

49/38

KONINKLIJKE BELGISCHE AKADEMIE

NATIONAAL COMITÉ VOOR GEOGRAFIE
COMMISSIE VOOR DE NATIONALE ATLAS

ATLAS VAN BELGIË

PLAAT 5.

ZWAARTEKRACHT

DOOR

L. JONES



WARD
912.44H
JONE
1958

1958

Gedrukt op de Persen
van het Militair Geografisch Instituut
Ter Kameren — Brussel

CBS 481288.1

Het Nationaal Comité voor Geografie en de Commissie voor de Atlas kennen de schrijvers alle verantwoordelijkheid toe voor de meningen, naar voor gebracht in de bijdragen, die voor de Commentaren bij de Atlas van België bestemd zijn.

ZWAARTEKRACHT

(PLAAT 5)

1. — ENKELE BEPALINGEN.

Elke wetenschap, elke techniek heeft haar eigen taal : ze gebruikt termen die vaak slechts voor de specialist hun volle betekenis hebben, terwijl ze voor de oningewijde voor interpretatie vatbaar zijn. Het komt ons dan ook gepast voor, onderhavig commentaar aan te vangen met enkele fundamentele bepalingen, betreffende de gebruikelijke termen in de studies over de zwaartekracht.

Eerst en vooral, wat verstaat men door « zwaartekracht » ? TARDI geeft de volgende bepaling, waarvan elk woord belangrijk is (1) :

« La pesanteur est la résultante de la gravité et de la force centrifuge. C'est ce que » CLAIRAUT exprimait déjà en 1743 dans son ouvrage célèbre : *Théorie de la figure de la Terre* :
 » " Je fais ici la même distinction que M. DE MAUPERTUIS entre la pesanteur et la gravité :
 » j'entends par pesanteur la force naturelle avec laquelle tout corps tombe et j'appelle gravité
 » la force avec laquelle ce corps tomberait, si la rotation de la Terre n'altérait pas son effet
 » et sa direction ". »

Het gaat hier dus om een kracht, die wij onder de klassieke vorm kunnen uitdrukken van het product van een massa met een versnelling :

$$P = M \times g$$

waarin M de massa van het vallend lichaam is, en g zijn versnelling.

In de praktijk meet men niet de kracht zelf, maar de versnelling van de zwaartekracht g . De waarden van deze versnelling in verschillende punten van een streek, worden uitgebaat volgens methodes die we verder zullen overlopen.

Strikt genomen wordt de beweging van het vallend lichaam veroorzaakt door de resultante van verschillende krachten : de aantrekkingskracht van de Aarde en de centrifugaalkracht die veroorzaakt wordt door de wenteling van onze planeet; deze krachten zijn verre overwegend in vergelijking met de aantrekkingskracht der hemellichamen, inzonderheid de Zon en de Maan.

Om de terminologie te vereenvoudigen spreekt men van : « zwaartekracht » in de betekenis van « versnelling der zwaartekracht »; men gebruikt zelfs de termen gravitatie, gravimetrie, gravimetrische anomalieën, gravimetrische studies, in de onderscheidenlijke betekenis van : de versnelling der zwaartekracht, de meting ervan, haar anomalieën, en de uitbating van deze meting voor verschillende doeleinden.

(1) P. TARDI. — [1]. Fasc. II. (Paris, Gauthier-Villars, 1934.)

« De zwaartekracht is de resultante van de gravitatie en van de centrifugaalkracht. In 1743 had CLAIRAUT dit reeds uitgedrukt in zijn beroemd werk : " *Théorie de la figure de la Terre* " :

» " Ik maak hier hetzelfde onderscheid als M. DE MAUPERTUIS tussen de zwaartekracht en de gravitatie :
 » door zwaartekracht versta ik de natuurlijke kracht waarmee elk lichaam valt, en door gravitatie versta
 » ik de kracht waarmee dit lichaam zou vallen, indien de wenteling van de Aarde haar uitwerking en
 » richting niet zou wijzigen ". »

2. — BELANG VAN DE METINGEN DER ZWAARTEKRACHT.

De evolutie van de gravimetrie is meldenswaard, daar ze verschillende disciplines, zowel wetenschappelijke als economische, heeft aanbelangd.

2.1. Aanvankelijk verbonden met de *Fysica*, is de gravimetrie reeds vroeg een onderdeel geworden van de *Geodesie* waarvan het fundamenteel doel het bepalen van de vorm van de Aarde is. Talrijke *metingen van meridiaanbogen* hebben het mogelijk gemaakt de waarschijnlijkste afmetingen te berekenen van een *referentie-ellipsoïde* (wiskundige figuur die het dichtst de *geoïde* benadert waarvan het oppervlak overeenstemt met dat van de oceanen, denkbeeldig onder de continenten verlengd); anderzijds hebben de *astronomische metingen* het mogelijk gemaakt de *geoïde* ten opzichte van de ellipsoïde te situeren; nochtans waren deze methodes, *tot de allerlaatste jaren*, slechts toepasselijk op de continenten waarvan de uitgestrektheid betrekkelijk beperkt is, en waarvan de verspreiding over heel de Aarde niet steeds gunstig is voor het beoogde doel. Daarentegen is het mogelijk metingen van de zwaartekracht over heel de Aarde uit te voeren: de gravimetrische metingen op het land zijn gemakkelijk, snel, economisch en kunnen aanzienlijk vermenigvuldigd worden; hoewel de metingen op zee nog in hun beginstadium staan, toch zullen ze zeker een snelle en belangrijke vlucht nemen.

Het beginsel van de bepaling van de vorm der Aarde door de gravimetrie, van al zijn ingewikkelde details ontdaan, ziet eruit als volgt:

De waarde van de zwaartekracht in een willekeurig punt van de Aarde hangt in de eerste plaats af van de aard (*dichtheid*) en de *verdeling* der massa's, tussen de topografische oppervlakte en de *geoïde* gelegen; ze hangt eveneens af van dezelfde factoren betreffende de massa's *onder* de *geoïde*. Als men ertoe komt de invloed van deze massa's uit te rekenen, kan men de waarde van de waargenomen zwaartekracht verbeteren, om een waarde te bekomen die de zwaartekracht op de *geoïde* voorstelt, *op de verticaal van hei beschouwde opstellingspunt*. Anderzijds kent men de wiskundige figuur die de *geoïde* het dichtst benadert: de internationale ellipsoïde. Daarop kan men de normale (theoretische) waarden γ van de zwaartekracht berekenen. Voor elk opstellingspunt noemt men de *anomalie van de zwaartekracht*, het verschil tussen de waargenomen waarde van de zwaartekracht herleid tot de *geoïde*, en haar normale waarde. De *formule van Stokes*, die de anomalieën der zwaartekracht benut, zal ten slotte toelaten de *geoïde* ten opzichte van de ellipsoïde te situeren (3).

Een ander belangrijk vraagstuk van de Geodesie is de *nauwkeurige* bepaling van de hoogte van een zeker aantal punten op de Aardoppervlakte: de *nauwkeurige waterpassingen* houden zich met dit probleem bezig. Daar de bewerkingen van die waterpassingen innig verbonden zijn met de relatieve posities van de verticalen langs de gevolgde wegen en de bepaling zelf van de hoogte van een punt hier reeds een probleem stelt (de « verticaal » onder een punt van de grond is een *kromme*, loodrecht in al haar punten aan de niveauvlakken), zal men, om nauwgezet te zijn, beroep moeten doen op de gravimetrische uitslagen om de metingen der waterpassing uit te baten.

2.2. De studie van de *inwendige zones der Aarde* heeft de laatste decennia een omvang genomen, die voorzeker in verband staat met de noodzakelijkheid voor de mensheid om nieuwe en steeds meer grondstoffen te vinden: wij wensen nu de *Geofysica* voor ogen te brengen.

Van wetenschappelijk standpunt uit gezien, kan de gravimetrie *zekere* inlichtingen leveren betreffende de samenstelling van de aardkorst op een gebied dat in zekere zin bij dat van de

(3) R.-P. LEJAY. — [3]. (Paris, Gauthier-Villars, 1947.)

Geologie aansluit : samenstelling, dikte van de aardkorst; verloop van het substraat; belangrijke onregelmatigheden in de diepte, enz.

Wat de praktische zijde van de Geofysica betreft, volstaat het één woord te gebruiken : de *mijnprospectie*. De uitbating der gravimetrische metingen richt zich hier vooral op de anomalieën, die op *geringe diepte* zouden bestaan; verdeling der dichtheid, verdeling der massa's, verloop der geologische lagen. De vooruitgang geboekt in de bouw der meetapparaten voor de zwaartekracht (de gravimeters), en de oplossing van de vraagstukken in verband met de mijnprospectie, hebben hun weerslag gehad op de Geodesie en op de wetenschappelijke Geofysica.

De noodzakelijkheid *zeer geringe* anomalieën der zwaartekracht te kunnen ontdekken (opzoeking van petroleum), heeft geleid tot de bouw van zeer gevoelige gravimeters : de *c.g.s.* eenheid van versnelling der zwaartekracht is de *gal* (cm/sec/sec); met de huidige gravimeters kan men een *honderste milligal* (mgal) (10^{-5} gal) meten. Maar van toen af dreigde een natuurverschijnsel een bestaande gravimetrische anomalie te omfloersen, en had een ongunstige weerslag op het rendement der metingen : de *landgetijden* (2). De aardkorst is niet onvervormbaar; ze is blootgesteld aan de invloed van de Maan en de Zon : zoals de oceaanmassa's ondergaat ze een periodische beweging in verticale zin, waarvan de amplitudo enkele decimeter zou bedragen. Dit landgetij wordt door de gravimeters geregistreerd onder vorm van een variatie van *g* van de orde van 0,15 mgal (maximum amplitudo). De studie van het getij der aardkorst werd de laatste jaren door de petroleummaatschappijen op grote schaal doorgevoerd, en is een belangrijke bijdrage geweest tot de zuivere vorsing.

2.3. Tenslotte willen wij erop wijzen, dat de fysici en de meteorologen belang stellen in de gravimetrische studies, in zover ze betrekking hebben op de bepaling van de waarde der zwaartekracht, die zij bij overeenkomst « *normaalwaarde* » noemen (op 45° breedte en op de hoogte van de zeespiegel). Deze normaalwaarde wordt gelijkgesteld aan 980.665 mgal; ze heeft in zekere zin een conventioneel karakter : dient zij behouden of gewijzigd ? Deze vraag werd opgeworpen; totnogtoe bleef ze onopgelost.

3. — HET OPSTELLEN VAN DE GRAVIMETRISCHE KAARTEN VAN BELGIE.

3.1. Om de gravimetrische kaart van een land op te stellen, moet men beginnen met metingen van *g* in een voldoende aantal punten, waarvan hoogte en breedteligging dienen gekend te zijn. Vervolgens berekent men in elk punt de anomalieën der zwaartekracht, van de ene of van de andere soort, naargelang het beoogd doel. Tenslotte tekent men door interpolatie het tracé van de isanomale krommen (met zelfde anomalie). We zullen elk van deze verrichtingen achtereenvolgens van naderbij beschouwen.

3.2. **Metten van de versnelling der zwaartekracht *g*.** — Men zou kunnen denken dat het noodzakelijk is *g* in elk punt te meten, dit wil zeggen in elk punt een *absolute meting* uit te voeren. Dit is niet het geval. De absolute meting van *g* duurt lang en is kies; zij maakt tegenwoordig nog het voorwerp uit van opzoekingen; hoewel de nauwkeurigheid hoger is dan vijftig jaar geleden, toch is ze nog niet zeer groot : van de orde van enkele mgal. In ieder geval horen de apparaten voor de absolute meting thuis in het laboratorium : het is ondenkbaar dat zij op het terrein zouden kunnen gebruikt worden voor systematische opnamen.

(2) P. MELCHIOR. — [2]. (Koninklijke Belgische Sterrenwacht, Monographies 4, 1954.)

Zo is het niet gesteld met de *relatieve metingen van g* : wanneer de waarde van g in een punt gekend is, zal het meten van het verschil van g tussen dit punt en een ander punt M toelaten hetzelfde resultaat te bereiken als dat van een absolute meting van g in M . De oudste methode is die van de slinger : zoals bekend wordt de slingertijd van een slinger met lengte l gegeven door de formule :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

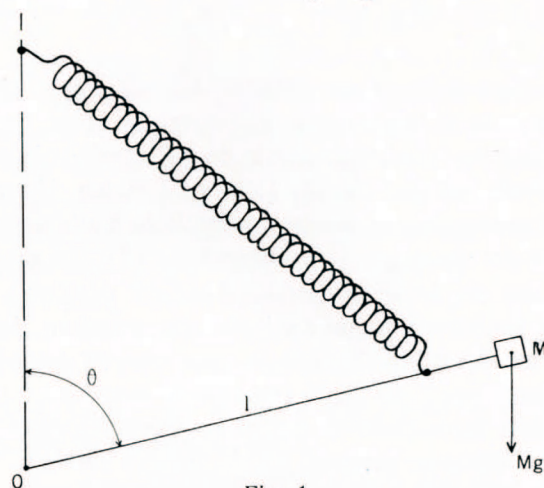


Fig. 1.

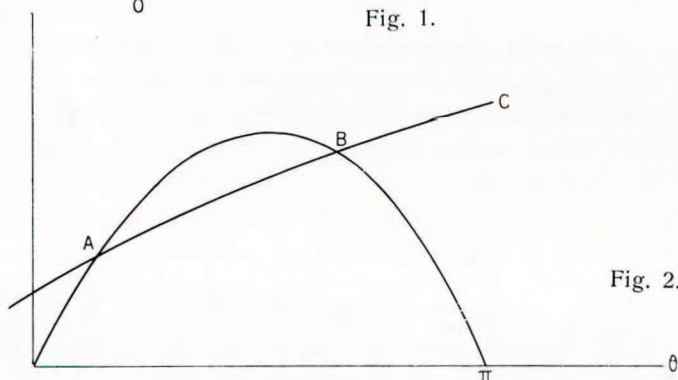


Fig. 2.

Wanneer men de slingertijden T in A en in B meet, zal men daaruit het verschil van g tussen A en B kunnen afleiden, zonder daarom l te moeten kennen, hetgeen van groot belang is.

Deze half absolute methode werd geregeld toegepast op het terrein, vóór de invoering der gravimeters; maar de duur der waarnemingen en de omvangrijkheid van het materieel hebben het nooit mogelijk gemaakt een grote dichtheid van opstellingspunten te bereiken; bovendien is de nauwkeurigheid beperkt, vooral door het feit dat het resultaat afhangt van een tijds-meting.

