son ensemble, possède les propriétés d'un aimant et explique, de cette manière, la variation à la surface du globe de la déclinaison et de l'inclinaison. En 1635, Henry GELIBRAND découvre la variation séculaire de la déclinaison et, en 1701, Edmund HALLEY publie la première carte de la déclinaison magnétique des océans. On sait combien ces cartes sont nécessaires à la navigation.

Pour terminer ce court aperçu historique, il est intéressant de signaler que les premiers observatoires magnétiques ont été installés à la fin du XVII^e siècle. A cette époque, on avait déjà reconnu que la déclinaison et l'inclinaison magnétiques étaient l'objet d'une variation diurne et que la variation de ces composantes du champ étaient en outre en relation avec les phénomènes auroraux. Alexander von HUMBOLDT a le mérite d'avoir organisé les premières observations simultanées à la surface du globe, programme qui a ensuite été amplifié, à partir de 1834, par GAUSS et WEBER et qui a conduit à la création de la première association d'observatoires géomagnétiques, sous le nom de *Magnetische Verein*, précurseur de l'actuelle Association internationale de Géomagnétisme et d'Aéronomie.

Depuis la parution, en 1838, de l'ouvrage magistral

de GAUSS, *Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus*, l'étude du champ magnétique terrestre s'est poursuivie systématiquement. Aux mesures des composantes directionnelles se sont jointes celles de l'intensité du champ. L'enregistrement photographique, dont le premier a été réalisé par Charles BROOKE en 1846, a progressivement remplacé les observations échelonnées par des observations continues.

Malgré plus d'un siècle d'efforts et de travail systématique, on n'est pas encore parvenu à percer le secret du magnétisme terrestre, phénomène que la variation séculaire, bien qu'assez lente, maintient en évolution constante.

Si la plupart des variations trouvent leur siège dans la haute atmosphère, la variation séculaire et le champ fondamental sont liés à la structure même de notre globe.

Actuellement, les travaux d'ELSASSER et de BULARD tentent d'expliquer le magnétisme terrestre

fondamental par des courants de conduction et des mouvements différentiels à l'intérieur du noyau terrestre. La théorie encore qualitative se heurte à de nombreuses difficultés du fait que les propriétés du milieu, où ces courants se développent, sont encore fort mal connues.

Si les satellites artificiels, équipés d'instruments de mesure appropriés, peuvent permettre une détermination du champ fondamental où les perturbations dues aux anomalies superficielles sont estompées, ils ne sont cependant pas susceptibles de clarifier le problème relatif à l'existence même de ce champ. Les satellites ou planétoïdes artificiels ont par ailleurs une importance considérable pour la détermination des propriétés physiques de l'espace du système solaire et conduiront à la solution des questions posées par les relations existant entre les phénomènes terrestres et solaires.

CHAPITRE III

LES MESURES MAGNÉTIQUES AU CONGO

Malgré des conditions souvent difficiles, le Congo n'est pas resté étranger au développement sur son territoire des observations magnétiques, dont l'extension a pris naissance au cours du XIX^e siècle.

Le 5 août 1890, les capitaines A. DELPORTE et L. GILLIS [3] débarquent à Matadi pour entreprendre la première mission géodésique et magnétique effectuée au Congo. Le but était d'établir, le long du fleuve Congo, une série de points astronomiques et d'y effectuer des mesures magnétiques des composantes du champ. En remontant le fleuve, tous deux furent atteints de maladie, ce qui ne les empêcha pas de poursuivre leur tâche jusqu'aux Stanley Falls.

Entre le 14 août 1890 et le 14 avril 1891, cette mission détermina en 12 stations, les valeurs de la latitude, de la longitude, de la déclinaison, de l'inclinaison et de la composante horizontale du champ.

Au terme de leur voyage, l'état de santé du capitaine DELPORTE s'aggrava. Arrivé près de Matadi et sur le point de revenir en Belgique, A. DELPORTE, terrassé par le mal dont il souffrait, mourut le 26 mai 1891.

