

**HERINTERPRETATIE
VAN AEROMAGNETISCHE GEGEVENS
IN HET BRABANT MASSIEF**

**STUDIE UITGEVOERD
VOOR DE**

**AFDELING NATUURLIJKE RIJKDOMMEN EN ENERGIE
DEPARTEMENT ECONOMIE, WERKGELEGENHEID,
BINNENLANDSE AANGELEGENHEDEN EN LANDBOUW
MINISTERIE VAN DE VLAAMSE GEMEENSCHAP
NORTH PLAZA B - KONING ALBERT II-LAAN 7
1210 BRUSSEL**

AUGUSTUS 2003

INHOUDSTAFEL :

1. INLEIDING
2. ACHTERGROND INFORMATIE
3. ALGEMEEN OVERZICHT VAN AANPAK EN DOELSTELLINGEN
 - 3.1 Gebied
 - 3.2 Aanpak
 - 3.3 Overzicht en doelstelling
4. BESCHRIJVING VAN HET UITGEVOERDE WERK
 - 4.1 Voorbereiding
 - 4.2 Verwerking van de aëromagnetische gegevens : gridding, transformaties en interpretatie
 - 4.3 Lineamenten en textuur
 - 4.4 Diepte schattingen (2D en 3D modelleringen)
 - 4.5 2,5 modellering
 - 4.6 "Prospectivity" analyse
 - 4.7 Opvolging en Rapportering
5. PRODUCTEN VAN DE STUDIE
6. KORTE BESCHOUWINGEN BIJ HET RAPPORT
 - 6.1 Structurele analyse.
 - 6.2 Diepte van de magnetische anomalieën.
 - 6.3 Geofysisch model 2 ½ D
 - 6.4 Mineral prospectivity.
7. AANBEVELINGEN.

BIJLAGEN :

- BIJLAGE 1 : Kleine foutjes of onnauwkeurigheden opgemerkt in het BGS rapport.
- BIJLAGE 2 : JP Williamson, BC Ckacksfield, FM McEvoy, KE Rollin and TC Pharaoh. (2003). Reinterpretation of airborne magnetic data over the Brabant Massif in southern Flanders (Belgium). British Geological Survey, *Commissioned Report*, CR/03/135. 82pp. + 9 maps + 1 CD ROM.

1. INLEIDING

In opdracht van de Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie (ANRE), Departement Economie, Werkgelegenheid, Binnenlandse Aangelegenheden en Landbouw van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap werd een herinterpretatie van de aëromagnetische gegevens over een uitgekozen gebied langs de zuidelijke rand van het Massief van Brabant uitgevoerd. De herinterpretatie kadert in de context van de inspanningen die door het Vlaams Gewest geleverd worden in het zoeken naar metallische mineralisaties in de regio.

De herinterpretatie van de aëromagnetische gegevens werd, onder toezicht en verantwoordelijkheid van GF Consult bvba (GF Consult), uitgevoerd door de Britse Geologische Dienst (BGS) in samenwerking met GF Consult en de Belgische Geologische Dienst (BGD).

De herinterpretatie, met projectcode VLA03-3.1, werd uitgevoerd tussen april en augustus 2003 in volledige overeenstemming met de referentietermen van de opdracht zoals die gedefinieerd werden in het studievoorstel van januari 2003 en zoals die bevat zijn in de overeenkomst van 12 februari 2003 met het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.

In lijn met de referentietermen van de opdracht worden de werkwijze en de resultaten van de studie hierna bondig samengevat in een Nederlandstalig (beschrijvend) gedeelte dat voor gedetailleerde aspecten naar de Engelstalige bijlage (het BGS rapport) refereert. Het rapport is aangevuld en geïllustreerd met de nodige kaarten, figuren en tabellen (zie "producten").

2. ACHTERGROND INFORMATIE

Sedert enkele jaren voert de Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie van het Vlaams Gewest gedetailleerde onderzoeken uit naar het voorkomen van metaalhoudende mineralen in het Massief van Brabant. Het is de bedoeling daarbij na te gaan of deze mineralen lokaal in economisch ontginbare hoeveelheden en concentraties (kunnen) voorkomen. De aandacht van het onderzoek wordt toegespitst op zuidelijk Vlaanderen waar het massief lokaal dagzoomt en/of op geringe diepte voorkomt. Het voorkomen van metallische mineralen (koper, zink, lood, goud), lokaal in significante hoeveelheden, werd er ondertussen aangetoond door boringen. In het kader van dit onderzoek bleek het nu wenselijk om de aëromagnetische gegevens die beschikbaar zijn over het gebied en die door de Belgische Geologische Dienst verworven werden, te herinterpreteren in een metallogenetische context. Aëromagnetische opnamen reflecteren immers de

onderliggende geologie, verschaffen informatie omtrent de structurele context van het onderzochte gebied (o.a. omtrent eventuele structurele “vallen” voor mineralisaties) en zijn geschikt voor het opsporen van plaatselijk verspreide magnetische ertsmassa's.

In 1994-1995 werden door “Geoterrex”, de Australische dochter van de “Compagnie Générale de Géophysique” (“CGG”), boven België en Luxemburg geofysische metingen uitgevoerd van het natuurlijk magnetisme en de natuurlijke radioactiviteit. De opnamen werden gemaakt op een hoogte van 120m boven maaiveld met vluchtlijnen die noord-zuid georiënteerd waren met een interval van 1.000m en “tie-lines”¹ met oost-west oriëntatie op 10km interval. In enkele gebieden waaronder het zuiden van het Massief van Brabant (en het studiegebied), werden de noord-zuid vluchten om de 500m uitgevoerd. De opnamen zijn digitaal, 10 waarnemingen per seconde. De vluchten en de profielen zijn genummerd (95 vluchten in totaal, met gekende datum), sommige profielen bestaan uit verschillende segmenten t.g.v. hun uitvoering gedurende verschillende vluchten. Een referentiemagnetometer opgesteld te Dourbes zorgde voor de opname van de dagelijkse magnetische variatie.

