

**DE OOSTRAND VAN HET MASSIEF VAN
BRABANT, MET BESCHRIJVING VAN DE
GEOLOGISCHE VERKENNINGSBORING
TE MARTENSLINDE**

Kaartblad Bilzen 93W 560

door

M. Duser¹ & V. Langenaeker²

¹Belgische Geologische Dienst, Jennerstraat 13 - 1040 Brussel

²K.U.Leuven Historische Geologie, Redingenstraat 16b - 3000 Leuven

Samenvatting

Enkele oudere verkenningsboringen en recent geofysisch onderzoek in het oostelijk deel van het Massief van Brabant, gelegen in het zuidoosten van de Belgische provincie Limburg, laten toe de structurele relatie tussen het Massief van Brabant en het Kempens Bekken te preciseren. Het oostelijk segment van het Massief van Brabant wordt begrensd door een systeem van transversaal breuken, bekend als het Lineament van Donderslag en de Faille bordière. De opwelling van Visé - Puth in het zuiden van Nederlands Limburg zou de voortzetting zijn van deze Faille bordière, oorspronkelijk beschreven door Legrand. Het verband tussen de Demerbreuken, die vastgesteld zijn in het Tertiair, en het variscisch breuksysteem van de Kempen kon aangetoond worden. De geologische kartering van het Massief van Brabant in het gebied van Bilzen kan niet weerhouden worden. De magnetische anomalie van Bilzen heeft een complexe oorsprong, waarvoor de beste vergelijkingspunten liggen in het gebied van Krefeld - Erkelenz ten noorden van de Slenk van Roermond.

Summary

Two older geological reconnaissance boreholes and recent geophysical investigations in northeast Belgium, located on the eastern part of the Brabant Massif contribute to a further precision of the structural relationship between the Brabant Massif and the Campine Basin. Two transversal faults known as the Donderslag Lineament and the Faille bordière form the boundaries of the eastern block of the Brabant Massif, hence described as the Bilzen block. The Visé - Puth uplift in the southeastern part of the Netherlands is considered as the continuation of the Faille bordière, originally described by Legrand. The relationship between the Tertiary Demer Faults and the variscan fault system of the Campine can be demonstrated. Nevertheless the geological hypotheses inferred for constructing the existing geological map of the Brabant Massif in the studied area are no longer valid. The Bilzen magnetic anomaly probably has a complex origin and should be compared to structures in the Krefeld - Erkelenz region to the north of the Rur Valley Graben.

Key words

Brabant Massif, Campine, geophysical interpretation, transversal faults

1. INLEIDING

De geologische verkenningsboring Martenslinde werd reeds 25 jaar geleden uitgevoerd voor rekening van de Belgische Geologische Dienst. De resultaten van deze boring, die beschreven werd door Gulinck en Legrand, werden vooralsnog niet openbaar gemaakt. Het onderzoek, dat door deze boring moest worden ondersteund - grondcontrole van de aeromagnetische anomalie van Bilzen en van de breuken van Bilzen - is terug in de actualiteit gekomen door de hernieuwde belangstelling voor het Massief van Brabant en de herinterpretatie van de aeromagnetische kaart (De Vos et al, 1992). Deze studie, die gestimuleerd werd door recente seismische opnames, uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken en van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Bestuur Natuurlijke Rijkdommen en Energie, wil dan ook een bijdrage zijn tot de valorisatie van de boringen te Hoeselt en te Martenslinde, en tevens een nieuw licht werpen op enkele structurele kenmerken van het Massief van Brabant in zijn relatie met de omgevende geologische structuren (Fig.1).

Boring Martenslinde, vaste gegevens

Boring 134 van het Kempens Bekken
Kaartblad Bilzen 34/1; Archiefnummer 93W 560 (VIc)