Door het gebruik van gravimeters kon het vraagstuk van de relatieve metingen van g op bevredigende wijze opgelost worden, zowel uit oogpunt van de vereisten der nauwkeurigheid, als uit oogpunt van het kwantitatief rendement der opnamen. Er bestaan verschillende soorten gravimeters : wij zullen ons ertoe beperken het beginsel van de zogenaamde slinger-gravimeter uiteen te zetten (3). Stellen wij ons een massa M voor (*fig. 1*), die om een horizontale as kan draaien; het koppel dat te wijten is aan de zwaartekracht heeft als waarde $Mg \sin \theta$; in functie van θ wordt dit koppel voorgesteld door een sinusoïde (*fig. 2*). Wanneer

(3) R.-P. LEJAY. — [3]. (Paris, Gauthier-Villars, 1947.)

men anderzijds een tegengesteld koppel laat werken (bijvoorbeeld : werking van een veer), voorgesteld door een kromme c in functie van θ , zal men stabiel evenwicht bekomen in het snijpunt B (3).

Bij de Norgaard-gravimeter, die voor de opname van België gediend heeft, wordt het tegengesteld koppel gevormd door torsie van een kwartsdraad.

3.3. De Norgaard-gravimeter. — Het essentieel element bestaat uit een systeem in kwarts (*fig. 3*) : een montuur in kwarts, in de vorm van een omlijsting, waarvan een der zijden uit een draad f bestaat van 0,1 mm doormeter; deze draad is voorzien van een hefboomsarm l die uitloopt op een spiegel M_1 . Het koppel der zwaartekracht dat op de massa van M_1 inwerkt,

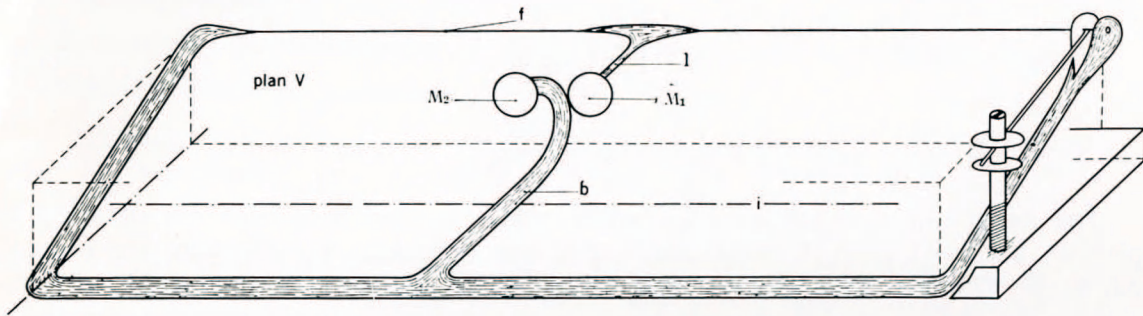


Fig. 3.

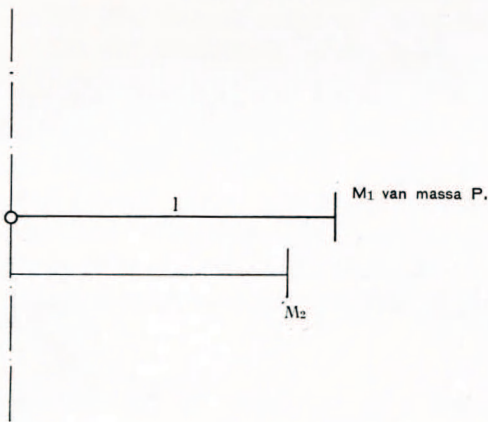


Fig. 4.

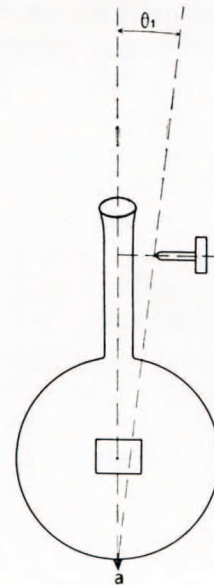


Fig. 5.

is in evenwicht met het torsiekoppel μ van de draad. Een spiegel M_2 is aan de omlijsting bevestigd door een arm b . Wanneer de vlakken van M_1 en M_2 evenwijdig zijn, volgens een vertikaal vlak, heeft de zwaartekracht een waarde g_0 , zodanig dat de twee koppels gelijk zijn (*fig. 4*) :

$$P \cdot g_0 \cdot l = \mu.$$

(3) R.-P. LEJAY. — [3]. (Paris, Gauthier-Villars, 1947.)

Indien de zwaartekracht varieert, en bijvoorbeeld wordt

$$g_1 > g_0$$

helt de arm l volgens een hoek Θ_0 en

$$P \cdot g_1 \cdot l \cdot \cos \Theta_0 > \mu$$

Het beginsel van de meting bestaat er niet in Θ_0 te meten, maar het systeem in kwarts om een horizontale as i te hellen, tot de beide spiegelvlakken opnieuw evenwijdig worden : van dat ogenblik af is het koppel der zwaartekracht $P \cdot g_1 \cdot l \cdot \cos \Theta_1$ in evenwicht met het torsiekoppel μ , indien de hellingshoek Θ_1 was, en

$$P \cdot g_1 \cdot l \cdot \cos \Theta_1 = P \cdot g_0 \cdot l.$$

of

$$g_1 = \frac{g_0}{\cos \Theta_1}$$

of

$$g_1 - g_0 = g_r = F(\Theta_1).$$

Het meten van Θ_1 wordt als volgt verwezenlijkt : een lichtbron zendt een straal op de spiegels : het beeld door M_2 weerkaatst is een vast merkteken; M_1 weerkaatst een beweegbaar beeld. Wanneer beide beelden samenvallen zijn de spiegels evenwijdig. Heel het apparaat kan dus om een as a draaien; de hellingshoek wordt geregistreerd door een micrometerschroef, onder vorm van de waarde van haar tangens (*fig. 5*); twee metingen worden uitgevoerd, symmetrisch ten opzichte van de vertikaal : hun gemiddelde, berekend in mgal, levert een getal g_{r1} op, dat met de waarde der zwaartekracht g_1 van het opstellingspunt verbonden is. In een ander opstellingspunt zal men g_{r2} bekomen, waaruit :

$$g_{r2} - g_{r1} = (g_2 - g_0) - (g_1 - g_0) = g_2 - g_1$$

Uit het voorgaande volgt dat de Norgaard-gravimeter een apparaat voor half-absolute meting is : het dient inderdaad niet *geijkt*, dit wil zeggen dat de waarde in mgal tussen twee deelstreepjes van de schaal niet moet bepaald worden (1). Daar de Norgaard niet gethermostateerd is, heeft men geen accumulatorenbatterijen nodig, maar hoewel het apparaat thermisch geïsoleerd is, dient er toch een temperatuurcorrectie toegepast. Tenslotte, door het feit dat het torsiekoppel met de tijd varieert, daar de draad altijd werkt, bestaat er een tamelijk grote « drift » der metingen : van 1 tot 2 mgal per dag, volgens de omstandigheden van vervoer (4.5).

3.4. De gravimetrische opname van België (5). — Dank zij het initiatief van de HH. CHARLIER, DE MAGNÉE, FOURMARIER, GILLIARD, LAHAYE en PAUWEN werd de gravimetrische opname van het land in 1947-1948 uitgevoerd; hun voorstel tot aanschaffing van een gravimeter was door het Nationaal Fonds voor Wetenschappelijk Onderzoek aanvaard geworden.

(1) De formule waarmee men het getal g_r kan berekenen ziet eruit als volgt :

$$g_r = \frac{1}{2} \cdot g_0 \cdot \left(\frac{m \cdot A}{D + m \cdot B} \right)^2$$

waarin m de aflezing is, in mm uitgedrukt, van de micrometerschroef; A , B , D metrische constanten zijn, voor elk instrument verschillend; g_0 de waarde is van de gemiddelde zwaartekracht van de streek waar het instrument moet gebruikt worden; deze waarde kan gewijzigd worden door een wijziging van de torsie van de kwartsdraad.

(5) L. JONES. — [5]. (Inst. Géogr. Mil., 1948.)

Een basisnet, dat 26 opstellingspunten omvatte, werd opgemeten, en er werden minstens twee verbindingen verwezenlijkt tussen de opstellingspunten, twee per twee genomen. Een detailnet steunt op het basisnet en omvat één opstellingspunt per 140 km². De meetfouten van deze beide netten werden gecompenseerd.

Met betrekking tot het fundamenteel punt wordt de nauwkeurigheid van de waarden van g gekenmerkt door een gemiddelde kwadratische fout van de orde van 0,3 mgal.

De kaart der anomalieën van BOUGUER geeft de gezamenlijke verdeling der opgenomen opstellingspunten, die ongeveer driehonderd in aantal zijn.

Het fundamenteel punt is de gravimetrische kelder van de Koninklijke Sterrenwacht van België, waarvan de waarde der zwaartekracht in 1925 door VENING MEINESZ bepaald werd, door een slingerverbinding met DE BILT (Nederland).

De hoogte en de breedteligging der opstellingspunten werden bepaald op de kaart.

Waaruit bestaan de anomalieën die berekend werden ?

- (i) *Anomalie van Bouguer*. — Deze anomalie der zwaartekracht wordt uitgedrukt door het verschil

$$g' - \gamma_0.$$

γ_0 is de normaalwaarde van de zwaartekracht, op de loodlijn van het opstellingspunt, dit wil zeggen de zwaartekracht op de ellipsoïde, in de veronderstelling dat deze homogeen zou zijn.

g' is de waargenomen waarde der zwaartekracht, doch herleid tot hoogte nul : te dien einde berekent men de aantrekkingskracht in het opstellingspunt (*fig. 6*) van een laag met constante dikte H vanaf het opstellingspunt, en daarrond tot 160 km; daaruit volgt een correctie van de zwaartekracht in het beschouwde punt. Van dat ogenblik af is het alsof de gravimeter zich « in de lucht » zou bevinden in het punt S en de aardkorst zou « weggeschaafd » zijn tot op de zeespiegel. Om g' te bekomen dient er dan nog een hoogtecorrectie toegepast (correctie « in de open lucht » genaamd).

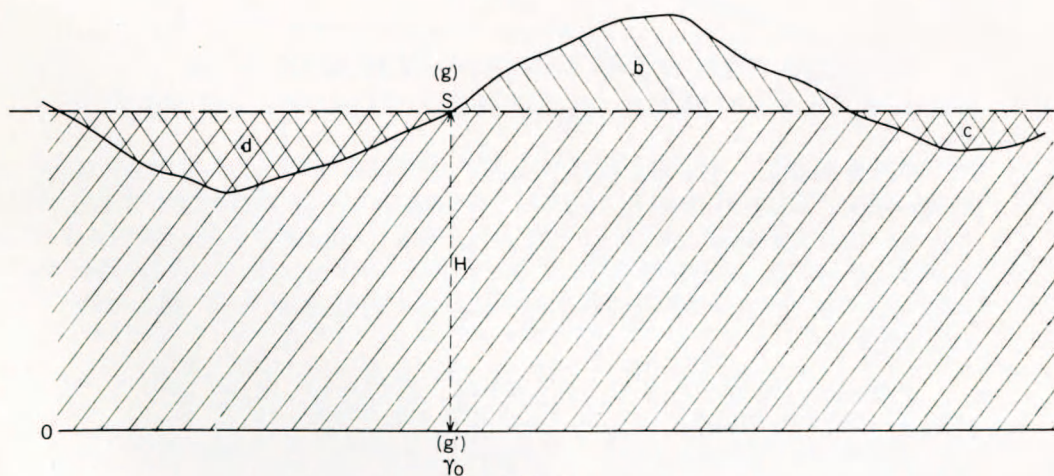


Fig. 6.

Deze gezamenlijke correcties vormen de correctie van BOUGUER, waarvan de berekening door het gebruik van tabellen vereenvoudigd wordt. Strikt gezien moet men nog een reliëfcorrectie toepassen : dit wil zeggen de invloed van de massa's

a , b , c , ... berekenen : hoewel deze berekening vergemakkelijkt wordt door het gebruik van tabellen, is ze saai. In het geval van België heeft men zich beperkt tot de berekening van de reliëfcorrectie van enkele opstellingspunten, die bijzonder door het reliëf konden beïnvloed zijn (bijvoorbeeld langs de Maas, of in de diepe valleien van de Ardennen) : de orde van grootte die men bekam was van die aard, dat men oordeelde de berekening van deze correctie te mogen verwaarlozen, gezien de nauwkeurigheid van de waarden van g .

Vermelden wij nog, dat voor de toepassing van de correctie van BOUGUER verschillende dichtheden aangewend werden, zoals Dhr DE MAGNÉE had voorgesteld; volgens de legende van de kaart stemt de dichtheid 2,65 overeen met de gemiddelde dichtheid van het primair, 2,1 met de jongste afzettingen; in de tussenzone heeft men de gemiddelde dikten (*fig. 7*) voor elk der dichtheden 2,1 en 2,65 bepaald, door bestudering van de dossiers van de Geologische Dienst, betreffende de boringen en met behulp van de oordeelkundige raad van Dhr LEGRAND, die in die periode zijn kaart van het paleozoïsch sokkel opstelde.

- (ii) *Isostatische anomalieën*. — De correctie van BOUGUER heeft, met haar benaderingen, rekening gehouden met hetgeen zich *bovenop* de geöïde bevindt, voor hetgeen de aantrekkingskracht betreft van de dichtbij of verafgelegen massa's, onder voorbehoud van de verschillen die *zouden* kunnen bestaan tussen de werkelijkheid en de hypothese van de dichtheid en de eenvormige verdeling. De anomalie van BOUGUER omvat dus deze verschillen, maar ook de invloed van de storende oorzaken die zich in de diepte *onder* de geöïde bevinden. De volgende stap, die tracht deze storende oorzaken te verbeteren is de isostatische correctie.

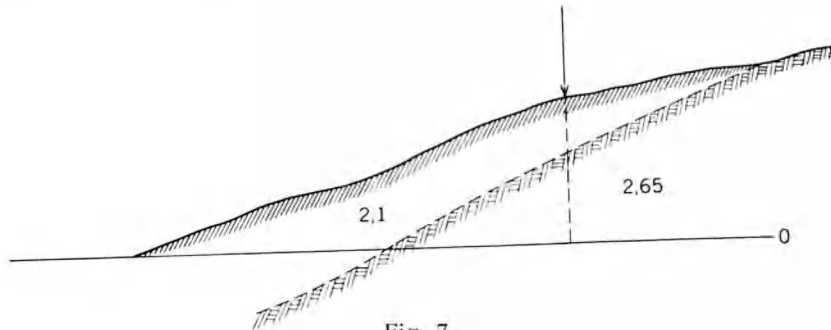


Fig. 7.

De isostatische theorie heeft tijdens de eerste helft van de XIX^e eeuw vorm aangenomen, naar aanleiding van een betwisting tussen PRATT en AIRY : waarom was de waargenomen afwijking van de loodlijn in Indië, veroorzaakt door de aanwezigheid van de Himalaya, aanzienlijk kleiner dan de afwijking die men bekam door berekening van de invloed der aantrekkingskracht van de massa van de Himalaya zelf ?