De gegevens werden in een eerste fase door CGG geïnterpreteerd en de resultaten werden op kaart gebracht en op het formaat van wandkaarten afgedrukt met vereenvoudigde topografische achtergrond. De originele digitale gegevens van de natuurlijke radioactiviteit en magnetisme werden door CGG aan de Belgische Geologische Dienst overhandigd en werden respectievelijk in 1998 en 2000 op gebruiksvriendelijke CD-ROMs overgebracht. Hierdoor werd het mogelijk om de gegevens gemakkelijk te manipuleren en te interpreteren in een specifieke context en/of met welbepaalde doeleinden.

Een herinterpretatie van de aëromagnetische data in een metallogenetische context leek wenselijk in het onderzoek naar metaalhoudende mineralen². De eerdere interpretatie door CGG (met gebruik van een “standaard gridding”) is uitstekend voor een algemene presentatie van de gegevens, maar blijkt onvoldoende gericht en gedetailleerd voor een ertsprospectie. Algemeen werd erkend dat de expertise voor zulke, naar ertsprospectie gerichte, interpretatie niet onmiddellijk voorhanden was in België, maar wel in een aantal bedrijven/instituten in de ons omliggende landen. In opdracht van de ANRE werd door GF

¹ : verbindingslijnen tussen verschillende noord-zuid vluchtlijnen die gebruikt worden als interne controle en (vooral) om de vluchtlijnen op elkaar af te stellen en te correleren.

² : Het belang van een gedetailleerde herinterpretatie van de aëromagnetische opnamen van de Zuidrand van het Massief van Brabant in een metallogenetische context werd in de periode 1999-2001 in verscheidene expertiseverlagen en vergaderingen van de stuurgroep “Mineralisaties in het Massief van Brabant” herhaaldelijk onderstreept. Hierbij wordt o.a. verwezen naar de notulen van de vergaderingen van project VLA98-3.8 van 27 maart en 4 juli 2001.

Consult, met medewerking van de BGD, in de periode 2001-2002 naar het meest geschikte bedrijf/instituut gezocht om zulke studie uit te voeren.

3. ALGEMEEN OVERZICHT VAN AANPAK EN DOELSTELLINGEN

3.1 GEBIED

Het bestudeerde gebied ligt in Zuidelijk Vlaanderen, het heeft een rechthoekige vorm en omvat het grootste gedeelte van de (zuidelijke) “ondiepe” rand van het Massief van Brabant. Het strekt zich uit over ca. 3.250km² en is begrensd door de volgende raster- en opnamecoördinaten:

- X : 58 en 146 = ongeveer 88km
- Y : 148 en 185 = ongeveer 37km

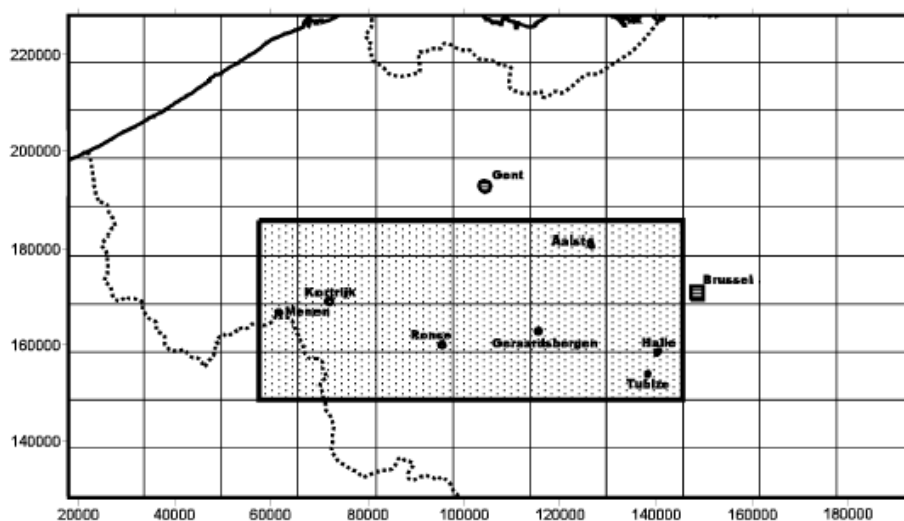


Fig. 1 : vereenvoudigde lokalisatie van het bestudeerde gebied.

3.2 AANPAK

De herinterpretatie van de aëromagnetische gegevens werd, onder toezicht en verantwoordelijkheid van GF Consult bvba, uitgevoerd door de Britse Geologische Dienst in samenwerking met GF Consult en de Belgische Geologische Dienst. In deze structuur was GF Consult verantwoordelijk voor de coördinatie tussen de verschillende intervenanten, voor de uitvoering, opvolging, supervisie en rapportering van het hele project alsook voor de eindproducten die aan de ANRE moesten overhandigd worden.

Het project werd rechtstreeks door Guy Franceschi, zaakvoerder van GF Consult, uitgevoerd en opgevolgd.

De herinterpretatie werd uitgevoerd door de BGS in zijn interpretatiecentrum in Keyworth, Nottingham, Groot-Brittannië, met de medewerking van dr. W. De Vos, van de Belgische Geologische Dienst, en G. Franceschi. De BGS werd als meest geschikte onderaannemer voor de uitvoering geselecteerd na een procedure die op vraag van de ANRE reeds in 2001 werd ingezet³.