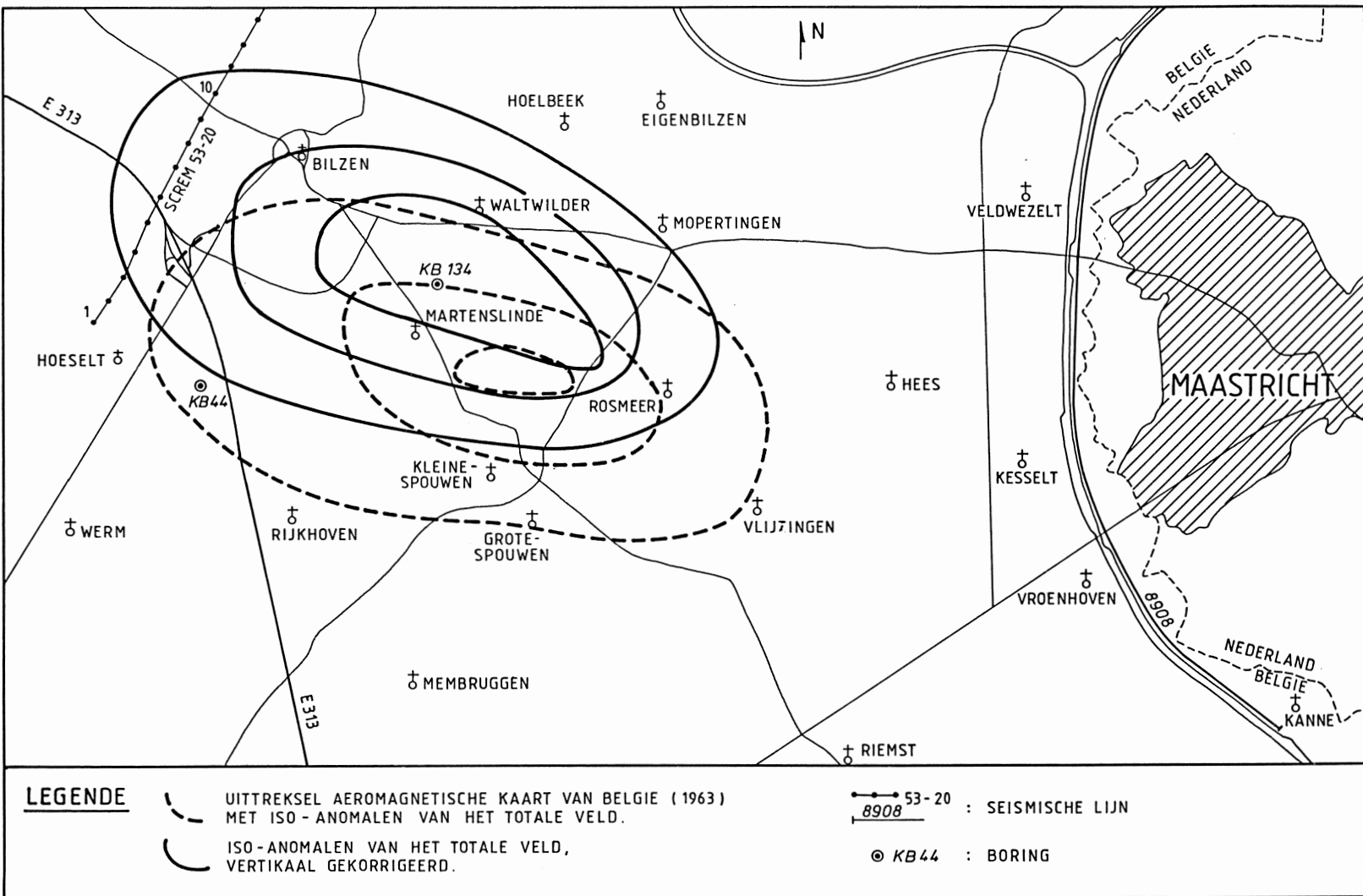


Fig. 1: Lokalisatie der boringen ten opzichte van magnetische anomalie en seismische profiellijnen 1953-20 en 8908

Coördinaten Lambert 72: X 232.351; Y 172.540
Alt. 71 m
Einddiepte 300.70 m (-229 m)
Opdrachtgever Belgische Geologische Dienst
Boorfirma Smet (Dessel), in 1967-68.

Boring Hoeselt - Broek, vaste gegevens

Boring 44 van het Kempens Bekken
Kaartblad Bilzen 34/1; Archiefnummer 93W 24 (VIII)

Coördinaten Lambert 72: X 229.704; Y 171.425
Alt. 56 m (58 m? naargelang de informatiebron)
Einddiepte 220 m (- 164 m)

Opdrachtgever Société anonyme de Recherches et d'Exploitation houillère du Nord de la Belgique, à Liège
Boorfirma Lefèvre frères (Quiévrechain), in 1902

2. TECHNISCH BOORVERSLAG

1. Boring Martenslinde

1.1. Ligging

De boring Martenslinde werd opgevat als een geologische verkenningboring, uitgevoerd om de volgende redenen:

- kernhaal in de paleozoïsche sokkel, naar aanleiding van de sterke aeromagnetische anomalie van Bilzen, die in dit gebied zijn vertikaal culminatiepunt bereikt volgens de aeromagnetische kaart herleid tot de polen
- aanvullende verkenning van de bovenliggende formaties, naar aanleiding van de vermoedelijke aanwezigheid van de breuken van Mopertingen en Hees als oostelijke voortzetting van de breuk van Bilzen
- toezicht op de waterlaag in het Maastrichts tufkrijt tussen het intrekgebied in het zuiden en de diepere winningen in het noorden.

Zij werd uitgevoerd door de firma Smet DB voor rekening van de Belgische Geologische Dienst in het Broek van Martenslinde, in het dal van de Winterbeek, tussen de dorpskernen van Waltwilder, Amelsdorp en Martenslinde zelf.