Slaan wij de details over : het dispuut leidde tot de gevolgtrekking dat de oorzaak een *compensatie* van de Himalaya moest zijn, in de *diepte gelegen*. De opvattingen betreffende deze compensatie werden in twee grote hypothesen samengevat, waaraan PRATT en AIRY hun naam hebben gegeven :

PRATT veronderstelt (*fig. 8*) dat er op een diepte H een oppervlak van hydrostatisch evenwicht moet bestaan; de *massa's* daarboven zouden overal dezelfde zijn. Daaruit moeten veranderlijke dichtheden voortvloeien; kleinere onder de bergen, grotere onder de oceanen.

AIRY veronderstelt dat elk deel van de aardkorst in isostatisch evenwicht moet verkeren, daar de gemiddelde dichtheid overal dezelfde is : om het met een beeld voor te stellen, hoe hoger de bergen, hoe dieper zij in het dik vloeibaar magma gezakt zijn (*zie legende van de kaart der isostatische anomalieën*).

In beide hypothesen bestaat de isostatische correctie in de berekening van de invloed, op het beschouwde opstellingspunt, van de compenserende massa's in de diepte.

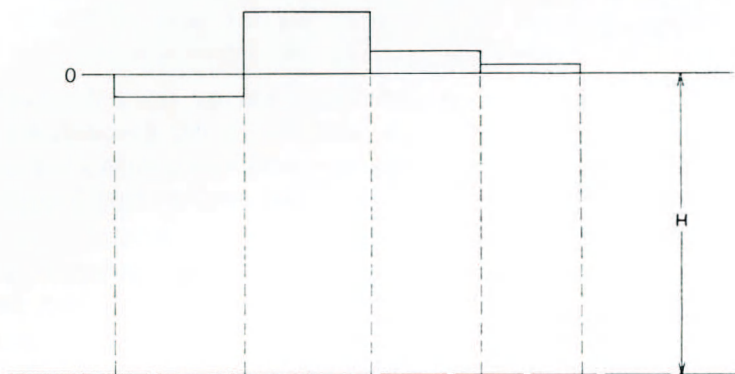


Fig. 8.

In het geval van België werden de correcties, en bijgevolg de isostatische anomalieën, berekend voor zeven verschillende hypothesen :

Stelsel van Pratt : compensatiediepten van 113,7 km, 80 km, 50 km;

Stelsel van Airy : dikten van de aardkorst van 20, 30, 40, 60 km.

De aangenomen dichtheid voor de berekening van de anomalie van BOUGUER was ditmaal eenvormig en gelijk aan 2,67.

Wij zullen verder zien waarom enkel de hypothese van AIRY, 60 km, behouden werd om in de Atlas voorgesteld te worden.

4. — BESCHOUWINGEN OVER HET BELANG VAN DE GRAVIMETRISCHE ANOMALIEËN IN BELGIË.

4.1. Van 1921 tot 1928 bepaalde Dhr FRANÇOIS, Doctor in de Wetenschappen, de zwaartekracht in 24 opstellingspunten van het land, door slingerwaarnemingen met het VON STERNECK apparaat van de Sterrenwacht. Dit pionierswerk verdient aangehaald te worden door onderstaande kaart (*fig. 9*) (6). Deze is niet de oorspronkelijke kaart : Dhr FRANÇOIS had de anomalieën berekend, steunend op de plaatselijke dichtheden, eigen aan elk opstellingspunt, en hij had voor de normale zwaartekracht γ_0 de formule van HELMERT (1901) gebruikt. Ten einde te kunnen vergelijken, hebben wij de anomalieën van de opstellingspunten FRANÇOIS opnieuw berekend, met dezelfde gegevens als die van onze kaart. Het vergelijkend onderzoek van beide kaarten, met ongeveer twintig jaar tussenpoos opgesteld, moet geen verbazing wekken : indien het in 1928 zeer kies was een geologische of een geofysische interpretatie van de kaart te wagen, die slechts 24 opstellingspunten telde, blijft voorzichtigheid geboden bij een overeenkomstige interpretatie van de kaart van 1948. Maar op deze laatste kaart laat het aantal opstellingspunten (ca 300) toe, de voornaamste geologische trekken van het land te doen uitkomen,

(6) CH. FRANÇOIS. — [6]. (An. van de Kon. Sterrenw. van België. S, n° 10.)

indien deze bestaan. In die zin is volgende vaststelling meldenswaard : in 1953 werden in de Kempen (tussen Poppel, Turnhout, Kasterlee, Tessenderlo, Eisden) ongeveer 1.500 opstellingspunten opgenomen met een gravimeter, die vijfmaal nauwkeuriger was dan de Norgaard : het tracé der isanomalen van de kaart van 1948 wordt in zijn grote lijnen bevestigd, maar op sommige plaatsen duiken bijzonderheden op, die onmogelijk aan het licht konden treden door de interpolatie van 5 mgal van het Norgaard-net.

Het slingernet van CH. FRANÇOIS blijkt ons volgende twee grote voordelen geboden te hebben : bewezen te hebben dat ons land gravimetrische anomalieën vertoonde, die een diepgaander studie rechtvaardigden; in enkele punten van het land de waarde van de zwaartekracht opgegeven te hebben, hetgeen als controle voor latere opnamen kon dienen.

Het dichter net, met de Norgaard gravimeter opgemeten, heeft de plaats der anomalieën van BOUGUER veel nauwkeuriger bepaald : de positieve in het noorden, de negatieve in het zuiden en in het oosten; maar het heeft zones van anomalieën doen te voorschijn komen, die de verspreiding van het klein aantal slingerstations niet aan het licht kon doen treden : aldus de negatieve anomalie van Vlaanderen en Eupen.

Bovendien vergemakkelijkt nu de kennis van g in een groot aantal punten de detailopnamen en hun uitbating.

4.2. De kaart der anomalieën van Bouguer. — Dhr DE MAGNÉE heeft het eerst commentaar uitgebracht op de kaart der anomalieën van BOUGUER (7). Sommige van zijn gevolgtrekkingen werden later bevestigd, bij het opstellen van de kaarten der isostatische anomalieën.

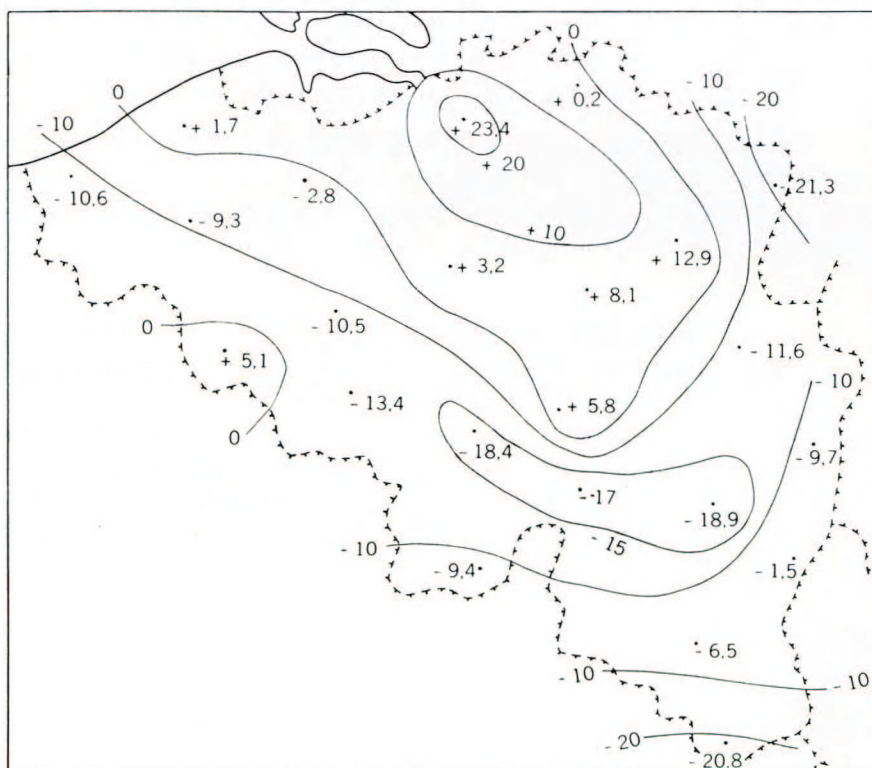


Fig. 9.

(7) I. DE MAGNÉE. — [7]. (Bull. Soc. bel. de Géol., T. LVII, fasc. 3, 1948.)

In 't algemeen « hebben alle zones der anomalieën, aan het licht gebracht door de gravimetrische kaart volgens BOUGUER, diepe of zeer diepgelegen oorzaken, met uitzondering van de N-O hoek van Limburg en de streek van Mons »... Deze kaart « hangt een trouw beeld op van de verdeling der massa's in een zone van verscheidene tientallen kilometers diepte : plaatselijke anomalieën kunnen inderdaad de individuele betekenis der metingen niet vervalst hebben ».

DE MAGNÉE rangschikt de anomalieën zeer gepast in twee groepen :

a) De anomalieën, die door onze geologische kennis kunnen verklaard worden : aldus de negatieve anomalie van de Ardennen, deficit aan massa... « we hebben hier klaarblijkelijk te doen met de invloed van de sialwortel, die het isostatisch evenwicht van deze keten verzekert »; aldus de laatste synclinaal van de hercynische keten, de grote steenkoolgroef Haine-Samber-Maas, gekenmerkt door een strook anomalieën met sterke gradiënt; aldus « de anomalie van de graben van Roermond, waar de opvulling van deze grote inzakking door tertiaire afzettingen van geringe dichtheid, natuurlijk een uitgesproken negatieve anomalie veroorzaakt ». Tenslotte komt het bekken van Mons niet voor op de kaart, omdat het gebruik der gegevens van de boringen, voor het opstellen van de anomalieën van BOUGUER, het heeft doen verdwijnen, en slechts de positieve gradiënt van de noordelijke rand heeft laten bestaan;

b) De anomalieën, die door onze huidige geologische kennis niet kunnen verklaard worden; de vorm van de twee zones van negatieve anomalieën in de Ardennen; de anomalie van Vlaanderen, die samenvalt met de aanwezigheid van stollingsgesteenten. « De isostatische wetten geven een mogelijke verklaring. De negatieve anomalie van Vlaanderen is voldoende uitgestrekt om te kunnen veronderstellen dat de isostasie tussenkomt om ze langzaam te compenseren... door een langzame opheffing ».

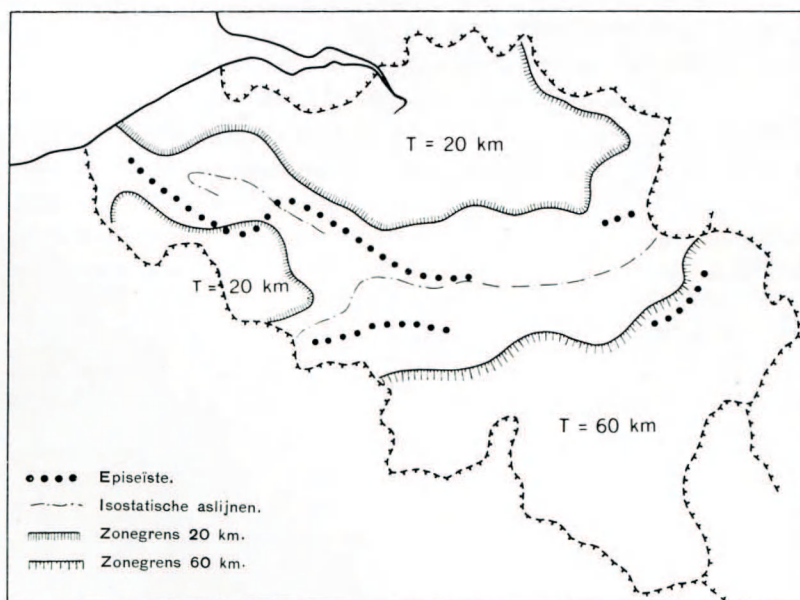


Fig. 10.

De positieve anomalie, met as op de Rupel-Dijle-Demer werpt een vraag op. « Indien de neiging tot isostatisch evenwicht zich voordoet voor de anomalie van Vlaanderen, moet zij met des te meer reden tot uiting komen voor de anomalie van de Rupel-Demer, maar dan natuurlijk in omgekeerde zin : in beginsel moeten wij hier te doen hebben met een zone van

dalingen. Men ziet onmiddellijk het belang voor de verklaring van de evolutie van het hydrografisch net : de eigenaardige schikking van de bijrivieren van de Rupel zou meteen opgelost zijn. »

4.3. De kaart der isostatische anomalieën. — De lezing van bovenstaand commentaar wordt op merkwaardige wijze geïllustreerd door het onderzoek der isostatische anomalieën. Maar de uitslagen van andere geofysische opzoekingen, zullen een beter begrip van deze bewering in de hand werken.

In de Geofysica is een geïsoleerde discipline niet bij machte alle raadsels van de ondergrond te verklaren. De geoloog toetst zijn vaststaande kennis en zijn hypothesen aan de resultaten van de gravimetrie.

De geologen hebben de positieve anomalie van de Rupel-Demer nog niet kunnen verklaren, « omdat ze in betrokken streek over bijzonder weinig gegevens van boringen beschikken » (7).

Laten wij eens kijken of de resultaten van de Geodesie en van de Seismologie zouden kunnen bijdragen tot een vollediger uitbating van de gravimetrische anomalieën.

Ter gelegenheid van de opmeting van een nieuw nauwkeurig waterpassingsnet (de *Tweede Algemene Waterpassing*) worden de huidige hoogten van een zeker aantal merktekens vergeleken met de vroegere hoogten (10) : het betreft hier een werk van jaren dat slechts samen met het nieuwe net zal voltooid zijn. De eerste uitslagen zijn nochtans belangwekkend: er is opheffing in de Ardennen, daling in de streek Antwerpen-Mechelen : de gravimetrische resultaten en de geologische beschouwingen stemmen overeen.