De BGS heeft ruime ervaring in de compilatie, analyse en interpretatie van allerlei aardwetenschappelijke gegevens in een metallogenetische context en beschikt over gespecialiseerd personeel en hoogtechnische uitrusting voor de moderne interpretatie van geofysische data, inclusief aëromagnetische gegevens. De BGS levert regelmatig diensten aan derden, zowel uit de publieke (bv. aan de Wereldbank) als uit de privé-sfeer (mijnbouwmaatschappijen). De BGS geologen kennen de grote lijnen van de regionale geologie van het Massief van Brabant en haar geofysische context reeds vrij goed. Uiteindelijk stelde de BGS een pluridisciplinair team ter beschikking van het project dat hoofdzakelijk bestond uit geofysici Mr. J.P. Williamson, BA, MSc., Mr. K.E. Rollin, BSc., en Mr. B.C. Chacksfield, BSc., structureel geoloog dr. T.C. Pharaoh, BSc, PhD. en mineralisatiedeskundige/geochemicus Juf. F.M. McEvoy, BSc, MSc.⁴.

De medewerking van de Belgische Geologische Dienst en meer bepaald van dr. W. De Vos bleek verder van onschatbare waarde voor een goede gang van zaken. Dr. W. De Vos is reeds meer dan 10 jaar betrokken bij het onderzoek naar metallische mineralisaties in het Massief van Brabant. Naast een uitstekende kennis van de geologische en metallogenetische context van het gebied, heeft hij eveneens ruime ervaring met de geofysische kenmerken van het gebied en heeft hij betrokken geofysische luchtopnamen en hun eerste interpretaties van heel dichtbij gevolgd.

Het project heeft verder op de volledige medewerking van de ANRE kunnen rekenen in de uitvoering van de studie. Deze medewerking omvatte toegang tot alle gegevens over het Massief van Brabant in zijn bezit, inclusief (maar niet beperkt tot) de digitale, topografische en geologische kaarten van oppervlakte- en dieptelagen, rapporten i.v.m. mineralisaties in het massief etc.

³ : voor details betreffende de procedure en resultaten van de selectie wordt naar het projectvoorstel van januari 2003 verwezen, als bijlage aan de overeenkomst voor de opdracht (februari 2003) toegevoegd.

⁴ : Details omtrent de BGS kunnen ingekeken worden op www.bgs.ac.uk, voor bondige maar specifieke referenties en CV's m.b.t. het personeel dat in het project betrokken werd wordt naar bijlage 3 van de referentietermen van het project verwezen.

3.3 OVERZICHT EN DOELSTELLING

Het project was rechtstreeks gericht op het zoeken naar indicatoren voor metallische mineralisaties ("metallotecten"). Het heeft daarom gepoogd om :

- alle relevante aëromagnetische anomalieën in kaart te brengen;
- zoveel mogelijk structurele informatie uit de regionale aëromagnetische opnamen te extraheren.
- de structurele gegevens, patronen en anomalieën te rangschikken en te interpreteren naar hun belang en relevantie in een context van metallische mineralisaties.
- een model op te stellen en schattingen te maken omtrent de diepte van de bron van de geïdentificeerde aëromagnetische elementen;
- de resultaten van het werk te interpreteren in verband met potentiële mineralisaties.

4. BESCHRIJVING VAN HET UITGEVOERDE WERK

De studie heeft de volgende, logisch op-elkaar-volgende stappen gevolgd :

4.1 Voorbereiding

Deze fase heeft volgende hoofdpunten omvat :

- het opstellen van de referentietermen voor de studie;
- het onderhandelen en ondertekenen van werkovereenkomsten met de onderaannemers (BGS en BGD);
- de organisatie van de studie;
- de compilatie van alle benodigde materiaal, waaronder :
 - de digitale aëromagnetische gegevens alsook de gravimetrische meetresultaten over het gebied,
 - topografische en geologische kaarten van oppervlakte en dieptelagen,
 - relevante studies, rapporten en nota's i.v.m. mineralisaties in het massief etc.
- de vertaling in het engels (ten behoeve van de onderaannemer) van sleutel materiaal, en

- het doorsturen van alle nodige gegevens.

4.2 Verwerking van de aëromagnetische gegevens : gridding, transformaties en interpretatie

De ruwe aëromagnetische gegevens werden door de BGS verwerkt met behulp van Geosoft Oasis Montaj versie 5.1.6.

Preliminaire kaarten en profielen werden opgemaakt om een eerste kwalitatieve evaluatie van de gegevens toe te laten. Op basis daarvan:

- a) werd beslist om de “tie-lines” niet in de studie te verwerken aangezien ze weinig of geen toegevoegde waarde leveren aan het werk en dikwijls voor ongewenste “storingen” kunnen zorgen.
- b) bleek dat de dataset menige kunstmatige anomalie bevat (artefact). Deze vloeien voort uit het feit dat de gegevens in verschillende fasen (gedurende verschillende vluchten) werden verworven en (vooral) uit het (onvolledige) filteren van menselijke/culturele storingen⁵.

Uiteindelijk werden de gegevens in nieuwe/originele totaal magnetisch veld (“total magnetic field”) rasters (“grids”) verwerkt, verschillend van de standaard-gridding opgesteld door CGG na de opname in 1995 (nml. met verschillende celafmetingen en invloedssfeer). Het totaal magnetisch veld is voorgesteld op kaart 1 van het BGS rapport in bijlage.

Om een vergelijking met de aëromagnetische opnamen van 1963 toe te laten werden de gegevens uit 1963 eveneens in een nieuw grid verwerkt, zij het met bredere celafmetingen en een grotere invloedssfeer.

De 1994 en 1963 “total magnetic field” grids werden dan geconverteerd in een Geosoft standaard rastering en, vandaaruit, in een door de BGS ontwikkeld rastersysteem. Met behulp van software ontwikkeld door de BGS werden dan transformaties, analyses van afgeleiden en inversies van deze rasterdata verder uitgevoerd, nml. :

- reducties naar de pool;
- “upward continuation”;

⁵ : Menselijke/culturele storingen komen uiteraard veelvuldig voor in het sterk geïndustrialiseerde gebied. In een poging om zulke storingen uit de dataset te verwijderen werden de oorspronkelijke aëromagnetische gegevens door CGG manueel gefilterd. Dit is echter niet overal even succesvol kunnen gebeuren, met als resultaat een aantal overblijvende storingen (pieken) maar ook een aantal “abnormaal” homogene profielen na filtering van (misschien teveel en niet enkel menselijke) “storingen”.