1.2. Boorprogramma

De boring Martenslinde werd uitgevoerd in de periode maart - september 1967. Het afwerkingsschema van de boorput is geïllustreerd in fig.2. Er werd gewerkt in een dagpost.

Een stalen buis in buitendiameter 208 mm en binnendiameter 200 mm werd tot 13 m afgediept in het Tongeriaan zand en aan de voet gecementeerd. Een volgende fase werd geboord in diameter 180 mm en geruimd tot 195 mm tot op een diepte van 44.50 m in het krijt. Een stalen buis met buitendiameter 168 mm en binnendiameter 159 mm werd tot deze diepte ingebouwd en volledig gecementeerd. Deze buis werd afgesloten met een flens van 6 duim op 30 cm boven het maaiveld.

Vervolgens werd gekernd in diameter 96 mm met kernbuislengte 3 m (een volle kernbuis werd overigens slechts gehaald in de meer homogene krijt en mergel pakketten; vooral in het Paleozoïcum liep de vooruitgang dermate terug, tot minder dan 10 cm per uur, dat een normale kernlengte soms in niet minder dan 5 keer moest worden opgehaald). De dagelijkse kernlengte kon oplopen tot bijna 30 m, maar lag meestal rond 3 m in het Paleozoïcum. Herhaalde stangenbreuken kwamen voor bij het doorboren van de Paleozoïcum lagen. In silixrijke en kwartsietische passages (intervallen 106.47 m - 150.18 m, 217.74 m - 250.16 m) liep de boorvoortgang erg terug en werd overgeschakeld op de rollerbit in diameter 98 mm. Bij gelegenheid werd voor kortere afstanden opnieuw overgeschakeld op kernen, echter zonder veel recuperatie.