En novembre 1897, le roi LÉOPOLD II confia au capitaine Ch. LEMAIRE le soin de conduire une mission scientifique, similaire à celle de 1890, dans le Sud de l'État Indépendant du Congo.

Au cours des deux années pendant lesquelles Ch. LEMAIRE [17] [18] parcourut principalement le Katanga, 117 stations de mesures magnétiques furent effectuées en des points dont la position avait été déterminée par les méthodes astronomiques. On ne peut guère aujourd'hui se rendre compte des efforts que pareille mission exigeait de celui qui était chargé de la réaliser. A cette époque, il n'existe ni route, ni chemin de fer et tous les déplacements se faisaient à pied. On se représente mieux les distances parcourues par Ch. LEMAIRE quand on sait que la superficie du Katanga est à peu près équivalente à celle de la France.

Chargés de réaliser le segment équatorial de la chaîne de triangulation du 30^e méridien, qui devait s'étendre du Caire au Cap de Bonne Espérance, M. DE-

HALU et G. WANGERME [2] ont déterminé accessoirement, du 7 mai 1908 au 7 avril 1909, à la frontière Nord-Est du Congo, la valeur de la déclinaison magnétique en 58 stations, situées la plupart dans le Territoire de l'Uganda.

L'Institut Carnegie, à l'initiative de L. A. BAUER, fonda en 1904 un département de magnétisme terrestre dont l'un des objectifs était de promouvoir l'exécution de mesures magnétiques, particulièrement dans les régions du monde les moins connues. C'est ainsi que le Congo a pu bénéficier de trois expéditions successives, dont les résultats ont permis à l'actuel directeur de l'Institut royal météorologique de Belgique, le Professeur E. LAHAYE [15], d'établir, en 1927, la première carte des isogones du Congo et de l'Afrique équatoriale française au 1^{er} janvier 1917.

Ces expéditions eurent lieu en 1914, 1916 et 1920 et furent effectuées respectivement par D. M. WISE, H. E. SAWYER et F. BROWN [23] qui procédèrent à des mesures complètes du champ en 57 stations bien réparties.

Des mesures sur le terrain ont été faites ensuite d'une manière systématique, aux points de triangulation, par le Service géographique et géologique du Comité spécial du Katanga (C. S. K.) sous l'impulsion de notre Confrère J. VAN DER STRAETEN [22], par le Service cartographique du Congo, puis par l'Institut géographique du Congo et, plus récemment, par le Syndicat pour l'Étude géologique et minière de la Cuvette congolaise.

L'étude du champ magnétique est entrée dans sa phase scientifique et a pu se développer, au cours de la deuxième Année polaire, grâce aux efforts de feu notre Confrère, le Professeur M. DEHALU, ancien administrateur de l'Université de Liège et pionnier des mesures magnétiques au Congo. C'est à son initiative qu'il fut décidé de créer à Élisabethville un observatoire permanent du champ magnétique terrestre. A. MOLLE fut chargé de son installation et de son fonctionnement. Les observations débutèrent d'une

manière systématique en novembre 1932 et se sont poursuivies jusqu'en mai 1934 [20] [10].

A cette date, A. MOLLE remit la direction de l'observatoire à L. HERMANS qui, grâce à un subside du Fonds national de la Recherche scientifique (F. N. R. S.), était chargé en outre d'entreprendre le levé magnétique de la Province du Katanga.

De nouveaux subside, fournis notamment par la Fondation pour l'Étude scientifique des Parcs Nationaux, par la Société des Mines d'Or de Kilo-Moto et le F. N. R. S., ont permis à cet observateur d'étendre son réseau de stations pratiquement à tout l'Est du Congo. Cet important travail, qui comprend environ 500 stations, a été publié par les soins de l'Académie royale des Sciences d'Outre-Mer et de l'Université de Liège sous la forme de 4 mémoires précédés d'un fascicule préliminaire [4] à [9]. Le 5^e et dernier mémoire n'a pas encore paru.