Vooraleer over te gaan tot de huidige gevolgtrekkingen van de seismologie, moeten wij terugkeren tot de uitbating van de isostatische anomalieën, daar deze uitbating verwezenlijkt werd met opzettelijke veronachtzaming van deze gevolgtrekking der seismologie, ten einde er niet door beïnvloed te worden. Vermits men voor elk opstellingspunt de isostatische anomalieën in zeven hypothesen bezat, heeft men gezocht (8) welke hypothese gebeurlijk de kleinste anomalieën zou opleveren; de uitslag van de studie wordt door *figuur 10* aangegeven : het is de hypothese van AIRY, maar voor een dikte van de aardkorst $T = 60$ km in 't zuiden, en $T = 20$ km in 't noorden en in 't westen. De tussenzone waar de overgang plaats heeft van 20 naar 60 km biedt een merkwaardig kenmerk : isostatische assen, waaronder die van Roeselare-Oudenaarde een dikte der aardkorst van 60 km zou aanduiden, en de andere van de Samber-Maas-linie een onzekerheid aanduidt, wat betreft de keuze van de ene of de andere hypothese. Om te besluiten « is het klaarblijkend dat de grenzen van de isostatische zones van betrekkelijke aard zijn : hetzelfde geldt voor de dikte, gegeven door de hypothese met minimum anomalie. Maar niettemin brengt de kaart der minima anomalieën een *variatie van de dikte der aardkorst in België* aan het licht », die geringer is in het noorden, en meer uitgesproken in het zuiden, met een centraal tussendeel, « dat twee aspecten vertoont : van Valenciennes naar Visé een progressieve overgang van 20 naar 60 km (orden van grootte), en in het westen van het land de aanwezigheid van een lange wig van 60 km dikte, die twee dichtbijgelegen blokken van 20 km scheidt ». Het bestaan van deze aaneensluitende « blokken » met verschillende dikte, die op het dik vloeibaar magma rusten, en in zekere zin vloten, wekt de veronderstelling van een neiging naar een hydrostatisch evenwicht op een zelfde com-

(7) I. DE MAGNÉE. — [7]. (Bull. Soc. bel. de Géol., T. LVII, fasc. 3, 1948.)

(8) L. JONES. — [8]. (I.G.M., 1951.)

(10) L. JONES. — [10]. (Bull. Soc. bel. de Géol., T. LIX, fasc. 1 et 2, 1950.)

pensatie-oppervlak : daaruit moeten verticale bewegingen van daling voortvloeien voor de geringe dikten, en bewegingen van opheffing voor de aanzienlijke dikten; de resultaten der waterpassingen schijnen dit te bevestigen.

Wat de seismologie betreft, had CH. CHARLIER reeds na de registrering van de ontploffing op Heligoland (1948) gemeld (12) dat de aardkorst van het zuiden naar het noorden moest dunner worden. Anderzijds wees zijn studie der aardbevingen sedert 1910 op een zeer bijzonder verschijnsel : alle pleistocene gebieden (gebieden waar de aardbeving het krachtigst voelbaar is) bevinden zich steeds in dezelfde delen van het land; en deze delen liggen juist in de isostatische tussenzone.

Om te besluiten (9) : « het detailonderzoek van alle gegevens van de seismologie, de gravimetrie en de geodesie (waterpassing) laat een merkwaardige overeenkomst blijken. Hetgeen nu volgt geeft een overzicht van het vraagstuk, en is terzelfdertijd een werkplan voor de toekomst :

- » a) Een eerste vaststelling is dat de pleistocene gebieden van alle recente aardbevingen gelegen zijn langsheen de isostatische tussenzone; de episeisten (d.w.z. de plaatsen van de epicentra der aardbevingen; het epicentrum is het punt aan de oppervlakte, op de vertikaal door de haard van de aardbeving) vallen samen met de isostatische aslijnen of zijn er symmetrisch mee. Dergelijke overeenkomsten zijn kenmerkend voor een « zone van betrekkelijke zwakheid van de aardkorst ». Ze leiden er natuurlijkerwijze toe de verre « gondoorzaak » of aanvankelijke oorzaak van *alle aardbevingen* in België te ontdekken.
- » b) De vergelijking van de huidige waterpassingen met deze van 1892 heeft uitgewezen dat het land, in zijn geheel genomen, in opheffing is in het zuiden, en in daling in het noorden; deze bewegingen stemmen overeen met de speling van blokken van verschillende dikte, die hun hydrostatisch evenwicht zoeken. Het algemeen voorkomen van het hydrografisch net van België schijnt aldus te kunnen verklaard worden.
- » c) De bijzonder plaatselijke, langgerekte vorm van de wig van 60 km, met steile wanden, zou de verschillen verklaren, die door de seismologen bekomen werden voor de hypocentrale diepten van de aardbeving van 11 juni 1938 (van 38 ± 8 km tot 67 ± 15 km). »

Het spreekt vanzelf dat het voorgaande een hypothese is; de methode om de minima isostatische anomalieën te bepalen, en dus ook de isostatische zones zelf, zijn het voorwerp geweest van ernstige kritiek. Maar er is een geheel van *feiten* die in zichzelf overtuigend zijn. Men moet erkennen dat men aan het begin staat van een studie; de vergelijkingen tussen de waterpassingen dienen voortgezet, de Geodesie zal de resultaten bekend maken van haar studie van de afwijkingen van de vertikaal, de nauwkeurige waterpassingen de resultaten van de studie betreffende de fouten der waterpassingen, waarvan de oorzaken in verband schijnen te staan met bewegingen van de grond van totnogtoe onbepaalde oorsprong, de gravimetrie zal haar systematische en herhaalde prospecties voortzetten. De toekomst zal uitmaken of de huidige hypothese werkelijkheid is of verworpen moet worden.

We zouden onvolledig zijn, indien we de verhouding tussen de gravimetrische resultaten en de resultaten van het magnetisme niet zouden vermelden. Wij moeten toegeven geen

(9) CH. CHARLIER et L. JONES. — [9]. (Ac. Roy. de Belg. Bull. de la Cl. des Sc., 5^e sér., T. XXXVII, 1951.)

(12) CH. CHARLIER. — [12]. (Obs. Roy de Belg., série S, n^o 3.)

bijzondere verhouding vast te stellen : wij veronderstellen dat de oorzaak ligt in het zeer algemeen karakter van de kaarten in kwestie. Misschien zou dit niet het geval zijn, indien het erom ging twee opnamen te vergelijken, de ene gravimetrisch, de andere magnetisch, met aanzienlijke dichtheid van opstellingspunten en met betrekking tot een typisch gestoorde streek (bijvoorbeeld een breukengebied). Dit is hier niet het geval. Overigens zijn de magnetische kaarten van de Atlas geen kaarten van magnetische anomalieën, maar veeleer van magnetisch veld. De vergelijking zou moeilijk zijn en, naar onze mening, past ze zelfs niet.

Aldus is het onderwerp van dit commentaar uitgeput. Men heeft kunnen vaststellen dat de gravimetrische studie van België bijgedragen heeft tot de kennis van de ondergrond, en dat zij andere takken van de geofysische wetenschappen toegelaten heeft, sommige van hun resultaten in een breder kader te integreren.

Brussel, 5 februari 1955.

BIBLIOGRAFIE.

1. P. TARDI. — *Traité de Géodésie*. Fasc. II. (Paris, Gauthier-Villars, 1934.)
2. P. MELCHIOR. — *Les Marées terrestres*. (Obs. Roy. Bel., Monographies 4, 1954.)
3. R.-P. LEJAY. — *Développements modernes de la gravimétrie*. (Paris, Gauthier-Villars, 1947.)
4. I. DE MAGNÉE et P. EVRARD. — *Le gravimètre Norgaard*. (Ann. Soc. Géol. de Belg. T. LXX. B. 35-48, 1946.)
5. L. JONES. — *Le levé gravimétrique de la Belgique (1947-1948)*. (Inst. Géogr. Mil., 1948.)
6. CH. FRANÇOIS. — *Recherches sur l'intensité de la pesanteur en Belgique*. (An. de l'Obs. Roy. de Belg., 3^e sér., Tomes I et II.)
7. I. DE MAGNÉE. — *Commentaire géologique sur la nouvelle carte gravimétrique de la Belgique*. (Bull. Soc. bel. de Géol., T. LVII, fasc. 3, 1948.)
8. L. JONES. — *Les anomalies isostatiques en Belgique*. (I.G.M., 1951.)
9. CH. CHARLIER et L. JONES. — *L'apport de la sismologie, de la gravimétrie et de la géodésie dans la connaissance actuelle de l'écorce terrestre en Belgique*. (Ac. Roy. de Belg. Bull. de la Cl. des Sc., 5^e sér., T. XXXVII, 1951.)
10. L. JONES. — *Les premiers résultats de la comparaison du Deuxième Nivellement Général (1948) avec les nivellements anciens*. (Bull. Soc. bel. de Géol., T. LIX, fasc. 1 et 2, 1950.)
11. CH. CHARLIER. — *Etude systématique des tremblements de terre belges récents (1900-1950)*. IV^e partie : *La sismicité de la Belgique*. (Obs. Roy. de Belg., série S, n^o 10.)
12. CH. CHARLIER. — *Deuxième Rapport sur l'explosion d'Hélioland*. (Obs. Roy. de Belg., série S, n^o 3.)

KONINKLIJKE BELGISCHE AKADEMIE

NATIONAAL COMITÉ VOOR GEOGRAFIE
COMMISSIE VOOR DE NATIONALE ATLAS

ATLAS VAN BELGIË

COMMENTAAR BIJ PLAAT 5

HET AARDMAGNETISME IN BELGIË

DOOR

E. HOGE

Nederlandse bewerking

DOOR

J.-M. VAN GILS



1958

**Voltooid op de persen
van het
Militair Geografisch Instituut
Ter Kameren — Brussel.**

De auteurs van de toelichtende teksten bij de Atlas van België worden door het Nationaal Comité voor Geografie en door de Commissie voor de Atlas als volkomen verantwoordelijk beschouwd voor de door hen gepubliceerde mededelingen.

HET AARDMAGNETISME IN BELGIË

Commentaar bij Plaat 5

I. — BEGINSELEN VAN HET AARDMAGNETISME.

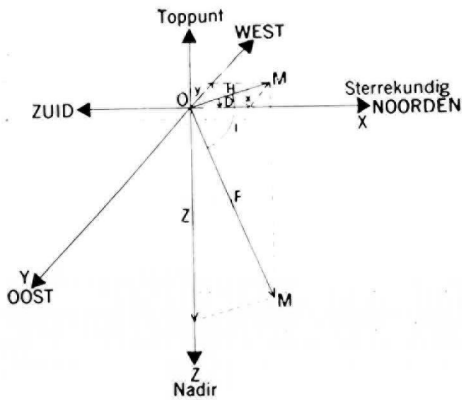
1. Het aardmagnetisme of het geomagnetisme vormt een belangrijk deel van de Geofysica, de wetenschap die de natuurkundige eigenschappen van de Aarde onderzoekt. Het aardmagnetisme omvat alle magnetische verschijnselen die op onze aardbol voorkomen.

2. Een in haar zwaartepunt vrij opgehangen magneetnaald neemt, in een willekeurig punt van het aardoppervlak en op een gegeven ogenblik, een zekere richting aan. In het algemeen verandert deze richting in de ruimte en in de loop van jaren. De Aarde is inderdaad de zetel van een magnetisch krachtveld dat, bij eerste benadering, kan worden toegeschreven, hetzij :

- a) aan dat veroorzaakt door een eenvormige gemagnetiseerde sfeer waarvan de straal kleiner of even groot is dan die van de aardbol;
- b) aan dat van een kleine, in het middenpunt van de Aarde geplaatste magneet en waarvan de magnetische as een weinig schuin staat ten opzichte van de draaiingsas van de aardglobe. De zuidpool van deze magneet is gericht naar de geografische noordpool terwijl zijn noordpool naar de geografische zuidpool wijst. Ten einde hieromtrent alle misverstand uit te schakelen dient er opgemerkt, dat op magnetisch gebied, de aardmagnetische noordpool eigenlijk een zuidpool is, vermits de noordpool van een kompasnaald zich naar dat punt richt (aantrekking van polen met tegengestelde naam);
- c) hetzij nog aan het veld verwerkt door elektrische stromen die het binnenste van de Aarde zouden doorlopen.

3. Er bestaan verscheidene theorieën hierover. De klassieke theorie van het aardmagneetveld komt GAUSS toe. Ze werd uitgegeven in 1830 in zijn « Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus ». GAUSS maakt hierin niet de minste natuurkundige hypothesis; hij veronderstelt slechts dat het magneetveld van een potentiaal voortkomt. Zo kan hij, op benaderende wijze, de distributie van het magneetveld uitleggen. De analytische studie ervan bewijst dat in hoofdzaak, dit veld zijn oorzaken vindt in het binnenste van de Aarde en slechts een klein deel ervan aan een uitwendige oorzaak zou toe te schrijven zijn.

4. DE MAGNETISCHE COMPONENTEN.



Zij O een willekeurig punt van de Aarde en in dit punt een rechthoekig assenstelsel OXYZ, met :

- OX positief naar het aardrijkskundig Noorden gericht;
- OY positief naar het Oosten;
- OZ positief naar het nadir.

Het magneetveld in O kan door vector $\vec{F} = \vec{OM}$ worden voorgesteld, vermits een magneetnaald in volledig evenwicht er deze richting zou aannemen.

Zij OM' de projectie van \vec{OM} op het horizontaal vlak OXY.

Laten we nu de verschillende magnetische componenten bepalen.

De magnetische meridiaan : is het vertikaal vlak ZOM' dat door OZ en \vec{OM} gaat.

De magnetische afwijking of declinatie : is de hoek D begrepen tussen de magnetische meridiaan ZOM' en de aardrijkskundige ZOX.

De declinatie wordt westelijk of oostelijk gezegd naargelang OM' westelijk of oostelijk van OX gelegen is. Ze wordt positief gerekend naar het Oosten en negatief naar het Westen.

Hedendaags (1956) heeft de declinatie te Ukkel (Brussel) een grootte van ongeveer -6° . Men zegt dat ze 6° westwaarts staat.

De magnetische inclinatie : het is de hoek I gevormd door OM met het horizontaal vlak XOY. Ze wordt positief gerekend onder de horizont, dit wil zeggen wanneer in O de noordpool van de magneetnaald naar onder is gericht. Ze is negatief er boven. Haar gemiddelde grootte in België is omtrent $+66^\circ$.

De horizontale component H : het is de projectie OM' van OM op het horizontaal vlak. In onze streken heeft ze een benaderde waarde van ongeveer 0,19 Oersted of 19.000 γ . (De Oersted is de C.G.S.-eenheid van intensiteit van het magneetveld. Eén gamma = 0,00001 Oersted.)

De vector \vec{OM} kan ook ontbonden worden volgens de richtingen van het assenstelsel :

- de noordelijke component*, verbeeld door X en positief gerekend naar het Noorden,
- de oostelijke component*, verbeeld door Y en positief naar het Oosten,
- de verticale component*, verbeeld door Z en positief naar het nadir.

De benaderde waarde van Z in België bedraagt ongeveer 0,43 Oersted of 43.000 γ .

De vector $\vec{OM} = \vec{F}$ is de *totale kracht* in O van het aardmagneetveld.

De grootheden, hierboven bepaald : D, I, H, X, Y, Z en F, zijn de *magnetische componenten*.

Om in een gegeven punt het magneetveld in grootte en in richting te kennen volstaat, het dus drie van de zes componenten D, I, H, X, Y en Z te meten.