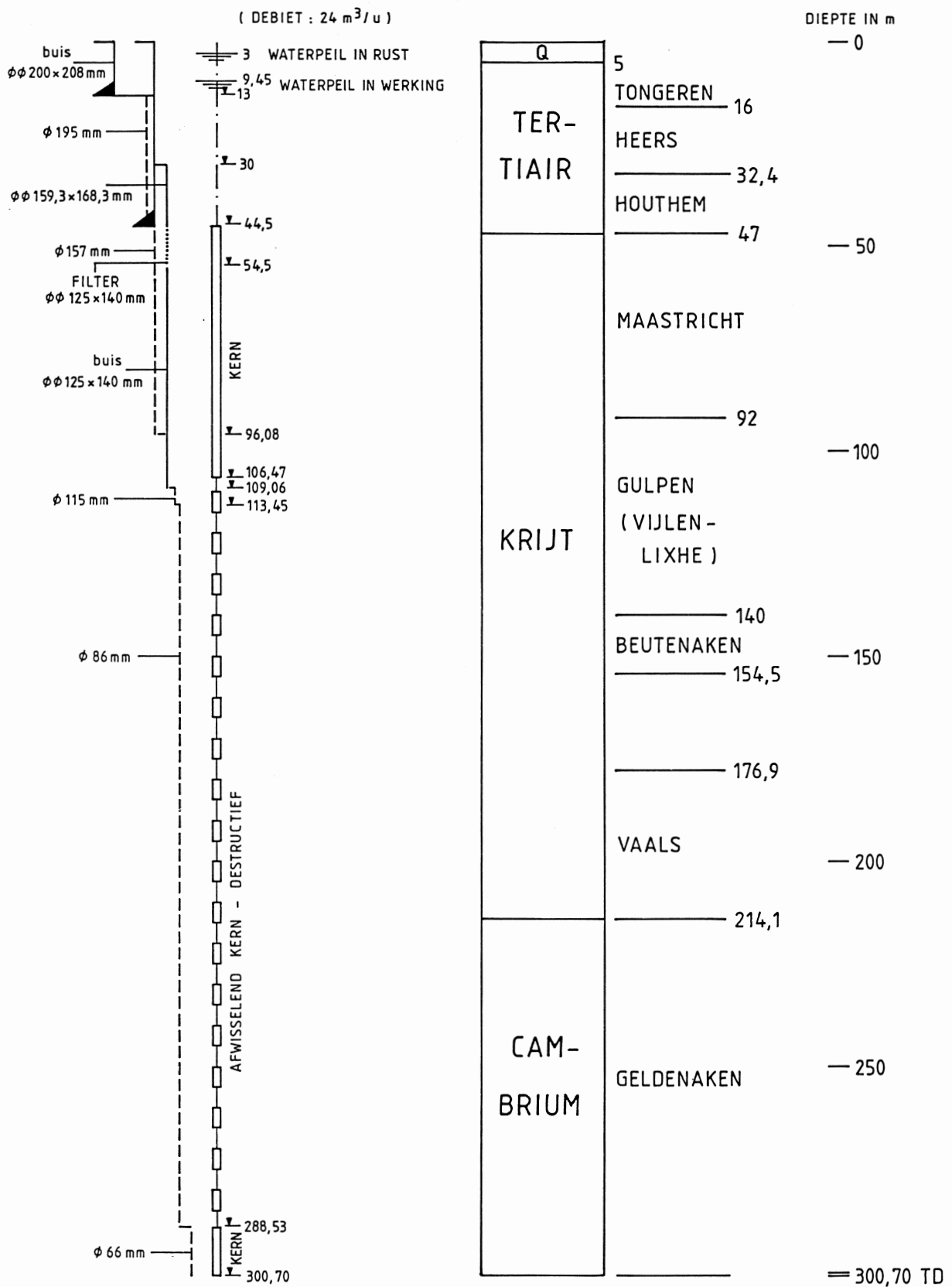
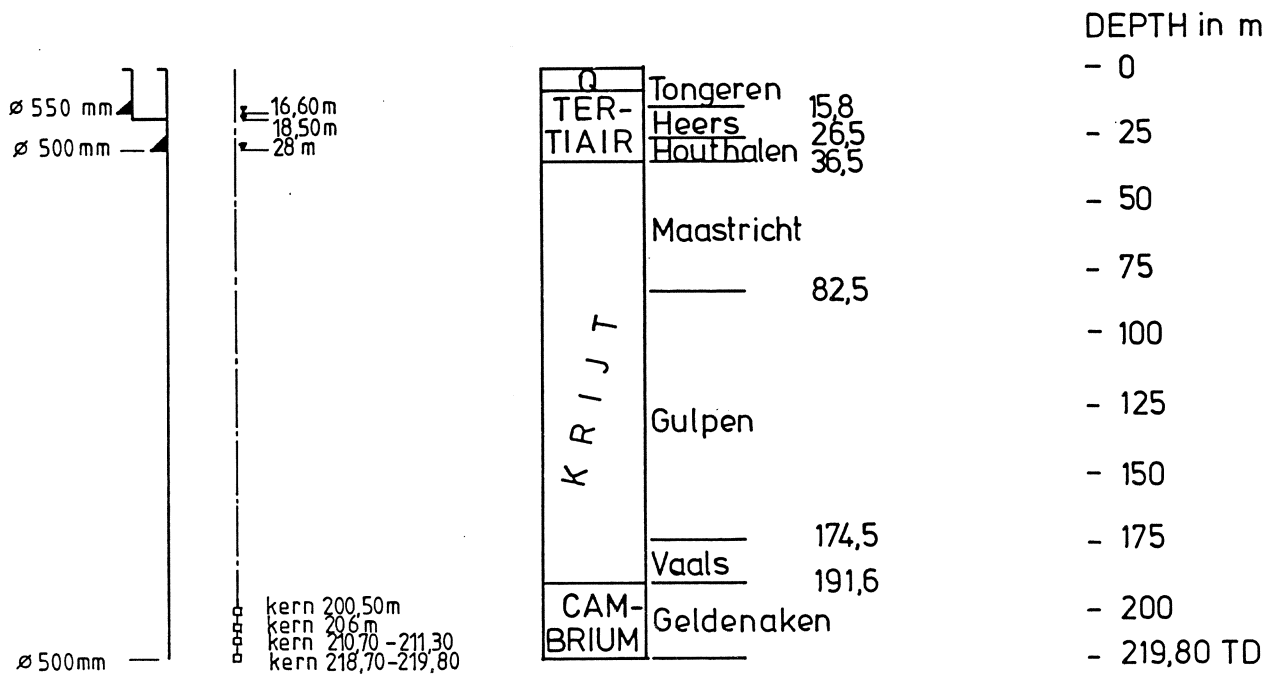