- verticale en horizontale afgeleiden; en
- analytisch signaal.

De resultaten van deze transformaties zijn voorgesteld in een aantal bijgevoegde 1:100.000 kaarten (kaarten 2 t/m 6, zie hoofdstuk 5 “Producten van de studie”). Een beschrijving van de principes van de toegepaste transformaties wordt gegeven in appendix 3 : “Potential field grid transformations” in het bijgevoegde BGS rapport.

4.3 Lineamenten en textuur

Aan de hand van de digitaal verbeterde beelden van het magnetisch veld, haar afgeleiden en transformaties werden de lineamenten en de textuur van de kaarten geanalyseerd. Vijf verschillende typen lineamenten werden uiteindelijk onderscheiden op de magnetische kaart (plus een zesde type = “culturele” anomalieën), respectievelijk :

- Piek-lineamenten = magnetische pieken
- Dal-lineamenten magnetische lage waarden,
- Gradiënt-lineamenten,
- Offsets wijzen op een onderbreking in het ruimtelijk patroon van de andere typen,
- Andere lineamenten.

Deze lineamenten (« linears ») laten toe de aard van elk magnetisch kenmerk te karakteriseren. Ze werden zowel de visu als met behulp van gerichte frequentieanalyses op de kaarten bepaald. De gegevens werden vergeleken met gekarteerde structurele elementen.

De resultaten van de analyse zijn weergegeven in figuur 6 en op kaart 9 van het BGS rapport.

4.4 Diepte schattingen (2D en 3D modelleringen)

Bijzondere aandacht werd besteed om de diepte te bepalen (depth solution) van de bronnen/oorzaken van de magnetische afwijkingen. Verschillende methodes werden hiervoor toegepast, zowel op profiel-data als op rastergegevens. Elke methode, steunend op een verschillend en eigen mathematisch model, werpt immers een ander licht op de zaak. Alle methoden zijn complementair voor het totaalbeeld.

Met behulp van de aangepaste semi-automatische GM2D software, ontworpen door de BGS, werden op de profiel-data drie typen van oplossingen gezocht :

- Euler,
- Werner en
- « slope analysis solution »

Aanvullend werden met behulp van de GM3D software, eveneens door BGS ontwikkeld, de drie voornoemde typen oplossingen op de rastergegevens gezocht en werd alsook naar analytisch signaal gezocht.

De verschillende oplossingen zijn voorgesteld in de figuren 9 t/m 19 van het BGS rapport. Het gebied rond Geraardsbergen werd in groter detail bekeken, de Euler 3D oplossing voor het gedetailleerde gebied is weergegeven in figuur 20 van het BGS rapport.

4.5 2½-D modellering

Een 2½-D profiel model werd opgesteld dwars door het gebied bepaald door coördinaten (138000 148000) en (138000 185000). Het profiel steunt op de 1994 CGG magnetische data en op de recentste gravimetrische gegevens. De gravimetrische data langsheen het profiel maken gebruik van een constante Bouguer reductie van 2100kg.m⁻³.

De reeds verwerkte en gecorrigeerde gravimetrische data werden door de BGD in tabelvorm ter beschikking van het project gesteld.

Nota : de gravimetrische gegevens beschikbaar over het studiegebied werden, alsdusdanig (i.e. zonder verdere verwerking) ook in kaartvorm voorgesteld ter illustratie van hun complementariteit met de aëromagnetische data. De Bouguer gravimetrische anomaliekaart is voorgesteld op een 1:100.000 schaal als transparant (kaart 9 van het BGS eindrapport).

4.6 “Prospectivity” analyse

Aan de hand van bovenvermelde analyses en resultaten en in combinatie met terreingegevens die voorhanden zijn over het Massief van Brabant werd getracht om de meest gunstige locaties op te sporen voor het voorkomen van “hydrothermale goudafzettingen⁶” (“prospectivity” analyse) binnen het gebied.

Het model “hydrothermaal goud” werd uit de verscheidene mogelijke types ertsafzettingen die in de metallogenetische context van het massief van Brabant kunnen voorkomen als

⁶ : de term “hydrothermaal” werd hier in zijn breedste vorm gebruikt.

de meest gunstige ervaren (en geselecteerd voor de prospectivity analyse) op basis van vroegere studies m.b.t. mineralisaties in het Massief en op grond van de terreinkennis van dr. W. De Vos en G. Franceschi.

Het opstellen van prospectivity kaarten werd door een medewerker van BGS, met behulp van het gespecialiseerde programma "Arc Spatial Data Modeller" (ARC SDM, een extensie aan de ESRI Arcview GIS toepassing), verwezenlijkt, wat in principe objectiever is en zeker efficiënter dan een meer intuïtieve benadering door de mens

ARC SDM zoekt aan de hand van een aantal instelbare parameters en zoekcriteria automatisch naar de meest gunstige metallotecten. ARC SDM verwerkt in feite het grootste mogelijke aantal voorhanden zijnde gegevens ("lagen") zoals lithologie, structurele context, geofysische kenmerken, geochemische gegevens, boordata etc. op een "logische"⁷ (wiskundige) manier en produceert daaruit een kaart met de meest gunstige locaties (metallotecten) voor de gezochte mineralisaties. Hiervoor moet een bepaald gewicht worden toegekend aan de verschillende soorten gegevens die worden in rekening gebracht (i.e. in feite het relatieve belang van de soorten gegevens t.o.v. elkaar moet bepaald worden), en hiervoor was de bijdrage van dr. W. De Vos en G. Franceschi noodzakelijk (zie verder).