Over 't algemeen bepaalt men D, I, H of D, H, Z.

De verschillende componenten zijn onderling verbonden door volgende formules :

$$\begin{aligned} X &= H \cos D & Y &= H \sin D & Z &= H \operatorname{tg} I \\ \vec{H} &= \vec{X} + \vec{Y} & H &= \sqrt{X^2 + Y^2} \\ \vec{F} &= \vec{X} + \vec{Y} + \vec{Z} = \vec{H} + \vec{Z} \\ F &= \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} = \sqrt{H^2 + Z^2} \end{aligned}$$

5. DE MAGNETISCHE METINGEN.

a) De absolute metingen (beginsel).

De *declinatie* wordt bepaald met behulp van de magnetische theodoliet. De meting vereist twee bewerkingen : een astronomische en een magnetische. De eerste bepaalt de sterrekundige meridiaan op een horizontale cirkel door waarneming van de zon of van een ster. De tweede legt de magnetische meridiaan vast ten opzichte van dezelfde horizontale cirkel : het is de richting ingenomen door een aan een torsie-vrije draad opgehangen magnetisch stangetje. Het verschil tussen beide aflezingen geeft de waarde van de declinatie. Dergelijke metingen moeten vanzelfsprekend met de meeste zorgvuldigheid gedaan worden om de waarnemingsfouten te verwijderen.

De *inclinatie* werd voorheen bepaald bij middel van het inclinatiekompas. Het bestaat uit een magneetnaald die, bij middel van twee tappen, om een horizontale as kan slingeren. In de zoeven bepaalde magnetische meridiaan geplaatst maakt de naald een hoek met het horizontaal vlak. De grootte van die hoek geeft de inclinatie aan in het meetpunt. Door haar gemis aan nauwkeurigheid werd van deze methode afgezien.

Heden wordt de inclinatie gemeten bij middel van de aardinductor. Deze bestaat uit een draaibare spoel met een groot aantal windingen. De spoel wordt tot draaien gebracht om haar rotatie-as die in de magnetische meridiaan staat. Zolang de rotatie-as een hoek maakt met de richting van het magneetveld ontstaat er een inductiestroom in de spoel. Deze stroom doet een galvanometer van zijn nulpunt afwijken. Om de inclinatie te meten volstaat het nu de helling van de spoel zo te veranderen tot de galvanometer op zijn nulpunt terugkomt. Op dat ogenblik valt de rotatie-as samen met de richting van het aardmagneetveld. De inclinatie is nu de verschilhoek tussen de richting van de rotatie-as en het horizontaal vlak en kan op een verticale cirkelschijf worden afgelezen.

De declinatie- en de inclinatiemetingen kunnen bepaald worden op enkele tienden boogminuut na.

De *horizontale componente* of de H-componente wordt bepaald volgens de methode van GAUSS met een magnetometer. Deze methode bestaat uit twee bewerkingen :

De *slingerwaarneming* : een magneet met magnetisch moment M en aan een torsie-vrije draad opgehangen wordt uit zijn evenwichtsstand getordeerd en dan vrijgelaten. De magneet ondergaat also een slingerbeweging waarvan de periode

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{K}{MH}} \quad (1)$$

is, alvorens zich in de richting van de magnetische meridiaan te stellen. In formule (1) zijn K het traagheidsmoment, M het magnetisch moment en H de horizontale componente van het aardmagneetveld;

De *draaiing* : dezelfde magneet wordt gebruikt om een draaiing uit te oefenen op een zonder torsie opgehangen hulpmagneet en die oorspronkelijk in het magnetisch meridiaanvlak is ingesteld. Onder de samenwerkende invloed van de eerste magneet die loodrecht op het magnetisch meridiaanvlak is ingesteld, en de horizontale componenten H, gaat de tweede magneet zich volgens de resultante van beide inwerkende krachten instellen.

De resultante maakt met de richting van H een hoek α , die door volgende betrekking wordt uitgedrukt :

$$\frac{M}{H} = \frac{R^3}{2} \operatorname{tg} \alpha \quad (2)$$

waarin R de afstand tussen de middenpunten van de twee magneten voorstelt. Uit beide betrekkingen (1) en (2) kunnen de waarden van M en H gemakkelijk worden afgeleid.

Inderdaad zijn de gegeven formules ietwat meer ingewikkeld. Er moet onder andere rekening worden gehouden met de temperatuurveranderingen die M beïnvloeden.

Andere instrumenten werken sneller en precieser om H te meten. Vermelden we vooral de QHM-magnetometer van Kopenhagen (Quartz-horizontal-magnetometer) en zekere electro-magnetisch werkende instrumenten. In laatst vermelde apparaten wordt het aardmagneetveld vergeleken met dat teweeggebracht door een elektrische stroom.

Absolute magnetische metingen worden niet alleen gedaan in de magnetische observatoria maar eveneens te velde (*zie verder*).

b) De relatieve metingen.

We onderscheiden twee soorten relatieve metingen :

- 1° Diegene die in de magnetische observatoria worden verricht ten einde op doorlopende wijze de variaties in de tijd van het magneetveld te kunnen volgen. Daarvoor gebruikt men variometers;
- 2° De anderen die gedaan worden in veldwerk.

1° De *variometers* zijn uitgerust voor het aflezen of voor het fotografisch registreren. Er bestaan verschillende typen. Het zijn heden de variometers van La Cour uit Kopenhagen die het meest over de wereld zijn verspreid. Een stel van drie apparaten is nodig om de veranderingen van D, H en Z op te nemen. Hier volgt een korte beschrijving van deze instrumenten.

De *D-variometer*. — Een magneetje, voorzien van een spiegel, hangt torsie-vrij aan een kwartsdraad. Een dunne lichtbundel, verwezenlijkt met een rechtlijnige gloeidraad, wordt door het magneetspiegeltje gereflecteerd naar het registreerapparaat. Een cilindervormige lens verandert het lichtstreepje in een lichtpunt dat op een vel fotografisch papier komt vallen. Het fotografisch papier zit gespannen op een registreerrommel die eenparig om zijn as draait. Wanneer de declinatie verandert dan ondergaat het magneetje een zekere draaiing en meteen verplaatst zich het lichtpunt van een overeenkomstige hoeveelheid. Een ander spiegelkje zit vast op het raam van het toestel. Het weerkaatst dezelfde lichtbundel en trekt een rechte lijn op het fotografisch papier. Ten opzichte van deze lijn kunnen de veranderingen van D gemeten worden. Met een tweede lamp worden bij regelmatige tussenpozen (om de vijf minuten) tijdseinen op het registreerpapier gebracht. Zo kan men het ogenblik bepalen waarop de variaties gebeuren.

De *H-variometer*. — Hier ook hangt een magneetje, voorzien van een spiegel, aan een kwartsdraad zodanig getordeerd dat het loodrecht op het magnetisch meridiaanvlak komt staan. Zo kunnen de veranderingen van de horizontale componente H door draaiing van het magneetje geregistreerd worden. Het registreren geschiedt zoals voor de D-variometer.

Bij de variometers van Kopenhagen worden H en D naast elkaar op één en hetzelfde vel papier geregistreerd.

De *Z-variometer* (de balans van Godhavn). — Hij bevat een 6 centimeter lange magneet voorzien van een spiegel op zijn bovenzijde en twee messen aan zijn zijdelingse vlakken, het alles uit één stuk in wolframiumstaal. De messen rusten op twee horizontale steunvlakken. Zo kan de magneet, in een verticaal vlak, rond een horizontale as schommelen. Het zwaartepunt van de magneet wordt dusdanig verplaatst totdat de magneet horizontaal is ingesteld voor een zekere grootte van Z. Het registreren van deze meting gebeurt ook op hetzelfde vel papier als D en H. Zij hier nog gezegd dat de H- en de Z-variometers optisch zijn gecompenseerd tegen temperatuurveranderingen.

Sommige magnetische observatoria bezitten twee stellen variometers: het ene met een traag-draaiend, het andere met een sneldraaiend registreertoestel. In het laatste werkt de registreertrommel twaalfmaal sneller om alzo de variaties van de magnetische componenten tot in hun kleinste bijzonderheden te kunnen meten.

2° Voor de *relatieve metingen te velde* gebruikt men toestellen die, voor één en dezelfde componente, niet de absolute maar het waardeverschil geven tussen de waarde bekomen in een meetpunt S en die gemeten in een grondstation B.

Onder deze apparaten vinden we de magnetische balansen voor H en Z. Hun gebruik verspreidt zich meer en meer voor het aardmagnetisch bodemonderzoek.

6. DE VARIATIES VAN HET AARDMAGNEETVELD.

Het aardmagneetveld ondergaat veranderingen in de tijd en in de ruimte.

6.1. Veranderingen in de tijd.

Men onderscheidt drie soorten:

- a) De *regelmatige* of *periodieke* veranderingen zoals de dagelijkse variatie en de jaarlijkse variatie;
- b) De *plotselinge* en *onregelmatige* variaties;
- c) De *seculaire variatie* of *trage verandering*.

6.2. De dagelijkse variatie.

Deze verandering beïnvloedt de verscheidene magnetische componenten en keert elke dag terug. Haar amplitudo neemt toe van de evenaar tot de magnetische polen. De dagelijkse variatie ondergaat tevens een seizoenverandering: ze is groter in de zomer dan in de winter. De gemiddelde waarde van de dagelijkse variatie is 8' (10 tot 12' 's zomers, 5 tot 6' 's winters) in onze streken.

6.3. De jaarlijkse variatie.

De magnetische componenten D, H en Z worden uur per uur opgemeten. Uit deze waarden kunnen de dagelijkse gemiddelden berekend worden, het zijn de gemiddelden van de vier en twintig metingen per dag. Vanaf de dagelijkse gemiddelden worden de maandelijks gemiddelden bepaald. (Het maandelijks gemiddelde is de gemiddelde waarde van de dagelijkse gemiddelden). Uit de twaalf maandelijks gemiddelden verkrijgt men het jaarlijks gemiddelde. De maandelijks gemiddelden veranderen in de loop van het jaar. Het is deze lichte verandering die als jaarlijkse variatie wordt aangeduid. Deze variatie is zeer zwak ten opzichte van de dagelijkse variatie en bereikt slechts enkele tienden boogminuut voor D.

6.4. De seculaire variatie.

De seculaire variatie is een langzame verandering die in de loop van jaren en eeuwen wordt geconstateerd bij het onderzoek van de jaargemiddelden in een observatorium. Deze variatie werd ontdekt door GELLIBRAND in 1634. Zo bedroeg de declinatie 11° Oost in 1580 en 24° West in 1818 te Londen, hetzij een verandering van 35° in ongeveer 240 jaar. In ons land daalt de declinatie sedert 1828 (begin van de waarnemingen te Brussel) : per jaar is deze daling ongeveer 9' groot, dit wil zeggen dat de westelijke declinatie jaarlijks van 8 tot 10' vermindert.

De seculaire variatie is niet constant : zij verandert in amplitudo in de loop van jaren en naargelang de plaats. Tot heden weten we nog niet of deze variatie al of niet periodiek is; volgens zekere auteurs zou haar periode ongeveer vierhonderd tachtig jaar bedragen. Meer waarnemingen over een groot getal jaren zijn nog vereist om voor dit vraagstuk een oplossing te vinden.

6.5. De magnetische storingen.

De registreringen vertonen soms ingewikkelde en onregelmatige schommelingen met steeds veranderend amplitudo : dat zijn magnetische storingen. Is een storing van groot formaat en van lange duur, dan spreekt men van een magnetische storm.

Er bestaat een nauw verband tussen de frequentie van magnetische stormen en de uitwerkingen op het zonoppervlak. Volgens zekere theorieën worden ze veroorzaakt door corpusculaire uitstralingen van de zon. Dergelijke stralingen van geëlectriseerde materiële deeltjes veranderen de elektrische toestand van de hoge atmosfeer (de ionosfeer) en veroorzaken alzo zeer sterke variaties in het aardmagneetveld (1° of meer voor D).

Magnetische stormen gaan bijna altijd gepaard met poollicht (noorderlicht of zuiderlicht) dat, in 't algemeen, in concentrische gebieden om de magnetische polen meestal wordt waargenomen.

6.6. De magnetische variaties in de ruimte.

a) *Verandering met de hoogte.* — Het aardmagneetveld vermindert met de hoogte boven het aardoppervlak volgens een wet in $\frac{1}{(R + h)^3}$, waarin R = aardstraal en h = hoogte van het waarnemingspunt.

Met deze vermindering wordt geen rekening gehouden in landen met gering relief zoals België.

b) *Variatie volgens de geografische ligging.* — Het magneetveld verschilt van punt tot punt op het aardoppervlak. Dat kan worden geconstateerd op de magnetische kaarten. (De magnetische kaarten voor België zullen in het tweede deel worden beschreven.)

De poolstreken uitgezonderd, zijn de magnetische componenten heden tamelijk goed gekend over bijna gans de Aarde. In de meeste landen werd het magnetisch meetwerk in handen genomen door officiële of wetenschappelijke instellingen. Vooral de declinatie werd gemeten en dan soms ook de inclinatie I en de horizontale component H of nog de horizontale en de verticale componenten H en Z. Deze metingen werden gedaan in zeer onregelmatig verspreide meetpunten, die soms tientallen of honderden kilometers van elkaar verwijderd liggen. Ook over de oceanen werden metingen verricht; dit was nodig om een meer volledige distributie van de magnetische componenten over de wereld te bekomen. De metingen op zee worden moeilijk gemaakt door de bewegingen van het schip alsook door de aanwezigheid aan boord van niet ijzervrije, ingebouwde materialen zoals ijzer en staal.

Het grootste deel van het magnetisch meetwerk op zee werd uitgevoerd door de Dienst voor het Aardmagnetisme van het « Carnegie Institution of Washington ».

Eerst de *Galilee* en daarna de *Carnegie*, een te dien einde speciaal gebouwd zeilschip, maakten tussen 1905 en 1929 verschillende expeditiereizen over alle zeeën. Ongelukkig werd de *Carnegie* door een ontploffing gevolgd van brand, in 1929, bij het eiland Samoa vernield.

Dank zij het groot getal metingen gedurende de reizen verricht, werd het mogelijk de magnetische componenten op wereldkaarten vast te leggen.

7. DE MAGNETISCHE KAARTEN.

Op een landkaart worden de meetpunten aangeduid en naast elk punt schrijft men de waarde van de gemeten componente (de declinatie, bijvoorbeeld).

Door interpolatie tussenin de punten tekent men lijnen waarop de betrokken magnetische componente dezelfde waarde bezit : men noemt ze *isomagnetische lijnen*. Wanneer deze de declinatie betreffen, worden ze *isogonen* geheten; voor de inclinatie noemt men ze *isoclinen* en voor H, Z of F spreekt men van *isodynamen*.