Fig. 2: KB 134 Technisch boorschema

KB 44 TECHNISCH BOORSHEMA



KB44-DAGELIJKSE BOORVOORUITGANG

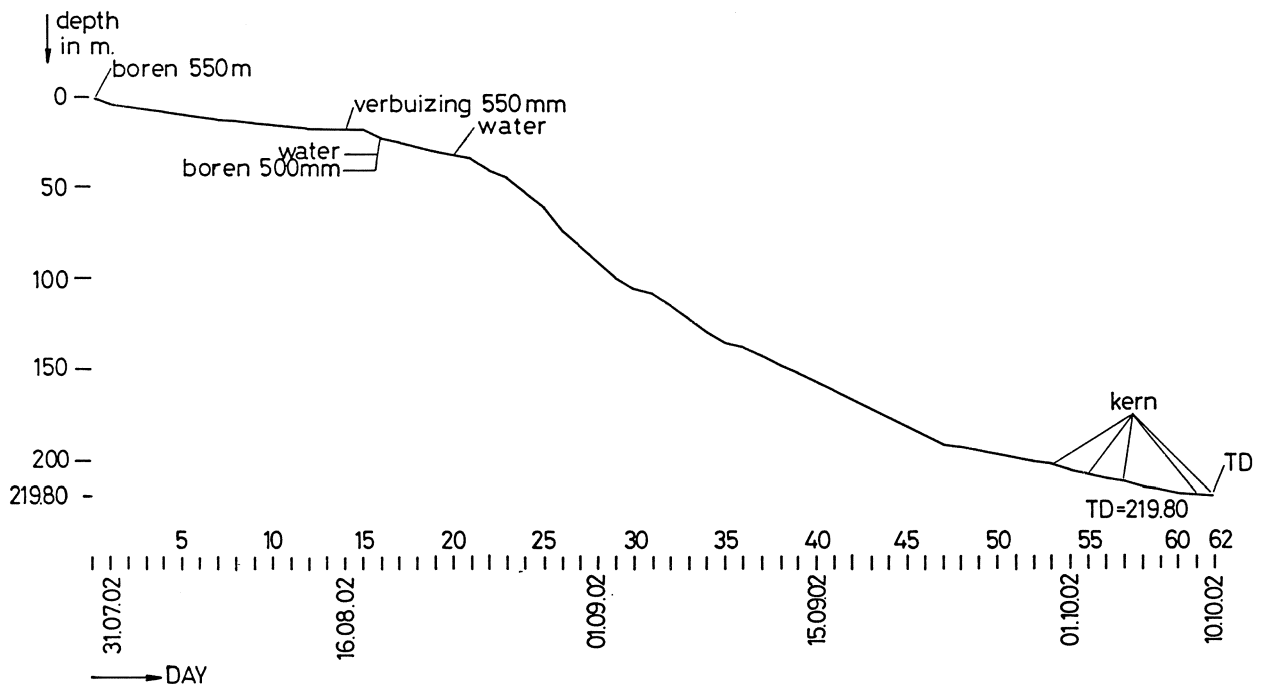


Fig. 3: KB 44 Dagelijkse boorvoortgang en technisch boorschema

Vanaf een diepte van 288.53 m tot op einddiepte van 300.70 m werd verder gekernd in diameter 66 mm.

1.3. Afwerking van de boorput

De boorput werd ingericht als filterput in het krijt. Vooreerst werd het boorgat geruimd tot 115 mm vanaf de voet van de geleidingsbuis tot op een diepte van 113.45 m. Dan werd binnen de geleidingsbuis van 168 mm een stalen buis met buitendiameter 140 mm en binnendiameter 125 mm afgelaten van 30 m tot 109.06 m. Onder de voet van de geleidingsbuis, van 44.50 m tot 54.50 m bevatte deze een stalen filter. Onder het filtersegment, dat dus een lengte van 10 m bereikt, werd de put terug aangevuld met zand.

Het waterpeil in rust stond op 3.00 m; het waterpeil in werking op 9.45 m bij een debiet van 24 m³/h.

2. Boring Hoeselt - Broek

2.1. Ligging

De boring werd ingeplant op basis van een rapport, opgesteld door A.Habets, M.Lohest en H.Forir, aanvaard door de Raad van Bestuur van de Société campinoise op 10.6.1902. Een boorterrein van 42 are groot was gelegen langs de verharde weg Hoeselt - Rijkhoven, op 400 m afstand van het station van Hoeselt, waar deze weg de Demer kruiste.

2.2. Boorprogramma

De effectieve boorwerkzaamheden starten op 31.7.1902. Een buis van 550 mm werd moeizaam ingeboord doorheen de watervoerende Tongeriaanzanden. Bij het bereiken van de Mergel van Gelinden zakte deze buis niet verder, en werd dan ook gecementeerd met voet op 16.60 m. Een diepte van 18.50 m werd op 13 dagen effectieve boortijd bereikt (14.8.1902), volgens het slagboring procédé dat, weliswaar financieel voordelig, reeds in die tijd als verouderd werd beschouwd.

De boring werd op 18.8.1902 vanaf 18.50 m voortgezet met een buis van 500 mm. Op 5 dagen tijd werd een diepte van 32.50 m bereikt. Artesisch water uit het krijt welde op bij het bereiken van een diepte van 22.40 m en van 30.60 m (een artesische put, gelegen 400 m ten zuiden van de boorplaats, zou opgedroogd zijn bij het bereiken van deze laatste diepte). Nadien kende de boring een regelmatigere vooruitgang die 5 m per dag bereikte in het krijt (159 m op 27 dagen). De boorbuis van 500 mm diende niet mee te zakken en bleef staan op 28 m. Dagelijkse boorvooruitgangen tot 13 m werden gerealiseerd. Harde silexbanken hadden evenwel tot gevolg dat de beetel regelmatig vervangen moest worden, en hebben mogelijk ook geleid tot stangenbreuk op 75 m.