De geproduceerde kaart is dus een enigszins subjectief document, waarin toch ruimtelijk wordt aangegeven hoe de kansen zijn op verdere ontdekking van mineralisaties, gebaseerd op meer objectieve gegevens, in casu :

- De gekende verspreiding van hydrochemische en mineralogische aanrijkingen van goud, zilver, arseen, antimoon, koper, zink en lood ("*hydrochemistry*", "*gold in drill core*", "*mineral occurrences*" zoals besproken in het BGS rapport)
- De vermoede gunstige structuren, met name breuken als voornaamste metallotecten, zowel uit vorige studies als uit de juist uitgevoerde magnetische analyse ("*shear zones/major structures from aeromagnetic lineaments*" uit het BGS rapport)
- De vermoedelijk gunstige invloed van de nabijheid van magmatische gesteenten, zowel gekend uit boringen of ontsluitingen en zoals verondersteld (interpretatie van de gravimetrie) in de diepte ("*Bouguer gravity anomaly*" en "*magmatic rocks*" zoals besproken in het BGS rapport).

Wat uitdrukkelijk niet als gunstige factor werd ingebracht is de lithologie, omdat het hier gehanteerde metallogenetisch model zich baseert op adersystemen die epigenetisch zijn, dus post-sedimentatie, en met relatief verre verplaatsing van fluïda.

⁷ : in casu "Fuzzy logic"

De volledige procedure voor het opstellen van de “prospectivity kaarten” wordt in detail besproken in hoofdstuk 6 “Mineral prospectivity” van het bijgevoegde BGS rapport. In bijlagen 5 en 6 van hetzelfde BGS rapport worden de principes van de gebruikte software en “fuzzy logic” nader toegelicht, terwijl in bijlage 7 enkele algemene kenmerken van goudhoudende afzettingen in turbiditisch en/of sedimentair milieu (slate belt) worden opgesomd.

4.7 Opvolging en Rapportering

Gedurende het hele verloop van het project werden de activiteiten van de BGS opgevolgd en werd de BGS van de nodige steun voorzien door GF Consult en de BGD. Dit gebeurde zowel via telefonisch contact en email als via twee korte zendingen uitgevoerd door dr. Walter De Vos en Guy Franceschi. Tijdens deze zendingen werd de BGS voorzien van de nodige bijkomende documentatie en, vooral, van geologische terreinkennis van de ondergrond, vereist om de geofysische gegevens te helpen interpreteren.

Tijdens de eerste zending (13-15 mei) lag de nadruk op de evaluatie en de bespreking van de basiskaarten die door BGS werden geproduceerd, namelijk het magnetisch veld gereduceerd tot de pool, gebaseerd op een nieuwe gridding, en afgeleide kaarten en profielen, waaronder de lineamenten kaart(en) en 2,5D profielen (zie hierboven).

Tijdens de tweede zending (16 tot 18 juni) lag de nadruk, naast de evaluatie en bespreking van de aangevulde magnetische lineamentenkaarten, de diepteoplossingen en afgeleide structurele kaarten in hun verbeterde versie (i.e. na de commentaar die tevoren geformuleerd was), voornamelijk op het opstellen van prospectivity kaarten.

Gedurende het hele project werd de ANRE via korte nota's (emails) door GF Consult op regelmatige tijdstippen op de hoogte gehouden van de vooruitgang van het werk.

5. PRODUCTEN VAN DE STUDIE

De studie heeft de volgende producten opgeleverd die aan dit rapport zijn toegevoegd :

- Een rapport dat de procedures, interpretatiemethoden en hun resultaten bespreekt. Het rapport omvat 30 figuren.
- Negen kaarten op schaal 1:100.000 :

1. Totaal magnetisch veld anomalieën,
2. Anomalieën gereduceerd aan de pool ("reduced to pole"),
3. 200m residuële anomalie,
4. De horizontale gradiënt van de "reduced to pole" kaart,
5. Tweede verticale afgeleide van de "reduced to pole" kaart,
6. Analytisch signaal van de totaal magnetisch veld anomalieën,
7. Een "prospectivity" kaart,
8. Een transparant met de lokalisatie van de boringen in het gebied en de gravimetrische contouren (Bouguer anomalie),
9. Een transparant met de lokalisatie van de boringen in het gebied en de (structurele) magnetische (hoofd)kenmerken.

Deze producten werden zowel in gedrukt als in numeriek formaat (CD ROM) geproduceerd en worden in vijf exemplaren aan de ANRE overhandigd. Bijgeleverde CD ROM bevat naast bovenvermelde producten eveneens een reeks bijkomende files, met tabellen, kaarten etc. die voor de studie gebruikt en/of gegenereerd werden. Deze kunnen enkel in ArcView gelezen worden.

6. BESCHOUWINGEN BIJ HET RAPPORT

De resultaten van de studie worden uitvoerig beschreven in het bijgevoegde BGS rapport en worden (voornamelijk) duidelijk geïllustreerd in de talrijke figuren uit het rapport, in de negen bijgevoegde kaarten op schaal 1:100.000 en in de bijgeleverde ArcView files. Hierbij volstaat dan ook om enkel de volgende beschouwingen te maken :

6.1 Structurele analyse.

Dit is het meest baanbrekende gedeelte van het werk. De verwerkte kaarten, telkens met zijdelingse belichting (reduced to pole, upward continuation residual, horizontal gradient, second vertical derivative, analytical signal) hebben een goede resolutie en tonen vaak fijne details die nooit eerder waren opgemerkt. Een groot aantal lineamenten wordt er onderscheiden, de vijf (5) typen van gekarteerde lineamenten laten immers toe de aard van elk magnetisch kenmerk te karakteriseren :