8. DE MAGNETISCHE WERELDKAARTEN.

In 't algemeen liggen de isomagnetische lijnen tamelijk regelmatig over de Aarde verdeeld. De distributie van het aardmagneetveld doet ons denken aan een dipoolveld waarvan de as een kleine hoek maakt met de rotatie-aas van de Aarde. Laten we dat ietwat nader onderzoeken :

De *isogonen* zijn nagenoeg rechten die schuin liggen ten opzichte van de geografische meridianen; de hoek tussenbeiden is oostelijk of westelijk. Ze lopen door de aardpolen en door de magnetische polen.

De *isoclinen* zijn licht golvende lijnen en lopen nagenoeg evenwijdig met de geografische parallelcirkels. De inclinatie is positief in het noordelijk en negatief in het zuidelijk halfrond. De positieve en de negatieve waarden worden van elkander gescheiden door de magnetische evenaar, dit is de lijn waarop de inclinatie 0° is. Deze lijn valt niet samen met de geografische equator.

De *magnetische polen* worden gekenmerkt door de waarde van de inclinatie : in de *magnetische noordpool* is $I = + 90^\circ$; in de *magnetische zuidpool* is $I = - 90^\circ$. De aardrijkskundige liggingen van beide polen zijn ongeveer de volgende in 1945 :

- 76° N, 102° W van Greenwich voor de magnetische noordpool; en
- 68° Z, 146° O van Greenwich voor de magnetische zuidpool.

Ze zijn niet symmetrisch en hun ligging verandert in de loop van jaren.

Hier volgen nu de waarden van de magnetische componenten in beide polen en op de magnetische evenaar :

In de magnetische noordpool :

D is er onbepaald;

$I = + 90^\circ$; $H = 0$; $Z = 0,6$ Oersted; $F = Z = 0,6$ Oersted.

In de magnetische zuidpool :

D is er onbepaald;

$I = - 90^\circ$; $H = 0$; $Z = - 0,6$ Oersted; $F = Z = 0,6$ Oersted.

Op de magnetische evenaar :

$I = 0$, $Z = 0$, $H = 0,3$ Oersted; $F = H = 0,3$ Oersted.

Het aardmagneetveld is bijgevolg heel zwak vermits de veldsterkte slechts varieert tussen 0,3 en 0,6 Oersted.

9. DE MAGNETISCHE ANOMALIEËN.

De isomagnetische lijnen hebben niet overal een regelmatige gang. Ze vertonen soms bochten waarvan de vorm en het amplitudo verschillen naargelang de plaats. Deze onregelmatigheden in het aardmagneetveld worden in 't algemeen *magnetische anomalieën* geheten. Ze zijn des te beter zichtbaar op kaarten met grote schaal. Dergelijke magnetische krachtlijnen omschrijven « onregelmatige gebieden ». Om de studie van de anomalieën aan te vatten moet een regelmatig magneetveld berekend worden, ten opzichte van hetwelk de onregelmatigheden kunnen worden bepaald.

Als normale distributie van het magneetveld wordt een eenvormige magnetisatie van de Aarde aangenomen. Volgens hun uitgestrektheid kunnen de magnetische anomalieën in drie klassen worden verdeeld :

- *algemene* of wereldanomalieën,
- *gewestelijke* anomalieën, en
- *locale* anomalieën.

Algemene storingen komen uit op magnetische wereldkaarten en liggen uitgestrekt over grote gedeelten van het aardoppervlak. Ze zijn heel waarschijnlijk toe te schrijven aan de inwendige structuur van de Aarde.

Gewestelijke anomalieën komen te voorschijn op de magnetische kaarten van elk land. Hun uitgestrektheid is veel kleiner dan die van de bovengemelde anomalieën en zijn te wijten aan diepliggende geologische storingen, zoals de storing in het Bekken van Parijs.

Locale anomalieën kunnen slechts van detailkaarten worden afgelezen en hebben alleen betrekking met kleine gebieden. Voorbeelden hiervan zijn de anomalieën in de Hoge Venen en die van de Serpont in België.

Doorgaans staat de uitgestrektheid van een anomalie in nauw verband met de diepte van haar oorzaak. Zo kunnen we, bij eerste benadering, volgende diepten aannemen :

- enkele tientallen kilometers voor algemene anomalieën,
- enkele kilometers voor gewestelijke anomalieën,
- enkele honderdtallen of tientallen meters, en ook soms enkele meters voor locale anomalieën.

10. HET AARDMAGNETISCH BODEMONDERZOEK.

De algemene en de gewestelijke anomalieën behoren tot de geofysica. Ze zijn waarschijnlijk toe te schrijven aan diepliggende geologische verschijnselen, onbereikbaar door de gewone waarnemingsmethoden en zelfs niet in mijnen of met boringen. De locale anomalieën daarentegen maken deel van het *geofysisch bodemonderzoek*.

De studie van de locale anomalieën of het *aardmagnetisch bodemonderzoek* verstrekt inlichtingen nopens de structuur of de samenstelling van de ondergrond. Er bestaat een betrekking tussen de anomalieën, enerzijds, en het voorhanden zijn van magnetische delfstoffen (zoals magnetiet, pyrrhotine, ilmeniet, enz.) of het bestaan van tectonische verschijnselen (anticlinalen, breuken, zoutkegels, enz.) anderzijds.

Het magnetisch bodemonderzoek en de drie andere methoden, te weten : de gravimetrische, de elektrische en de seismologische vormen de klassieke geofysische methoden voor het prospecteren. Sedert het einde van de eerste wereldoorlog hebben deze methoden zich meer en meer ontwikkeld en uitgebreid. Zo werden petroleumvelden en mijnlagen op grote schaal ontdekt. Zonder evenwel de andere methoden in getal te evenaren, is het magnetisch bodemonderzoek van groot belang voor geologen en prospectors. Het blijft een van de bijzonderste toepassingen van het aardmagnetisme.

II. — DE MAGNETISCHE KAARTEN VAN BELGIË.

1. DE MAGNETISCHE METINGEN IN VROEGER TIJDEN IN BELGIË.

1.1. Eerste onderzoekingen betreffende de distributie van het aardmagnetisme in België.

De eerste, ononderbroken metingen werden door Adolphe QUETELET gedaan in 1828 in het Observatorium te Brussel. Voor dat tijdstip kan men slechts van een paar waarnemingen van de declinatie spreken in 1772 : één door de Engelse geleerde PIGOTT te Oostende en een ander door de E.H. MANN te Nieuwpoort.

QUETELET nam vooral de declinatie en de inclinatie waar. Toen hadden deze componenten volgende waarde : 22°28' westelijk voor D en + 68°56' voor I. Wat de veldsterkte aangaat, bepaalde QUETELET alleen haar relatieve waarde bij middel van de oscillatiemethode.

In 1840 installeert QUETELET in het Observatorium te Brussel een afleesbaar declinatiekompas. In 1841 komen een variometer met dubbele ophangdraad en een magnetische balans de installatie aanvullen. QUETELET begint dan een reeks waarnemingen op elk uur en bekomt

betreffende de dagelijkse variatie zijn eerste uitslagen. Eens te meer dient er op gewezen dat deze natuurvorser een voorloper was. Volgens L. DUFOUR zou QUETELET zelfs tot diegenen behoren die GAUSS zouden attent hebben gemaakt op de theorie van het aardmagneetveld.

Tussen 1828 en 1871 worden metingen gedaan te Antwerpen, Kortrijk, Gent, Bergen, Oostende, Luik, Leuven, Namen en Mechelen van een of andere magnetische componente (D, I of H). De uitslagen ervan werden door QUETELET en LAMONT bekendgemaakt.

In 1871 bepaalt de E.H. Stephen J. PERRY, Directeur van het Observatorium te Stonyhurst (Engeland) de magnetische componenten in negentien punten in België. Met deze metingen kan een eerste schets van de distributie van het magneetveld in ons land worden gemaakt.

Intussen worden, in het Observatorium te Brussel, de regelmatige waarnemingen van het magneetveld volgens het plan van QUETELET voortgezet tot de installatie van Brussel naar Ukkel wordt overgebracht (1890). Onderwijl (1878) had HOUZEAU, opvolger van QUETELET als directeur van de Sterrenwacht, de afleesbare instrumenten doen vervangen door registreerapparaten. Door toedoen van HOUZEAU worden in veel meetpunten waarnemingen gedaan om de magnetische kaart van het land vast te leggen (1878-1882). Dit werk werd begonnen door ESTOURGIES die ongelukkig sterft voor hij het reduceren van zijn metingen kan voleinden. Het reduceren werd naderhand voortgezet doch kwam niet terecht.

Van 1891 tot 1892 meet Dr VAN RYCKEVORSEL, auteur van de magnetische kaart van Nederland, de magnetische componenten D, I en H in enkele punten bij de noordgrens van België.

Terwijl te Ukkel de gebouwen van de nieuwe sterrenwacht werden opgetrokken, besliste de Universiteit van Luik over het aanleggen (1882) van een astrofysisch instituut te Cointe, gelegen in de onmiddellijke buurt van de stad Luik. Dit instituut werd voorzien van afleesbare en registrerende magnetische instrumenten. De eerste waarnemingen werden er gedaan door FOLIE en RONKAR. Ze werden onderbroken bij het vertrek van FOLIE en werden slechts hervat in 1899.

Van 1898 tot 1899 meet NIESTEN, in negentien punten verspreid over gans het land, de declinatie en de horizontale componente. Met die waarnemingen, teruggebracht op 1 Januari 1899, kon PRINZ de eerste declinatiekaart van België opmaken. Alhoewel het gering aantal meetpunten laat deze kaart de onregelmatige verspreiding van de declinatie reeds uitschijnen, alsook het groot belang voor het opmaken van een nieuwe, meer volledige kaart.

1.2. Onderzoekingen tussen 1900 en 1920.

In 1900 wordt de magnetische dienst van het Koninklijk Observatorium gans omgebouwd onder de leiding van de nieuwe directeur G. LECOINTE.

Veel absolute metingen laten een nauwkeuriger reduceren van de registreringen toe. Zo kan het Observatorium, in 1902, deelnemen aan de internationale waarnemingen van het magneetveld; deze metingen werden voorgeschreven door het Internationaal Congres voor Aardrijkskunde verenigd te Berlijn in 1899.

Maar reeds toen werden de magneten te Ukkel beïnvloed door vagabonderende stromen veroorzaakt door de elektrische tramlijnen in de buurt. Daarom werd een tijdelijk station in de Villa van de Keizerberg bij Leuven opgericht. Magnetische metingen worden er gedaan gedurende een jaar.

Terzelfdertijd worden de magnetische waarnemingen te Cointe voortgezet. Bij het controleren van een mijnkompas, in Augustus 1903, ontdekt de H. Dehalu een locale declinatie-anomalie in de omgeving van Luik. Hij zet zijn waarnemingen voort in 1904 en bepaalt de componenten D, I, en H respectievelijk in 100, 78 en 81 punten verspreid in de kolenbekkens van Luik, Charleroi en Bergen. Deze metingen kwamen de anomalieën in het Bekken van Luik bevestigen : bij een normale distributie moet de declinatie — die westelijk is — verminderen van west naar oost. Hier, integendeel, vermeerderd ze. De H. M. DEHALU vestigde reeds toen de aandacht op het bestaan van een mogelijk verband tussen de magnetische anomalieën en de Eifelbreuk in het Bekken van Luik.

Vervolgens begint A. HERMANT met het opmaken van een magnetische kaart van ons land. Van 1911 tot 1914 bepaalt hij de componenten D, I en H in 136 meetpunten die 20 tot 30 km van elkaar verwijderd liggen. Dit geeft dus een netwerk van één station per 216 km². Alle metingen werden teruggebracht op 1 Januari 1913, dank zij de registreringen in het Observatorium te Ukkel. A. HERMANT kon alzo voor 1 Januari 1913 een isogonen-, een isoclinen- en een isodynamenkaart opmaken. Op die kaarten komen de anomalieën goed te voorschijn en vooral die in Vlaanderen, Brabant en in de Provincie Luik.

1.3. De onderzoeken na 1920.

De waarnemingen gedaan door de HH. DEHALU en HERMANT werden in 1931 in één en dezelfde kaart samengebracht door Jw. MERKEN en M. DEHALU. Deze kaart geeft de anomalieën van de horizontale en de verticale componenten aan en laat eveneens het bestaan blijken van :

- a) Een reeks aantrekkings- en afstotingslijnen die nagenoeg oost-west zijn gericht;
- b) Een attractiepool in de omgeving van Spa;
- c) Een repulsiepool ten noorden van Hasselt.

In 1934 wordt een anomalieënkaart voor België en de omliggende streken uitgegeven. Deze kaart werd getekend volgens de waarnemingen in 277 meetpunten ontleend aan de meetnetten van België en die van de omliggende landen. Ze bevestigt de vroeger bekomen resultaten en namelijk het repulsiepunt van de Kempen. Buitendien kunnen de aantrekkingslijnen en de afstotingslijnen over de Belgische grenzen worden doorgetrokken.

Op aanvraag van M. LA COUR, Voorzitter van de Commissie van het Pooljaar 1932-1933, werd in 1932 door M. DEHALU, Administrateur-Inspecteur van de Universiteit te Luik, een nieuw magnetisch station gebouwd. Zo kon België deelnemen aan het Pooljaar vermits de stations te Ukkel en te Cointe steeds meer en meer onder de invloed kwamen van de nabijliggende elektrische tramwegen. Een station gelegen in een ongestoorde streek was een noodzakelijkheid geworden.

Het nieuw observatorium werd door L. KOENIGSFELD opgericht te Manhay, provincie Luxemburg, op 47 km ten Z-O van Luik. Het is gelegen op de bergkam die de valleien van de Ourthe en de Amblève scheidt. Dit station heeft totnogtoe slechts een onderbreking gekend; het werd gedeeltelijk verwoest tijdens het offensief van de Ardennen in 1944, doch het kon zijn werking hervatten op 1 Januari 1946. Vanaf deze datum verschijnen de waarnemingen opnieuw regelmatig.

Met het station te Manhay werd het mogelijk magnetische kaarten op te maken van het oosten van België. In 1933 en 1934 werd, met de magnetische balans van SCHMIDT, de verticale component gemeten in 550 punten gelegen rondom Spa en in de Hoge Venen. De bekomen kaart bevestigt andermaal het grote positieve anomaliegebied ten Z-O van Luik en ten oosten van Spa. Diezelfde kaart toont eveneens aan dat de reeks NO-ZW gerichte, posi-

tieve anomalieën in het verlengde staan van de door Prof. REICH in Duitsland gevonden storingen. Volgens de H. DE MAGNÉE zou die landstrook met positieve anomalieën het grensvlak tussen het devoon en het cambrisch massief van Stavelot aanwijzen.