Dans l'entre-temps, l'observatoire d'Élisabethville avait été laissé dans un état d'abandon complet. C'est à G. HEINRICH, chef de service au Comité spécial du Katanga, que revient le mérite d'avoir, en 1937, non seulement remis l'observatoire complètement en état, mais encore d'en avoir assuré le fonctionnement normal sous l'égide du C. S. K. avec des moyens fort limités [11] [13]. — Depuis cette époque,

l'observatoire d'Élisabethville a fonctionné sans interruption, successivement sous la direction de G. HEINRICH, jusqu'en avril 1946, de P. HERRINCK, de cette date jusqu'en août 1948 et de nouveau sous celle de G. HEINRICH d'août 1948 à avril 1951.

Au cours de cette période, l'observatoire fut repris administrativement par le Service de Météorologie et Géophysique du Gouvernement Général du Congo.

En novembre 1947, à la demande de N. VANDER ELST, directeur de ce service, P. HERRINCK élabora un plan de développement de la géophysique pour l'ensemble du territoire congolais. Ce projet a constitué l'ossature du plan décennal 1950-1960, que P. HERRINCK a été chargé de mettre en œuvre. Il prévoit expressément l'établissement d'un nouvel observatoire à Élisabethville et la création de deux autres, l'un à Léopoldville, l'autre à Bunia. En outre, une équipe de levés géophysiques complète cet ensemble en vue de l'élaboration des cartes magnétiques et gravimétriques du Congo et du Rwanda-Burundi. Le nouvel observatoire d'Élisabethville-Karavia est entré en service en janvier 1957 ; celui de Léopoldville-Binza en décembre 1952 et celui de Bunia-Ruampara en août 1958. A partir de ce moment, il est permis d'affirmer que le magnétisme terrestre fait, au Congo, l'objet d'études systématiques.

CHAPITRE IV

ÉTABLISSEMENT DE LA CARTE DES DÉCLINAISONS MAGNÉTIQUES

Pour pouvoir servir à l'élaboration d'une carte, toutes les mesures doivent être débarrassées des variations à courtes et moyennes périodes afin de les rendre comparables entre elles.

Grâce aux observatoires géomagnétiques permanents, il est possible de ramener les mesures à une date déterminée et à une valeur diurne moyenne. Toutefois, dans un pays aussi vaste que le Congo, ces réductions présentent certaines difficultés du fait que la variation diurne diffère d'autant plus d'un point à un autre que la distance entre eux est plus grande. On est donc amené à effectuer des interpolations entre les courbes enregistrées aux divers observatoires. On peut pallier cet inconvénient en faisant fonctionner, à l'emplacement des mesures, des appareils enregistreurs. Malheureusement, l'application de ce procédé réclame un équipement coûteux et un personnel spécialisé dont il n'est pas toujours possible de disposer.

La variation séculaire, dont l'évolution est non seulement imprévisible, mais également différente suivant le lieu, impose que toutes les mesures soient faites dans un intervalle de temps relativement court, de l'ordre de quelques années, si l'on ne dispose pas d'un réseau d'observatoires où cette variation peut être déterminée ou si l'on n'a pas pris la peine de revisiter régulièrement un certain nombre de stations-clés auxquelles on donne le nom de stations séculaires. Ces conditions n'ayant pas été remplies dans le passé, il est actuellement fort difficile sinon impossible d'utiliser les anciennes mesures pour l'élaboration d'une carte.

L'étude du magnétisme terrestre exigeant avant toute la continuité, le souci de la section de Géophysique du service de Météorologie et Géophysique du Congo et du Rwanda-Burundi a donc été de remédier à cet état de choses par la création des trois observatoires et de l'équipe de levés géophysiques mentionnés ci-dessus.

Le manque de moyens financiers et la pénurie de personnel n'ont pas encore permis l'achèvement du réseau de stations séculaires, qui doit comporter environ 135 stations pour l'ensemble du Congo, à raison d'une station par Territoire administratif.

Pour ne pas retarder la publication d'une carte des déclinaisons à petite échelle (1/5.000.000), il a été décidé d'exploiter les mesures réalisées par les services géographiques dont les observateurs ont l'occasion de parcourir des régions étendues. Ces services utilisent soit des théodolites à déclinatoires, soit des théodolites-boussoles qui ont été préalablement étalonnés dans les observatoires géomagnétiques.