- Piek-lineamenten (magnetische "pieken") komen doorgaans overeen met anticlinale assen in de Tubize-formatie., terwijl dal-lineamenten (magnetische lage waarden) meestal overeen komen met synclinale assen in de Tubize-formatie.
- Gradiënt-lineamenten zijn mogelijk breuken in de ondergrond, maar kunnen ook lithologisch bepaald zijn. Opvallende gradiënt-lineamenten kunnen bijvoorbeeld met

- de Asquempont Shear Zone (zoals door Sintubin, 1999, of Debacker, et al. ,2003, gedefinieerd) en de Marcq Shear Zone (Debacker, 1999) gecorrelleerd worden.
- Offsets wijzen op een onderbreking in het ruimtelijk patroon van de andere typen, en kunnen dus belangrijke breuken voorstellen met regionale draagwijdte.
 - Een laatste categorie, bestaande uit vager zichtbare lijnen vooral in het zuidwesten, is moeilijker te interpreteren : elk lineament moet afzonderlijk onderzocht worden om de mogelijke betekenis te achterhalen. Een opvallend WNW-OZO georiënteerd lineament uit deze categorie komt voor in de buurt van Bierghes. Ze kan over ca. 45km lengte vervolgd worden en blijkt overeen te kunnen komen met de eerder beschreven Oudenaarde-Bierghes breuk (André et al. 1985), later vermeld als de Asquempont-Nieuwpoort breuk (De Vos et al. 1993)

De gedetailleerde lineamentenanalyse is beter geslaagd voor het noordoostelijk deel van het studiegebied, waar de magnetische Tubize-formatie een prominente rol speelt. Dit is inherent aan de ruimtelijke verdeling van de lithologieën. Op grond van de magnetische piek- en dal-lineamenten konden daar enkele grotere structurele discontinuïteiten geïdentificeerd worden in de Tubize-formatie en konden de grootteorde van hun respectievelijke verplaatsingen ingeschat worden. In het algemeen komt het structureel patroon dat voor dit gebied bekomen wordt vrij goed overeen met de eerdere gepubliceerde kaart van W. De Vos et al. (1993).

Buiten de Tubize Groep wordt de structurele interpretatie complexer, voornamelijk door het zwakker magnetisch karakter van de sokkelformaties. Desondanks treden een aantal lineamenten toch nog sterk naar voor en worden een aantal nieuwe elementen opgemerkt. Het is mogelijk dat in het zuidwestelijk deel van het studiegebied evenveel (als in de Tubize-Groep) zou kunne&n afgeleid worden van een gelijkaardige analyse van de gravimetrie.

Het is verder merkwaardig dat de trend van de lineamenten uit de herinterpretatie van de aëromagnetische data (licht) verschilt van deze die eerder door W.De Vos et al. (1993), Mansy et al. (1999) en Sintubin (1999) werd uitgewerkt.

6.2 Diepte van de magnetische anomalieën.

Dit is een grondige analyse van de « depth to source » van de scherpste magnetische gradiënten, berekend met drie verschillende methoden, en zowel op profielen (2 dimensies) als in de ruimte (3 dimensies).

De “depth solutions” kunnen, vereenvoudigd, in twee grote groepen worden onderverdeeld : de eerste omvat eerder verspreide anomalieën die duidelijk als ondiep

gekenmerkt worden en dicht bij de (gekende) top van de sokkel blijken te liggen, in overeenstemming met de resultaten bekomen uit boringen. De tweede groep komt dieper voor (rond de 1,5km) en bakent mogelijks de rand van de veronderstelde grotere magmatische lichamen af. Maar er komen ook veel verspreide lokale anomalieën voor op diverse dieptes, die moeilijker te interpreteren zijn.

In de streek van Geraardsbergen, waar magnetische intrusieve gesteenten gedocumenteerd zijn, die zichtbaar zijn op de magnetische kaarten, kan een relatieve inschatting van de diepte van deze gesteenten worden gemaakt.

Wat slechts zelden mogelijk is, is het bepalen van duidelijke breuken met enige ruimtelijke continuïteit. Mogelijke uitzonderingen zijn het NW-georiënteerde Asquempont lineament, en een breuk langs de Dender, beide zichtbaar op de kaart 3D Werner deconvolution. In een verdere interpretatieve fase zal door geologen met kennis van het Massief van Brabant dieper moeten ingegaan worden op de significantie van alle geleverde kaarten, teneinde lokaal te onderzoeken in hoeverre sommige lijnstukken op sommige diepten als breuken kunnen begrepen worden. Met name voor verdere prospectie op lokale schaal dienen alle kaartjes grondig onderzocht te worden.

6.3 Geofysisch 2½-D model

De interpretatie van de negatieve Bouguer-anomalieën als granitoïde intrusies blijft de meest aannemelijke verklaring, vooral door de verticaliteit van de lichtere lichamen, maar ook door het grote contrast in densiteit. De noordelijke en zuidelijke begrenzingen van de intrusie werden ook in dit model zeer steil ingetekend, vooral aan de zuidkant, om het gravimetrisch profiel (de steile gradiënten) te kunnen verklaren.

Anderzijds is het meest merkwaardige nieuwe gegeven in dit model dat het niet nodig is ten noorden van het granitoïde lichaam te veronderstellen dat de hele bovenste korst bestaat uit magnetische gesteenten, een veronderstelling die door Everaerts et al. (1996) wel gemaakt werd. Hieruit kunnen we besluiten dat de magnetische anomalie die de ruggengraat vormt van het Massief van Brabant noodzakelijkerwijze ondiep is, met al of niet een diepere component, die slechts een zwakke bijdrage levert tot het waargenomen magnetisch veld ; de voortzetting in de diepte van de magnetische Tubize-formatie kan dus niet ondubbelzinnig aangetoond worden. Bijgevolg neemt dit een constraint weg voor de interpretatie van diepe profielen door het Massief van Brabant. Of de Tubize-formatie diepe wortels heeft in de kern van het Massief van Brabant is nu een open vraag. Wel staat vast dat de formatie van Tubize een relatieve verdikking kent in de kern van het Massief van Brabant (enkele km), die volstaat om de uitgesproken anomalie te verklaren.