De top van het Cambrium werd op 24.9.1902 bereikt op een diepte van 191.60 m. De dagelijkse boorvooruitgang viel terug tot 2 m (28 m op 15 dagen). Verschillende kernen werden genomen op 200 en 206 m (geen gegevens over recuperatie), op 210.70 m (kernopbrengst 10 cm op 60 cm geboord), op 218.70 m (kernopbrengst 25 cm op 50 cm geboord), op 219.20 m (kernopbrengst 30 cm op 60 cm geboord) met 20 cm diameter, tegen een gemiddelde regietijd van 15 1/2 hr. De boring werd op 10.10.1902 beëindigd op een diepte van 219.80 m (220.05 m na verificatie van de boorstangen)- (Fig.3).

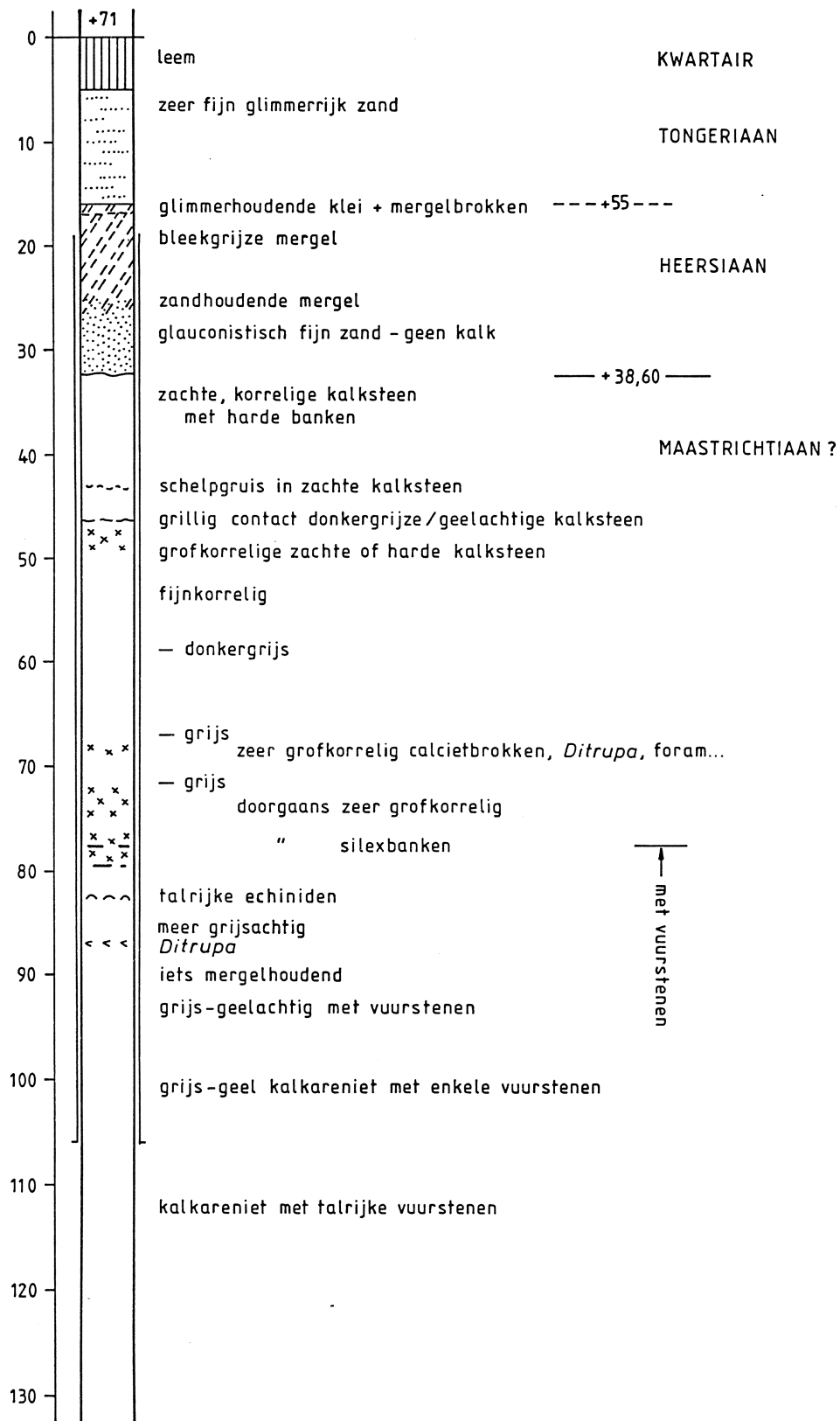
3. STRATIGRAFIE

1. De boring Martenslinde

De boring Martenslinde werd in 1967 beschreven door R. Legrand en M. Gulinck. Hun beschrijving wordt hieronder hernomen (Fig.4a,b).