La carte que nous présentons résulte donc des mesures effectuées sous les auspices de l'Institut géographique du Congo pour l'ensemble de son domaine d'activité, par le Service géographique et géologique du C. S. K. pour le Katanga [21] et par les missions du Syndicat pour l'Étude géologique et minière de la Cuvette congolaise [15]. Elles ont été complétées par les observations de l'équipe des levés du Service de Météorologie et Géophysique.

Toutes les mesures ont été réduites au 1^{er} janvier 1960.

La variation séculaire a été obtenue par une extrapolation vers le Nord des déterminations effectuées aux observatoires de Léopoldville-Binza et d'Élisabethville-Karavia au moyen d'anciennes cartes mondiales. De ce fait, elle présente, dans le Nord-Est du Territoire, quelque incertitude que les mesures de l'observatoire de Bunia pourront lever dans quelques années.

La figure 2 donne la représentation de la variation séculaire à Léopoldville et à Élisabethville.

Remarquons que la variation séculaire est actuellement positive et varie, suivant le lieu, de une à cinq minutes d'arc par an. Il en résulte une tendance à un rapprochement du méridien magnétique vers le méridien géographique, car la déclinaison (actuellement Ouest, donc affectée du signe --) et la variation sécu-

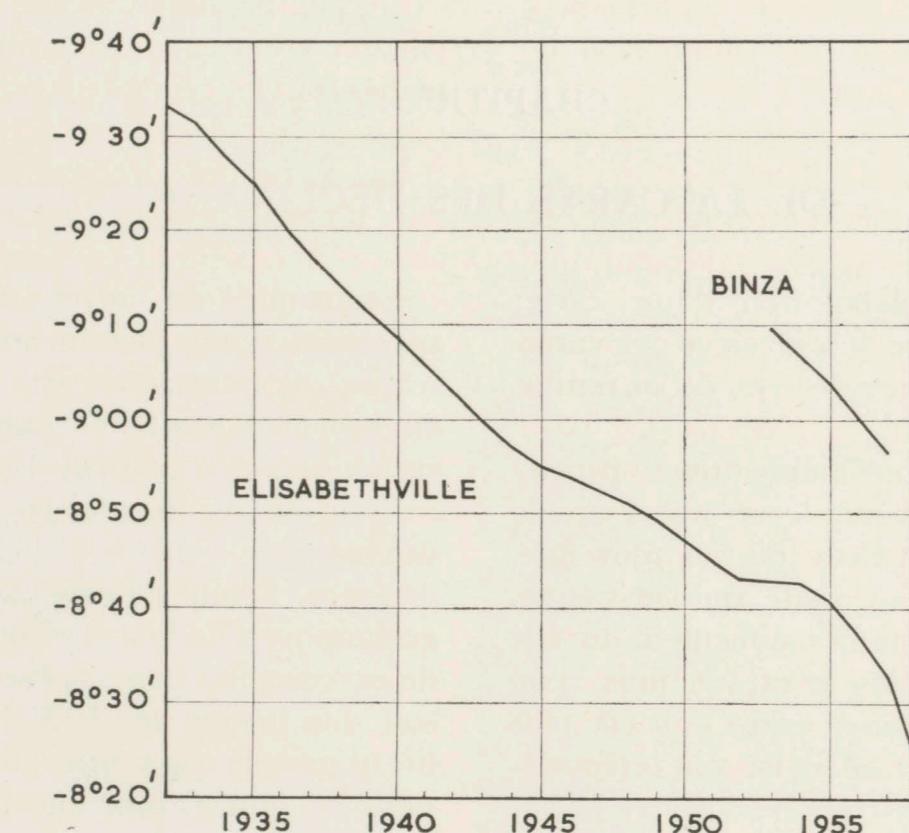


FIG. 2. — Variation séculaire de la déclinaison à Élisabethville et Binza.