Concreet betekent dit ook dat het niet bewezen is dat er een reusachtige overschuiving zou zijn van de magnetische Tubize-formatie zuidwaarts over de granitoïden ; anderzijds is ook het tegendeel niet bewezen. Alle tektonische interpretaties zijn in dit verband mogelijk, en hun waarheidsgehalte zal op een andere manier dan met geofysische modellen moeten worden geverifieerd.

6.4 Mineral prospectivity.

De prospectivity kaart resulteert in het uitlijnen van een aantal “anomale” (i.e. prospectieve) gebieden die duidelijk structureel gecontroleerd worden, een typisch kenmerk van hydro/mesothermale goudafzettingen. De prospectieve gebieden blijken geconcentreerd in de noordwestelijke en zuidoostelijke kwadranten van het gebied. Minder aantrekkelijke gebieden liggen in het centrale gedeelte van het studiegebied en over de formaties van de Tubize Groep in het noordoosten. Hoogprospectieve gebieden (>0.758 “fuzzy logic”waarde) komen voor op de intersecties van NW en ZO georiënteerde structuren.

De verdienste van de prospectivity kaart is dat ze voor het eerst een hiërarchie bepaalt van gebieden die aanbevolen worden voor verder gedetailleerd onderzoek, ook al zijn de gebieden nog tamelijk uitgestrekt. Toch moet de kaart met de nodige voorzichtigheid behandeld worden, omdat het gaat om een inschatting van kansen, aan de hand van « fuzzy logic » waar in elke stap van de redenering gepoogd wordt een schatting om te zetten in cijfers. De natuur heeft grillen die onmogelijk kunnen voorzien worden in een dergelijke logische benadering.

Een tweede reden voor voorzichtigheid is dat in grote gebieden feitelijk geen zinvolle gegevens bestaan, dus kon er ook niets ingebracht worden in de ruimtelijke analyse, en daardoor worden deze gebieden mogelijk ondergewaardeerd op de kaart.

Verder dient hier vermeld te worden dat alhoewel een algemeen « hydrothermaal goud » model werd voorgesteld als werkhypothese, zonder expliciete verwijzing naar Sint-Pieters-Kapelle, deze mineralisatie door BGS toch als referentie wordt gebruikt. De voorgeschiedenis van Sint-Pieters-Kapelle zoals beschreven in het BGS rapport is foutief, en verwijst niet naar de Afmag die door M. Sterpin werd gebruikt als eerste exploratiemethode. Ook verschillende karakteristieken van Sint-Pieters-Kapelle worden in tabel 6 van het BGS rapport niet helemaal correct weergegeven⁸. Anderzijds doen deze aspecten weinig of geen afbreuk aan de algemene kwaliteit van de kaart.

⁸ : Voorbeeld : « local structure low-angle reverse shear zone postulated to converge at depth with major shear zone » wordt niet meer aanvaard door onderzoekers.

7. AANBEVELINGEN

Tenslotte kunnen, op basis van resultaten van de studie, de volgende aanbevelingen voor verder werk opgesomd worden, in lijn met de aanbevelingen uit het BGS rapport

- a. De gravimetrische gegevens zouden moeten geanalyseerd worden op dezelfde manier als de aëromagnetische. Tijdens de studie werden de gravimetrische gegevens (enkel) gebruikt voor het opmaken van een 2½-D profiel, en daaruit bleek dat een gedetailleerde analyse van de gravimetrische data een grote toegevoegde waarde kan leveren aan de aëromagnetische interpretatie. De gravimetrische en aëromagnetische datasets zijn in menig opzicht immers complementair en laten vooral gezamenlijk toe om een totaalbeeld van de structurele context van de regio te vormen.

Een interpretatie van de gravimetrische gegevens houdt het volgende in :

- analyse van gravimetrische lineamenten,
- analyse van « depth to source » met dezelfde 2D en 3D methoden als aëromagnetisme, zowel slope analyse, als Euler en Werner deconvolution,
- een vergelijking van aëromagnetische en gravimetrische resultaten, en een structurele synthese-kaart voor deze « diepe geofysica » of « potential field data ».

Voor een goede interpretatie dienen de gravimetrische gegevens ruim rond het studiegebied mede geanalyseerd te worden (cfr. het voorbeeld van de depth to source analyse van het magnetisme).

Er dient hier verder opgemerkt te worden dat :

- i. De resultaten van de analyse een verfijning van de prospectivitykaart zouden toelaten, wat aanbevolen lijkt vooraleer verder onderzoek en (grond)werken te verrichten op geselecteerde gebieden.
 - ii. Dat een studie van de gravimetrische gegevens eveneens meer informatie omtrent de vermeende granitoïde lichamen zou verschaffen, nml. omtrent hun contouren en dieptes.
-
- b. Gedetailleerd geofysisch werk en boringen zouden, logischerwijze, over een aantal doelen, geïdentificeerd aan de hand van geofysische interpretatie kaarten en mineral prospectivity analyse, moeten uitgevoerd worden. De BGS

somt gedetailleerde grondmagnetische en gravimetrische metingen, alsook elektromagnetische studies op.

Deze aanpak werd in feite in loop van jaren '90 reeds gestart door het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap in geselecteerde gebieden (Waregem, Harelbeke, Vichte, Oostrozebeke, Geraardsbergen, Bever, Sint-Pieters-Kapelle). Het weze opgemerkt dat deze alle liggen in interessante zones die ook op de huidige prospectivity kaart voorkomen – in het geval van Oostrozebeke, Geraardsbergen, Bever en Sint-Pieters-Kapelle kwamen door het onderzoek van de jaren '90 nieuwe gunstige indicatoren aan het licht.