Gedurende 1936 en 1937 werd de anomalie van Sourbrodt bestudeerd. Met een magnetische balans van Kopenhagen bepaalden we de verticale componente in dicht bij elkaar gelegen punten (enkele tientallen tot enkele honderdtallen meters).

Van 1937 tot 1938 worden de metingen uitgebreid van de Oostgrens tot de meridiaan van Namen. De 558 meetpunten zijn gemiddeld 5 km van elkaar verwijderd en nemen ongeveer een derde van het land in beslag. De verticale componente werd in elk punt bij middel van een balans van Kopenhagen gemeten. Dit werk had tot doel de anomalieën van Spa en Hasselt systematisch in te sluiten en de uitslagen te vergelijken met die bekomen door de geologie en de andere vakken van de geofysica.

Het in kaart brengen van Z liet volgende punten uitschijnen :

- a) Bevestiging van de aantrekkingszone van Spa en de afstotingszone van Hasselt;
- b) Het bestaan van een NO-ZW gerichte kam, dwars door de Ardennen, met positieve anomalieën;
- c) Het bestaan van een tamelijk sterke, positieve anomalie in de streek van Bilzen en ten westen van Maastricht;
- d) Het bestaan van positieve en negatieve anomalieën in de streek Paliseul-Libramont-Bastenaken;
- e) Het bestaan van enkele locale storingen.

Vervolgens werden er nog prospecterende meetwerken verricht in andere Belgische streken : in het massief van Hourt (Vielsalm), in de Liennevallei, in de omstreken van Court-Saint-Etienne, in het massief van de Gette en in het massief van Serpont (Libramont). Het opmaken van deze kaarten gebeurde met een groot aantal meetpunten en leverde interessante conclusies op voor wat de geologie en meer bijzonder de tektoniek van deze streken betreft.

Niettegenstaande het magnetisch station te Ukkel steeds meer en meer door het electrisch verkeer werd gestoord, bleef het regelmatig doorwerken onder de leiding van A. HERMANT en zijn opvolger E. LAHAYE. De declinatie en de horizontale componente werden er geregistreerd. In samenwerking met G. BOURLET heeft E. LAHAYE, in 1941, de invloed van het electrisch verkeer op de declinatie te Ukkel bestudeerd. Door het aanbrengen van koperen dempers kon het amplitudo der kunstmatige storingen grotendeels worden weggewerkt.

Sedert 1952 werd het station te Ukkel vervangen door dat van Dourbes bij Nismes (provincie Namen). Dit nieuw opgetrokken station maakt deel uit van het Centrum voor Geofysica van het Koninklijk Meteorologisch Instituut van België (*zie verder*).

2. DE MAGNETISCHE KAARTEN VAN DE NATIONALE ATLAS VAN BELGIE.

2.1. De gebruikte documenten.

De voor België en de omliggende grensstreken opgemaakte kaarten beschrijven een grondgebied begrepen tussen 49°30' en 51°30' N-breedte en tussen 2°30' en 6°30' Oosterlengte (t.o.v. Greenwich). Deze kaarten omvatten bijgevolg een deel van Frankrijk, Duitsland en Nederland. De kaarten op plaat 5 werden met volgende documenten aangelegd :

— Voor België :

- a) De kaart opgemaakt door A. HERMANT tussen 1911 en 1914,
- b) De metingen verricht door M. DEHALU in zekere punten in 1904;

- Voor *Frankrijk* : De kaart gemaakt onder de leiding van de HH. MATHIAS en MAURAIN tussen 1921 en 1927;
- Voor *Nederland* : De nieuwe magnetische kaart opgemaakt van 1942 tot 1947 door het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, onder de leiding van Dr J. VELDKAMP;
- Voor *Duitsland* : De kaart van Noord-Duitsland opgemaakt van 1898 tot 1903 door ESCHENHAGEN en EDLER.

Deze kaarten werden respectievelijk voor volgende data gereduceerd : 1 Januari 1913 of 1913,0, 1924,0, 1943,0 en 1945,0, en 1909,0.

2.2. Het reduceren tot één en zelfde datum.

Om de verschillende kaarten te kunnen vergelijken, moeten ze voor één en zelfde datum worden gereduceerd. De 1^{ste} Januari 1943 werd hiervoor aangenomen. Buiten de Nederlandse kaarten moeten de anderen met de seculaire variatie van de tussenperiode verbeterd worden :

- Voor België van 1913,0 tot 1943,0;
- Voor Frankrijk van 1924,0 tot 1943,0;
- Voor Duitsland van 1909,0 tot 1943,0.

De veranderingen van de seculaire variatie werden berekend volgens de methode van A. ANGOT : eerst en vooral werden de jaargemiddelden bekomen in de magnetische observatoria van de omliggende landen verzameld : die van Eskdalmuir en Abinger in Groot-Brittannië; die van Chambon-la-Forêt in Frankrijk; die van Witteveen in Nederland; die van Niemegek in Duitsland en die van Rude-Skov in Denemarken.

Met deze jaargemiddelden werden dan de verschillende magnetische componenten voor elk observatorium berekend op volgende data : 1909,0 - 1913,0 - 1924,0 - 1943,0. Zo bekwamen dan de waarde van de seculaire variatie voor de betrokken tussenperiodes en voor elke componenten D, I en H.

Op een kaart van West-Europa werd, naast de ligging van de magnetische observatoria, de seculaire variatie van elke componenten D, I en H aangeduid voor iedere periode 1943,0-1913,0; 1943,0-1924,0; 1943,0-1909,0.

Zo bekwamen men een reeks kaarten van de seculaire variatie. De kurven met gelijke variatie werden door interpolatie tussen de observatoria getekend om alzo de variatiecorrecties te bepalen en al de gegevens te kunnen reduceren op 1943,0.

Met deze waarden werden drie karten opgemaakt : een declinatiekaart (isogonen), een inclinatiekaart (isoclinen) en een kaart van gelijke horizontale componenten (H-isodynamen).

Op plaat 5 werden de eerste twee in één kaart verenigd : de isogonen zijn de rode kurven en de isoclinen de blauwe. Beide soorten kurven werden getekend van 10 tot 10' en bekomen door interpolatie tussen de waarden van de omliggende meetpunten. De H-isodynamen verspringen van 10 tot 10 CGS-eenheden van de 4^{de} decimale rang, dit wil zeggen van 100 tot 100 γ .

2.3. Beschrijving van de kaarten.

In 't algemeen, laten bovengemelde kaarten de reeds vroeger bekomen resultaten best uitschijnen niettegenstaande de vorige kaarten voor België en de omliggende landen, afzonderlijk werden opgemaakt. Laten we ze beknopt beschrijven :

- a) *De declinatiekaart* : De declinatie varieert van $6^{\circ}50'$ tot $8^{\circ}30'$ west van oost naar west. De regelmatige isogonen zijn nagenoeg noord-zuid gericht. De anderen vertonen een ingewikkelde gang en vormen soms gesloten krommen die dan gebieden met magnetische anomalieën laten voorkomen. Zo hebben we dan :
- De zone gericht volgens de lijn Blankenberge - Gent - Sint-Joris-Weert, waarin, buiten de kleine ringvormige gebieden van $8^{\circ}30'$, $8^{\circ}10'$, $8^{\circ}20'$, $7^{\circ}50'$, enz., alle isogonen sterk naar het ZO afwijken. De waarde van D is bijgevolg te groot in deze streek;
 - Het gebied ten ZO van Luik. Hier vinden we de bovengemelde anomalie terug die de H. DEHALU ontdekte in 1903-1904. De $7^{\circ}10'$ isogoon wijkt sterk af naar het oosten en omvat een groot gebied met te grote waarden van D;
 - Het gebied gelegen om de Belgisch-Nederlandse grens ten westen van Maastricht : de ringvormige gebieden van $7^{\circ}20'$ en $7^{\circ}30'$ geven insgelijks te grote waarden voor D;
 - Het gebied ten noorden van Nederlandse Limburg dat zich uitstrekt ten ZO van Roermond : de gesloten gebieden van $6^{\circ}50'$ en $6^{\circ}40'$ zijn NW-ZO gericht en liggen tussen twee isogonen van $7^{\circ}00'$ die het gebied van Roermond insluiten. De waarden van D zijn te klein binnenin de gemelde gebieden;
 - het gebied op de Frans-Belgische grens in het zuiden van de provincie Namen : de isogonen $7^{\circ}40'$ en $7^{\circ}50'$ buigen naar het oosten weg;
 - het gebied ten WZW van Rijsel, waar de isogonen $8^{\circ}20'$ en $8^{\circ}30'$ wegbuigen naar het westen;
 - het gebied ten NO van Antwerpen, met zeer onregelmatige gang van de 8° isogoon in het noorden van het land.
- b) *De inclinatiekaart* : De inclinatie stijgt van 65° tot 67° van het zuiden naar het noorden. In 't algemeen hebben de isoclinen een regelmatigere gang dan de isogonen. Hun richting is nagenoeg oost-west. Zekere anomalieën komen nochtans hun regelmatigheid verbreken en vormen kleine, ingesloten gebieden waaronder :
- In Vlaanderen worden de isoclinen van $66^{\circ}30'$ en van $66^{\circ}40'$ door hun onregelmatige gang gekenschetst;
 - In Brabant komen drie onregelmatigheden voor : twee langs de $66^{\circ}00'$ isocline in het zuiden en één langs de $66^{\circ}30'$ isocline in het noorden;
 - In Limburg;
 - In het Luikse : ingesloten gebied van $66^{\circ}20'$ en het wegbuigen naar het zuiden van de isocline $66^{\circ}10'$;
 - De streek van Givet;
 - Enkele onregelmatigheden in Noord-Frankrijk.

- c) *De H-isodynamenkaart* : Deze componente vermindert van 0,1950 tot 0,1840 Oersted van het zuiden naar het noorden. De kurven zijn tamelijk regelmatig. Hun richting is nagenoeg oost-west. Anomalieën worden eveneens aangetroffen onder de vorm van kleinere ingesloten gebieden. De plaatsen waar ze voorkomen zijn praktisch dezelfde als de reeds bovengemelde gebieden (Vlaanderen, Brabant, Luik, enz.).

2.4. Het gebruik van de magnetische kaarten.

De meest gebruikte is de declinatiekaart. Het volstaat inderdaad de declinatie te kennen om, onverwijld en met behulp van het kompas, de richting van het geografische noorden te vinden. Een der praktische toepassingen van het geomagnetisme is het gebruik voor scheep- en luchtvaart van het kompas, mits het aanbrengen van een correctie die rekening houdt met de magnetische bouwmaterialen verwerkt in schepen en vliegtuigen.

Het kompas wordt eveneens gebruikt voor topografische opnamen. Ook de geoloog bedient er zich van om de richting van geologische lagen te bepalen.

Voor elk van deze toepassingen is het nodig de declinatie van het meetpunt te kennen. Hiervoor, gezien de vereiste nauwkeurigheid van het af te leggen werk, volstaat een declinatiekaart.

Om D in een willekeurig punt S in België te bepalen is het bijgevolg voldoende het punt S in kaart te brengen en daarna de waarde van D op de declinatiekaart af te lezen. Valt het punt S tussen twee opeenvolgende isogonen, dan bekomt men D door interpolatie. Daar de kaarten werden getekend voor 1 Januari 1943 moet de afgelezen waarde van D van de seculaire variatie worden verbeterd voor de tijdruimte begrepen tussen 1943,0 en de datum x van de meting. Zo bekomen we :

$$D_{S, x} = D_{S, 1943,0} + c$$

waarin $D_{S, x}$ = declinatie in S op datum x ;

$D_{S, 1943,0}$ = declinatie in S op 1 Januari 1943;

c = de correctie van de seculaire variatie gedurende $x - 1943,0$.

Deze verbetering is praktisch overal dezelfde voor een grondgebied zoals België, voor zover de tussenruimte $x - 1943,0$ niet enkele jaren te boven gaat. Heden is de waarde van c ongeveer $-9'$ per jaar voor de westelijke declinatie.

Voorbeeld : Laten we D bepalen te Hasselt op 1 Januari 1950. Volgens de kaart hebben we op 1 Januari 1943 te Hasselt $D = 7^{\circ}21' W$. De verbetering van D bedraagt dus $-9' \times 7 = -63' = -1^{\circ}03'$.

Bijgevolg is de gezochte waarde van D : $7^{\circ}21' W - 1^{\circ}03' = 6^{\circ}18' W$.

Er dient nochtans opgemerkt dat de gevonden waarde slechts op enkele minuten na nauwkeurig is. Dit spruit voort uit volgende beschouwingen :

1° De variatie van D tussen twee isogonen wordt als regelmatig aanzien niettegenstaande de isogonen zelf door interpolatie werden bekomen. (Afstand van de meetpunten 20 tot 30 km);

2° De seculaire variatie blijft constant in de loop van jaren.

2.5. Opmerking.

De magnetische kaarten op plaat 5 vormen op zichzelf slechts een eerste benadering :

- 1° Is het aantal meetpunten niet altijd voldoende vooral in de anomaliegebieden;
- 2° Kunnen de metingen nauwkeuriger worden verricht met moderne en, voor veldwerk, beter aangepaste instrumenten.

Niettemin weze hier hulde gebracht aan de HH. HERMANT en DEHALU, want met minder aangepaste toestellen dan die van heden heeft hun werk ons toegelaten de grote trekken van het geomagnetisme in België te kennen.

3. VERGELIJKING VAN DE MAGNETISCHE KAARTEN MET DE GEOLOGISCHE, DE GRAVIMETRISCHE EN DE SEISMISCHE KAARTEN.

Uitgebreid commentaar over deze vergelijking kan hier niet worden aangevat. Dit onderwerp werd reeds besproken tijdens het Nationaal Congres voor Wetenschappen gehouden te Brussel in 1950.

In de meeste streken van onze globe heeft men reeds het verband gelegd tussen de geologie en zekere geofysische verschijnselen (gravimetrische, magnetische en seismische), hetgeen geleid heeft tot belangwekkende vergelijkingen, maar het verbreidde vooral de kennis over de aardkorst.

Andere kaarten dan diegene die verbeeld zijn op plaat 5 zijn beter vatbaar voor vergelijkingen. We verwijzen hier naar paragraaf 1.3 van dit tweede deel. De kaarten waarvan sprake werden aangelegd door H. DEHALU en Jw. MERKEN voor België en door ons voor België en de omliggende grensstreken.

Op deze laatste kaart staan de grootte en de richting van de anomalieën aangeduid voor de horizontale en de verticale componenten.

3.1. De magnetische anomalieën en de geologie.

Er schijnt een nauw verband te liggen tussen anomaliegebieden en zekere, grote tectonische eenheden. De aantrekkings- en afstotingslijnen hebben ongeveer dezelfde richting als die van de tectoniek van België : NO-ZW in het oosten van het land, O-W in het midden en OZO-WNW in het westen. Dit verschijnsel is beter zichtbaar op de nieuwe en nog niet gepubliceerde kaarten. Deze werden aangelegd met een groter aantal meetpunten. De positieve anomalieën van de verticale componenten vallen meestal samen met anticlinale gebieden, terwijl de negatieve overeenstemmen met de synclinale zones.