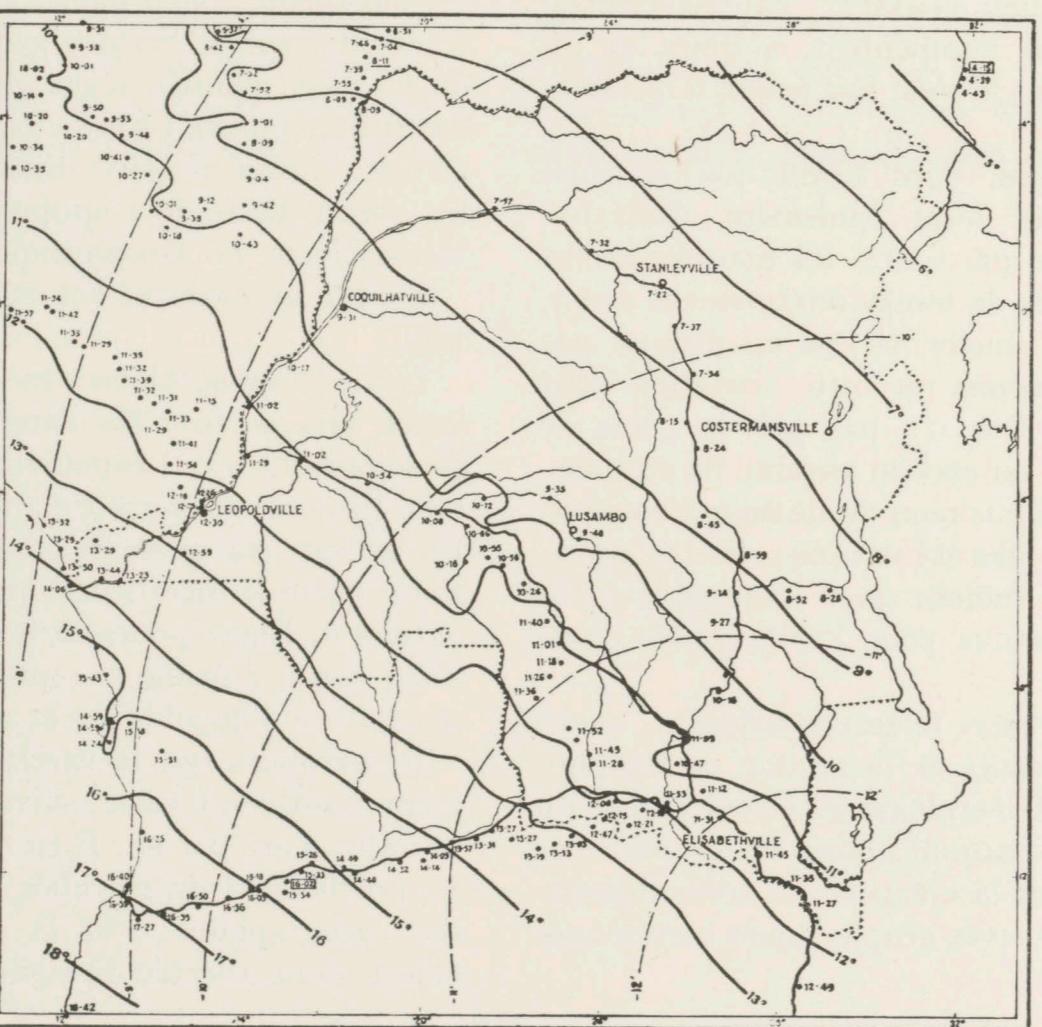


FIG. 3. — Carte élaborée par G. HEINRICH au moyen des données anciennes observées par l'Institut CARNEGIE en 1914 et 1920.

laire (affectée du signe +) doivent être additionnées algébriquement, ce qui entraîne une diminution de l'angle entre les deux méridiens.

Une carte des déclinaisons magnétiques effectuée à une échelle aussi petite que le 5.000.000^e et avec une densité de points qui est loin d'être uniforme, ne peut avoir d'autre prétention que la représentation de l'allure générale des isogones.