In functie van de nieuwe prospectivity kaart kunnen nu echter nieuwe locaties geselecteerd worden voor gerichte prospectie. Hiervoor is een ruime keuze te zien op de kaart, misschien zelfs te ruim, wat het belang van een analyse van gravimetrische gegevens verder onderlijnt. Een combinatie van aëromagnetische en gravimetrische interpretaties laat immers misschien toe om het aantal doelen te reduceren.

- c. Ter vervollediging kan hier nog aan toegevoegd worden dat aanbeveling 3 van het BGS rapport handelt over 3D modellen van het gebied. Deze zijn misschien academisch interessant, maar de grote lijnen hiervan zijn in feite al gekend. Verdere modellen op die schaal leveren geen concrete bijdrage tot de prospectie van mogelijke ertsafzettingen.

BIJLAGE 1 : Kleine foutjes of onnauwkeurigheden opgemerkt in het BGS rapport :

- pagina 1 De Vos et al. (1993) published a revised *Tertiary* subcrop map ... moet zijn : a *Cretaceous* subcrop map.
- Pagina 2 onderaan. Sintubin (1999) ... lineaments are predominantly *NE-SW* in orientation... moet zijn : predominantly *NW-SE*
- figuren 3 en 4 : adjacent lines separated by 250 m. flight lines spacing of 250 m... moet zijn : separated by 500 m.
- p.7 and p.8, the numbering system of linears used in the description does not appear on the map (either on figure 6 in the text or in map 9 of the maps file).
- p. 11 datafiltering werd uitgevoerd op testlijn FL 1781 volgens de figuren 10, 11 and 12, en NIET op lijn FL 1111 zoals in de tekst vermeld wordt.
- p.18 Pb vertoont verhoogde concentraties rond Tubize-Oisquercq, maar Zn niet. Zn-waarden liggen hoger rond Geraardsbergen en Sint-Pieters-Kapelle, dus meer naar het westen toe .

- Referenties :

een aantal (uittreksels van) rapporten/documenten et al. die aan de BGS werden overgemaakt en expliciet gebruikt werden tijdens de studie (o.a. voor de prospectivity kaart) zijn niet in het BGS rapport vermeld. Het betreft o.a.

- DANDOIS, PH. (1997). Etude de Minéralisations dans le Massif du Brabant. Rapport final, projet NAT/94-2.1, Université de Liège. Onuitgegeven rapport opgesteld voor de Belgische Geologische Dienst, Brussel.
- DE VOS, W. (1999). Paleozoïcum, kaartblad 21, Tielt. in Patric Jacobs, Marleen De Ceukelaire, William De Breuck & Guy De Moor (1999). Toelichtingen bij de geologische kaart van België. Vlaams Gewest. p. 33-35, 1 fig. Eindredactie Geert De Geyter, Brussel, 60pp.
- DE VOS, W. 2002. Paleozoïcum, kaartblad 4-5-11-12, Blankenberge-Westkapelle-Oostduinkerke-Oostende. in Patric Jacobs, Marleen De Ceukelaire, Geert Moerkerke en Tim Polfliet (2002). Toelichtingen bij de geologische kaart van België. Vlaams Gewest. p. 52-55 , 1 fig. Eindredactie Geert De Geyter, Brussel, 72pp.
- DE VOS, W., DUSAR, M. 2001. Paleozoïcum, kaartblad 27-28-36, Proven-IEPER-Ploegsteert. in Patric Jacobs, Marleen De Ceukelaire, Erwin Sevens (2001). Toelichtingen bij de geologische kaart van België. Vlaams Gewest. p. 44-48, 1 fig., Eindredactie Geert De Geyter, Brussel, 72pp.
- DE VOS, W. 1999. Paleozoïcum, kaartblad 30, Geraardsbergen. in Patric Jacobs, Vera Van Lancker, Marleen De Ceukelaire, William De Breuck & Guy De Moor (1999). Toelichtingen bij de geologische kaart van België. Vlaams Gewest. p. 34-38, 2 fig., Eindredactie Geert De Geyter, 61pp.

- DE VOS, W. 1999. Onder-Paleozoïcum, kaartblad 29, Kortrijk. *in* Patric Jacobs, Marleen De Ceukelaire, William De Breuck & Guy De Moor (1999). Toelichtingen bij de geologische kaart van België. Vlaams Gewest. p. 38-42, 1 fig., Eindredactie Geert De Geyter, Brussel, 68pp.
- DE VOS, W. 2002. Paleozoïcum, kaartblad 19-20, Veurne-Roeselare. *in* Patric Jacobs, Marleen De Ceukelaire, (2002). Toelichtingen bij de geologische kaart van België. Vlaams Gewest. p. 37-40, 1 fig., Eindredactie Geert De Geyter, Brussel, 58pp.
- FRANCESCHI, G. (1999). Studie van het potentieel aan metallische mineralisaties in het massief van Brabant. Studie uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, in het kader van "Aanvullende studies voor ertsprospectie in het Massief van Brabant", Project nr. VLA98-3.8 Onuitgegeven rapport, GF/EUR1099a.
- FRANCESCHI, G. (1999). Economisch-geologische studie van de mineralisaties in de boorkernen van boring 114E100 (B8) van het Massief van Brabant Studie uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, in het kader van "Aanvullende studies voor ertsprospectie in het Massief van Brabant", Project nr. VLA98-3.8 Onuitgegeven rapport, GF/EUR1099b.
- FRANCESCHI, G. (2000). Korte economisch-geologische studie van boring 114E102 van het Massief van Brabant. Studie uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, in het kader van "Aanvullende studies voor ertsprospectie in het Massief van Brabant", Project nr. VLA98-3.8 Onuitgegeven rapport, GF/EUR1200-b.