Aard der grondlagen**Diepte**

onzuivere leem	5,00
zeer fijn geel glimmerrijk zand	7,00
zelfde zand, kalkrijk	8,00
zeer fijn grijsgroen glimmerrijk zand	10,00
zelfde zand, licht kalkhoudend	15,00
donkergrijze glimmerhoudende klei	16,00
bleekgrijze mergel	25,00
zandrijke grijze mergel	26,00
glaucietrijke mergel	26,50
compact glaucietrijk donkergroen zand	27,80
fijn donkergrijs zand, zwarte laminaties	32,20
fijn donker glauciethoudend zand	32,40
gele kalkareniet met hardere banken	47,00
(basis zeer hard, met oplossingsholtes; basislaag donker)	
grove kalkareniet met harde banken	50,00
fijne kalkareniet met harde banken	59,00
(basis grijsgekleurd, met echiniden en grote schelpen)	
meest zachte fijne gele kalkareniet	67,50
(basis grijsgekleurd)	
zeer grofkorrelige kalkareniet met forams, echiniden en serpulidae	68,00
middelmatige gele meest zachte kalkareniet, met zeer grofkorrelige banden; serpuliden	
naar onder toe	76,00
grofkorrelige zachte kalkareniet met dunne vuursteenbandjes	79,00
zachte gele fijnere kalkareniet met echinidenniveau en enkele vuurstenen	87,00
zachte grijze wackestone met vuursteen; serpulniveau aan top	92,00
harde grijsgele middelmatige kalkareniet, rijk aan vuursteen die zwartgekleurd blijft	140,00
bleekgrijs krijt, sterk gebioturbeerd, rijk aan grijze en zwarte vuursteen; naar de basis beladen	
met grof glauciet	154,50
hard grijs mergelig krijt, sterk gebioturbeerd en glauciethoudend, met enkele verkiezelingen, met visresten	164,00
donkergrijs mergelig krijt, sterk gebioturbeerd en beladen met grove glauciet; enkele verkiezelingen; zandig naar onder	176,50
niveau vol gerolde belemnieten en fosfaatconcreties met groene coating	176,90
grijze zandrijke glauciethoudende mergel met enkele verkiezelingen; vrij geconsolideerd; glaucietstratificaties naar onder toe	202,50
gelaagde zandige glauciethoudende mergel met vuursteenbandjes en verkiezelingen (op 204,60 grofkorrelige band met schelpengruis)	209,00
grijze zandige mergel; basis met bolvormige pyrietconcreties en gyrolithes	214,10
grijze zeer harde kwartsiet met donkere stratificaties, afgewisseld met zwarte mikahoudende pyriethoudende fyllade, soms silteus; met getektoniseerde convoluted bedding; in cm tot dm dikke lagen met helling 60°; enkele kwartsaders, soms met hematietinfiltraties; aan de top open diaklasen	300,70