Quand la densité de stations est élevée, comme c'est le cas pour les degrés carrés levés à l'initiative de notre confrère J. VAN DER STRAETEN [22] dans le Katanga, les isogones ont une forme très tourmentée qu'il serait vain de reproduire sur une carte à petite échelle. En fait, une telle carte ne peut être qu'un document statistique. Quand la densité de points est uniforme, on effectue la moyenne de toutes les mesures comprises entre les limites définies par un quadrillage et c'est entre ces valeurs placées au centre de ces régions que l'on trace les isogones «moyennes» par interpolation.

Le manque d'homogénéité du réseau de stations dont nous avons pu disposer n'a pas permis d'utiliser cette méthode rationnelle. D'autre part, les erreurs dues à la distribution imparfaite des points sont de loin supérieures à la variation diurne qui, de ce fait, a pu être négligée. Les mesures ont donc été corrigées uniquement de la variation séculaire.

Remarquons à ce propos que l'incertitude relative à la variation séculaire dans le Nord-Est n'entraîne guère de conséquence en raison de la petitesse même de cette variation, actuellement de l'ordre de 2 minutes par an, et du caractère récent des mesures utilisées.

Sans préjuger de l'existence d'anomalies, on peut estimer qu'en moyenne la précision de la carte est de l'ordre de ± 5 minutes d'arc dans les régions où l'on dispose de mesures en nombre suffisant.

Les points présentant des anomalies ont été indiqués par une croix en rouge entourée d'un cercle. Ces anomalies sont en général assez petites et ne dépassent que rarement un degré par rapport à la valeur normale.

La carte des déclinaisons magnétiques constitue une nouvelle étape dans l'évolution de l'étude du champ magnétique du Congo. La géophysique, peut-être plus que toute autre science, ne progresse que par approximations successives.

En comparant cette carte à celle qu'élabora G. HEINRICH [12] (figure 3) au moyen des données anciennes observées par l'Institut CARNEGIE en 1914 et 1920, on peut se rendre compte du progrès réalisé en 40 années.

Depuis l'établissement des trois observatoires géomagnétiques du Service de Météorologie et Géophysique, complétés par l'observatoire de Lwiro travaillant sous l'égide de l'I. R. S. A. C., toutes les mesures sur le terrain, qui seront faites dans l'avenir, pourront venir s'ajouter aux mesures utilisables du passé. De cette façon, on pourra, en peu de temps, améliorer considérablement la carte magnétique actuelle.

Nous tenons à exprimer à l'I. G. C., au C. S. K., au Syndicat pour l'Étude géologique et minière de la Cuvette congolaise ainsi qu'aux observateurs de ces institutions, notre profonde gratitude pour leur collaboration efficace aux mesures des déclinaisons qui ont permis de réaliser ce document de synthèse.

Enfin, c'est pour nous un agréable devoir d'adresser à nos Confrères J. VAN DER STRAETEN et L. JONES, qui ont contribué largement au développement de la géodésie et de la géophysique au Congo, nos vifs remerciements pour les conseils qu'ils nous ont prodigués lors de la rédaction de la présente notice.

Léopoldville, 3 juin 1960.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] CHAPMAN, S. and BARTELS, J. : Geomagnetism (Oxford University Press).
- [2] DEHALU, M. et WANGERMEÉ, G. : Résultats préliminaires des observations magnétiques effectuées en Afrique à l'occasion de la mesure d'un arc du 30^o méridien dans le voisinage de l'Équateur (*Bull. de la Cl. des Sc. de l'Ac. Royale de Belgique*, Bruxelles, 1909).
- [3] DELPORTE, A. et GILLIS, L. : Observations astronomiques et magnétiques exécutées sur le territoire de l'État Indépendant du Congo (Académie royale de Belgique. *Mémoire Cour. et Mém. des Sav. Étrangers*, in-4^o, t. LIII, 1893-94).
- [4] HERMANS, L. : Résultats des observations magnétiques effectuées de 1934 à 1938 pour l'établissement de la carte magnétique du Congo belge. Fascicule préliminaire. Aperçu des méthodes et nomenclature des stations (Académie royale des Sciences d'Outre-Mer, Bruxelles, 1939, 88 pp.).
- [5] — : Élisabethville et le Katanga (Académie royale des Sciences d'Outre-Mer, Bruxelles, 1941, 105 pp.).
- [6] — : Kivu, Ruanda, Région des Parcs Nationaux (Académie royale des Sciences d'Outre-Mer, Bruxelles, 1941, 138 pp.).
- [7] — : Région des mines d'or de Kilo-Moto, Ituri, haut-Uélé (Académie royale des Sciences d'Outre-Mer, Bruxelles, 1939, 71 pp.).
- [8] — : Haut-Uélé, Bas-Uélé, Aruwimi, le fleuve de Ponthierville à Bumba (Académie royale des Sciences d'Outre-Mer, Bruxelles, 1951, 67 pp.).
- [9] — : Maniema Sankuru (*non publié*).
- [10] —, MOLLE, A. et KOENIGSFELD, L. : Observations magnétiques faites à Élisabethville (Congo belge) pendant les années 1933-1934. Résultats des observations (Académie royale des Sciences d'Outre-Mer Bruxelles, 1941, 83 pp.).