De kaarten op plaat 5 laten dit verschijnsel reeds vermoeden :

- de anomalieën in Vlaanderen, Brabant en rond Maastricht volgen de anticlinale van Brabant;
- de anomalie ten ZO van Luik stemt overeen met het Cambrisch Massief van Stavelot;
- de anomalie van het Limburgse kan haar oorzaak vinden in het Kempisch Kolenbekken : het aannemen in dikte van post-primaire sedimentaire grondlagen komt overeen met een vermindering van het magneetveld teweeggebracht door het zinken van het primair substratum;

- de negatieve declinatieanomalie die zich ten ZO van Roermond uitstrekt moet waarschijnlijk in verband worden gesteld met de Graben van deze streek. De richting van de kleine, gesloten declinatielijnen van 6°40' en 6°50' stemt er trouwens overeen met die van het tectonisch verschijnsel.

3.2 De magnetische anomalieën en de gravimetrie.

Door vergelijking van de gravimetrische kaart met die van het geomagnetisme vindt men een zekere gelijkenis tussen de richtingen van de magnetische en die van de zwaarte-anomalieën in Vlaanderen en Brabant. Doch we zijn het eens met L. JONES om te verklaren dat er geen opvallend verband tussen zwaarte en magnetisme kan worden gevonden. Beide opnamen geven slechts een zeer algemeen uitzicht en werden immers aangelegd met te weinig meetpunten om over een of ander verband te concluderen.

3.3. De magnetische anomalieën en de seismologie.

De seismische kaart van België werd opgemaakt door wijlen Ch. CHARLIER. In zijn werk over de seismiciteit in België legde hij reeds de nadruk op het samenvallen van de pleisto-seistische gebieden van de Belgische bevingen met diepe focus en de maxima positieve anomalieën van de verticale componente. Deze laatste vindt men eveneens in Vlaanderen, in Brabant, in het ZO van de provincie Luik en in de streek Bilzen-Maastricht.

3.4. Opmerking.

Bovengemelde vergelijkingen tussen de geofysische anomalieën en de geologie kunnen beter worden uitgewerkt op kaarten met groot aantal meetpunten. In de detailopnamen in Oost-België, in de Hoge Venen, bij de Serpont en de magnetische bodemonderzoekingen schijnen zekere overeenstemmingen veel beter uit. Dienaangaande verwijzen we de lezer naar de in de bibliografie vermelde publicaties.

Laten we even aanhalen wat heden is of wordt verwezenlijkt in België betreffende het aardmagnetisme.

4. WERKEN IN UITVOERING EN ONTWERPEN.

- 4.1. Het nieuw magnetisch observatorium van het Centrum voor Geofysica te Dourbes moet het station van Ukkel vervangen wegens het tramverkeer. Het werd opgericht in 1952 en bestaat uit twee gebouwen : het ene met de variometers en de registreerapparaten, het andere voorzien van toestellen voor absolute metingen en voor afleesbare variometers. Met zijn moderne uitrusting zal dit nieuw station ons toelaten het geomagnetisme dieper in te studeren om alzo de betrekkingen tussen de uitwendige — zonneactiviteit, poollicht, ionosfeer — en de inwendige — tellurische stromen, seismologie, gravimetrie, geologie — inwerkingen op het magneetveld beter te leren kennen.
- 4.2. Door het oprichten van het magnetisch station te Dourbes werd het mogelijk aan grote werken zoals de nieuwe magnetische kaart van België te beginnen. Deze nieuwe opname, verricht door het wetenschappelijk personeel van het Koninklijk Meteorologisch Instituut, bedraagt nagenoeg 700 meetpunten, hetzij vijfmaal meer dan die van A. HERMANT. H en Z werden gemeten met de QHM en de BMZ van Kopenhagen.

De kaarten van H en Z worden thans opgemaakt en zullen eerstdaags gepubliceerd worden.

Wat de declinatie betreft zijn de metingen te velde bijna voleind. Eerlang zullen we dus over een nieuw wetenschappelijk document beschikken, document waarvan het belang overwegend zal blijken in het vergelijken van de magnetische gegevens met die van de geologie en de geofysica.

- 4.3. Laten we om dit kort overzicht te besluiten de lezer opmerkzaam maken op de eerstkomende werkzaamheden van het magnetisch observatorium te Dourbes : een detailstudie omtrent zekere magnetische anomalieën die voorkomen op de nieuwe magnetische kaart van België; een onderzoek van de magnetische eigenschappen van rotsen die in de anomaliegebieden werden verzameld.

III. — BIBLIOGRAFIE.

1. *Annales de l'Observatoire Royal de Bruxelles.* — Années 1834 à 1901.
2. *Annuaire de l'Observatoire Royal de Belgique.* — Années 1834 à 1900.
3. *Annuaire Météorologique de l'Observatoire Royal de Belgique.* — 1901 à 1913.
4. NIESTEN : *Annuaire de l'Observatoire Royal de Belgique pour 1900.*
5. Rév. Stephen PERRY : *Magnetic Survey of Belgium in 1871* (Phil. Trans. 1873, n° 8).
6. Dr VAN RIJKEVORSEL : *Magnetic Survey of the Netherlands for epoch January 1, 1891* (Nieuw Verhandelingen van het Bataafsch Genootschap der Proefondervindelijke Wijsbegeerte, Rotterdam, 1895).
7. M. DEHALU : *Anomalies de la Déclinaison magnétique aux environs de Liège* (Mémoires de la Soc. Roy. des Sciences de Liège), 3^e Série, T. V, 1903).
8. M. DEHALU : *Sur la Distribution de la Déclinaison magnétique dans le Bassin de Liège* (Congrès international des Mines, etc., Livre II, Liège, pp. 451-453, 1905).
9. M. DEHALU : *Etude sur des influences magnétiques constatées dans les boussoles de mines* (Annales des Mines de Belgique, T. XIV, Bruxelles 1909).
10. Ad. SCHMIDT : *Magnetische Karten von Norddeutschland, für 1909, nach der von Eschenhagen und Edler ausgeführten Landesaufnahme des Königreichs Preussen* (Veröff. des Kgl. Pr. Meteor. Inst., Berlin, 1910, Nr. 217, Band III, Nr. 4)
11. A. HERMANT : *Levé magnétique de la Belgique au 1^{er} janvier 1913* (Ann. de l'Obs. Roy. de Belgique, T. VI, fasc. III, 1920).
12. *Annales de l'Institut de Physique du Globe de Paris* (T. II à VII).
13. M. DEHALU et Mlle MERKEN : *Nouvelle Carte magnétique de la Belgique* (Mém. in 4^o de Cl. des Sc. de l'Ac. Roy. de Belgique, Deuxième Série, T. X, 1931).
14. E. HOGE : *Nouvelle Contribution à la Carte magnétique de la Belgique* (Idem, T. XI, 1934).
15. E. HOGE : *Etude des Anomalies de la Composante verticale du Champ magnétique terrestre dans la région des Hautes Fagnes* (Idem, T. XI, 1935).
16. E. HOGE : *Résultats d'un Levé magnétique détaillé dans la Région de Sourbrodt* (Idem, T. XI, 1937).
17. H. REICH : *Ergebnisse regional magnetischer Forschung in der Eifel* (Zeits. der Deut. Geol. Gesellschaft; Bd. 83, Jhg. 1931, Heft 9).
18. L. KOENIGSFELD : *Observations magnétiques faites à Manhay pendant l'Année Internationale Polaire* (Mém. in 4^o de Cl. des Sc. de l'Ac. Roy. de Belgique, 2^e Série, T. XI, 1935).
19. M. DEHALU : *La prospection géomagnétique à l'aide des nouveaux Magnétomètres La Cour* (Copenhague) (Bull. de l'Inst. Roy. Col. Belge, T. VII, n° 3, 1936).
20. L. KOENIGSFELD et E. HOGE : *Sur la valeur et l'utilisation des nouveaux appareils de Copenhague : le QHM et la BM* (Bull. de Soc. Roy. des Sc. de Liège, n° 2, 1938).
21. E. HOGE : *L'Etude des Anomalies magnétiques en Belgique* (« La Météorologie », 3^e Série, n° 23, sept.-oct. 1939, Paris, pp. 273-276).
22. PH. C. P. HARTMANN : *Aardmagnetische anomalieën in Nederland.* — Thèse, Utrecht 1945.
23. J. VELDKAMP : *A New Magnetic Survey of the Netherlands* (Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity; déc. 1948, pp. 387 à 397).
24. P. DUHOUX : *Etude géomagnétique du Massif de Hourt* (Ann. Soc. Géol. de Belgique, T. LXII, Mém. 107 à 1951, 1938-1939).
25. P. EVRARD et L. KOENIGSFELD : *Levé magnétique du Salmien supérieur manganésifère de la Vallée de la Lienne* (Idem, T. LXVII, Mém. 473-494, 1944).
26. I. DE MAGNÉE et J. RAYNAUD : *Etude de la Tectonique du Cambrien du Brabant à l'Est de Court-Saint-Etienne* (Idem, T. LXVII, Mém. 495-546, 1944).
27. I. DE MAGNÉE : *Géologie et Géophysique.* — *Ciel et Terre*, Bruxelles, LXIII^e Année, Nos 7 à 12, 1947.

28. I. DE MAGNÉE : *Commentaire géologique sur la nouvelle carte gravimétrique de la Belgique* (Bull. de la Soc. belge de Géol., T. LXII, Fasc. 3, 1948, pp. 576 à 588).
29. E. HOGE : *Essai d'interprétation géologique des anomalies magnétiques décelées dans l'Est de la Belgique* (Trans. of Oslo Meeting, 1948, Bull. n° 13, Washington, 1950, pp. 402-403).
30. E. LAHAYE : *Les Perturbations de la Déclinaison magnétique enregistrées à Uccle pendant la période 1939-1943* (Mém. de l'I.R.M., Vol. XXI, 1946).
31. E. LAHAYE : *Le Centre de Physique du Globe à Dourbes* (Mém. de l'I.R.M., Vol. XXXI, 1948).
32. Ch. CHARLIER : *Etude systématique des Tremblements de terre belges récents (1900-1950) : IV^e Partie : La Séismicité de la Belgique*. — Publ. du Serv. Séism. et Gravim. de l'O.R.B., Série S, n° 10, 1951.
33. E. HOGE : *Considérations sur la Distribution du Magnétisme terrestre en Belgique* (Ann. de la Soc. Sc. de Bruxelles, T. LXV, 1, pp. 71-78, Mai 1951).
34. C. GAIBAR-PUERTAS et E. HOGE : *Description et Interprétation provisoire de quelques observations géomagnétiques et géologiques effectuées sur le Massif de Serpont* (Bull. Soc. belge de Géol., T. LX, fasc. 3, 1951, pp. 374 à 397).
35. M. DEHALU : *Le Magnétisme terrestre en Belgique et au Congo Belge* (Mém. in-8° de la Soc. Roy. des Sc. de Liège; 4^e Série, T. XI, Fasc. 6, 1951).
36. J. RAYNAUD : *Contribution magnétique à la connaissance géologique du Massif de la Gette* (Ann. Soc. Géol. de Belg., T. LXXV, pp. B283-291, 1952).
37. J.-M. VAN GILS : *La Séismicité de la Belgique*. — Commentaire de la Planche 10, Atlas National de Belgique, 1956.
38. L. JONES : *Commentaire de la Planche 5 (Pesanteur)*. — Atlas National de Belgique, 1955.
39. L'Institut Royal Météorologique : *Phénomènes géophysiques*, par J. BERTRAND, E. HOGE, J. KOENIGSFELD, E. LAHAYE, P. PIRAUX. — 1954.

INHOUDSOPGAVE.

	Bldz.
I. — Beginselen van het Aardmagnetisme :	
1. <i>Bepaling en voorwerp van het aardmagnetisme</i>	3
2. <i>De Aarde is de zetel van een magnetisch krachtveld</i>	3
3. <i>Theorieën van het aardmagneetveld</i>	3
4. <i>De magnetische componenten</i>	4
5. <i>De magnetische metingen :</i>	
a) <i>De absolute metingen :</i>	
Declinatie	5
Inclinatie	5
Horizontale componenten	5
b) <i>De relatieve metingen :</i>	
1° <i>De magnetische variometers</i>	6
2° <i>De relatieve metingen te velde</i>	7
6. <i>De variaties van het aardmagneetveld :</i>	
6.1. <i>Veranderingen in de tijd</i>	7
6.2. <i>De dagelijkse variatie</i>	7
6.3. <i>De jaarlijkse variatie</i>	8
6.4. <i>De seculaire variatie</i>	8
6.5. <i>De magnetische storingen</i>	8
6.6. <i>De magnetische variaties in de ruimte :</i>	
a) <i>Verandering met de hoogte</i>	8
b) <i>Variatie volgens de geographische ligging</i>	9
7. <i>De magnetische kaarten</i>	9
8. <i>De magnetische wereldkaarten</i>	9
9. <i>De magnetische anomalieën</i>	10
10. <i>Het aardmagnetisch bodemonderzoek</i>	11
II. — De magnetische kaarten van België :	
1. <i>De magnetische metingen in vroeger tijden in België :</i>	
1.1. <i>Eerste onderzoekingen betreffende de distributie van het aardmagnetisme in België</i>	11
1.2. <i>Onderzoekingen tussen 1900 en 1920</i>	12
1.3. <i>De onderzoekingen na 1920</i>	13
2. <i>De magnetische kaarten van de Nationale Atlas van België :</i>	
2.1. <i>De gebruikte documenten</i>	14
2.2. <i>Het reduceren tot één en zelfde datum</i>	15
2.3. <i>Beschrijving van de kaarten :</i>	
a) <i>De declinatiekaart</i>	16
b) <i>De inclinatiekaart</i>	16
c) <i>De H-isodynamenkaart</i>	17
2.4. <i>Het gebruik van de magnetische kaarten</i>	17
2.5. <i>Opmerking</i>	18
3. <i>Vergelijking van de magnetische kaarten met de geologische, de gravimetrische en de seismische kaarten :</i>	
3.1. <i>De magnetische anomalieën en de geologie</i>	18
3.2. <i>De magnetische anomalieën en de gravimetrie</i>	19
3.3. <i>De magnetische anomalieën en de seismologie</i>	19
3.4. <i>Opmerking</i>	19
4. <i>Werken in uitvoering en ontwerpen :</i>	
4.1. <i>Het nieuw magnetische station te Dourbes</i>	19
4.2. <i>De nieuwe magnetische opname van België</i>	19
4.3. <i>Ontwerpen</i>	20
III. — Bibliografie	20