- [11] HEINRICHS, G. : Le magnétisme terrestre au Katanga (Comité spécial du Katanga, Élisabethville, 1942).
- [12] — : Les anciennes observations magnétiques effectuées au Congo belge et la variation séculaire (Académie royale des Sciences d'Outre-Mer, *Bull. des Séances*, XVII, 1947, 3, pp. 831 à 876).
- [13] — : Observations magnétiques, années 1938 à 1945 (Académie royale des Sciences d'Outre-Mer, Bruxelles, 1949, 250 pp.).
- [14] HERRINCK, P. : Principe d'un magnétomètre à résonnance nucléaire permettant la détermination des composantes horizontales et verticales du champ magnétique terrestre (Académie royale des Sciences d'Outre-Mer, *Bulletin des Séances*, IV, 1958, 3, p. 743).
- [15] JONES, J., NIEUWVELD, W., STRENGHER, H., ABOTT, D. R. : Résultats scientifiques des missions du Syndicat pour l'Étude géologique et minière de la Cuvette Congolaise et travaux connexes. Déterminations astronomiques et planimétriques (*Annales du Musée royal du Congo belge*, Série in-8^o, Sciences géologiques, Vol. 21, 1957).
- [16] LAHAYE, E. : Isogones du Congo belge et de l'Afrique équatoriale française au 1^{er} janvier 1917 (*Ciel et Terre*, t. 43, 1927, p. 244).
- [17] LEMAIRE, Ch. : Mission scientifique du Katanga. Note préliminaire sur les résultats des observations magnétiques faites au Congo de 1898 à 1900 (*Bull. de la Cl. des Sciences de l'Académie Royale de Belgique*, Bruxelles, 1901).
- [18] — : Mission scientifique du Katanga. Résultat des observations astronomiques, magnétiques et altimétriques effectuées sur le territoire de l'État Indépendant du Congo du 4 septembre 1900 (Publications de l'État Indépendant du Congo, 16 mémoires).

- [19] MITCHELL, A. Crichton : Chapters in the history of Terrestrial Magnetism (*Terr. Magn.*, 37, 105-46, 1932; 42, 241-80 1937; 44, 77-80 1939).
- [20] MOLLE, A. et KOENIGSFELD, L. : Observations magnétiques faites à Élisabethville (Congo belge) pendant l'année internationale polaire (Académie royale des Sciences d'Outre-Mer, Bruxelles, 1936, 29 pp.).
- [21] VAN DER STRAETEN, J. : Triangulation du Katanga. Tronçons XIII à XVII de la triangulation fondamentale et groupes X à XIV du

- nivellement trigonométrique général (Académie royale des Sciences d'Outre-Mer, Bruxelles, 1955, 227 pp.).
- [22] — : The general isogonic Map of the Katanga for epoch January 1, 1941 (*Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, Washington, March, 1945).
- [23] Research of the Department of Terrestrial Magnetism of the Carnegie Institution of Washington. Land Magnetic Observations 1914-1920 and Special Reports. Vol. IV, 1921, p. 32-34.