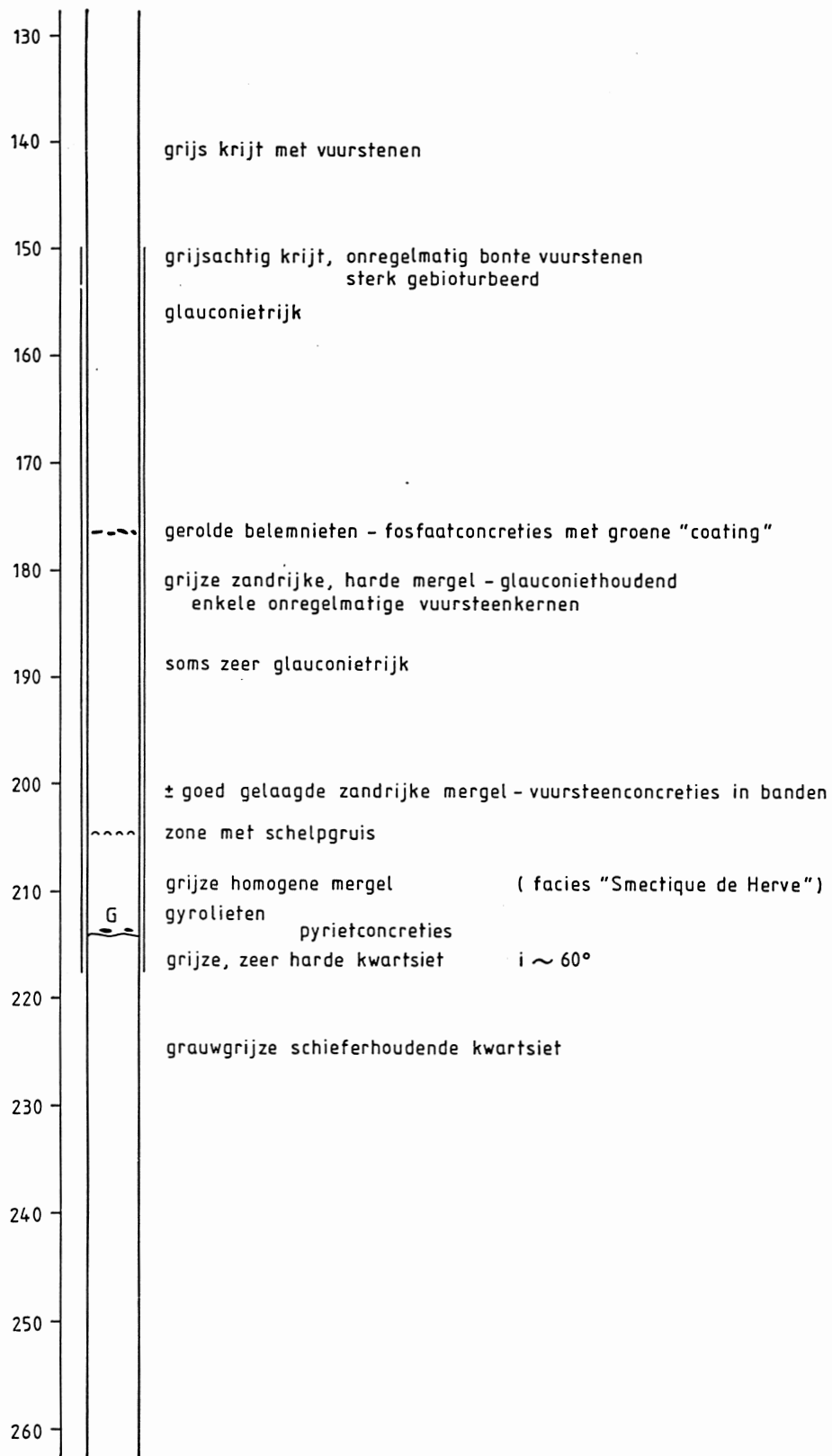


Fig. 4, a,b: KB 134 Litholog door Gulinck & Legrand

Stratigrafische interpretatie:

Kwartair	5,00
Tertiair, Formatie van Tongeren	16,00
Formatie van Heers	32,40
Formatie van Houthem	47,00
Krijt, Formatie van Maastricht	92,00
Formatie van Gulpen (Vylen - Lixhe interval)	140,00
Beutenaken Member	154,50
Zeven Wegen Member	176,90
Formatie van Vaals	214,10
Cambrium (Reviniaan), Formatie van Geldenaken	300,70

2. Boring KB 44 te Hoeselt

Boring 44 werd in 1902 beschreven door Forir op basis van spoelmonsters, om de meter genomen, en enkele kernen in het Cambrium (Forir, 1903; Lohest, Habets & Forir, 1903). De stratigrafische interpretatie van het Tertiair werd, terecht, herzien door Van Ertborn (1905), na discussie met E. Van de Broeck. De stratigrafische interpretatie van het Paleozoïcum (Reviniaan) is opgemaakt door C. Malaise. Een samenvatting wordt hieronder gegeven (Fig.3).

Stratigrafische interpretatie:

Kwartair	7,80
Tertiair, Formatie van Tongeren	15,80
Formatie van Heers	26,50
Formatie van Houthem ?	36,50
Krijt, Formatie van Maastricht	82,50
Formatie van Gulpen	174,50
Formatie van Vaals	191,60
Cambrium (Reviniaan), Fm. van Geldenaken	219,90

De Formatie van Houthem kon in deze boring niet als dusdanig herkend worden, maar werd aangeduid naar analogie met de boring Martenslinde. Deze formatie sluit qua faciesontwikkeling volledig aan bij de krijtformaties, en wordt er lithologisch nog steeds bij gerekend, maar is van Paleoceen ouderdom.

Het Cambrium bestaat in deze boring eveneens uit een afwisseling tussen bleke dooraderde kwartsiet en vooral zwarte mikarische fyllade.

3. Het Paleozoïcum

De paleozische sokkel in de boringen van Hoeselt en Martenslinde behoort tot het Cambro-Siluur van het Massief van Brabant, en werd reeds door Malaise (in Forir 1903) als Reviniaan geïdentificeerd. Deze uitkomst van de boring KB 44 Hoeselt was dus wel een misrekening voor de opdrachtgevers die op zoek waren naar steenkool.

Legrand (1968) omschreef de kernen uit boring KB 44 als "Schiste phylladeux noir bleuâtre satiné, s'altérant en argile onctueuse bleu noirâtre, pyrite en petits cubes et en loupes" en kende ze een Rvc ouderdom toe. Hij vermeldde ook een helling van 25° in de kernen, niet vermeld in de oorspronkelijke beschrijvingen, maar geobserveerd op de bewaarde kernstukken. Bij een vroegere interpretatie verkoos Legrand (1951) nochtans een mogelijke Ordovicium ouderdom, en dit enkel omwille van een groter aandeel van dit facies in de Ordovicium formaties (vermeldenswaard is wel dat de stratigrafische interpretaties gebaseerd zijn op een kernstuk van slechts 35 cm lengte).

Voor de boring Martenslinde gaf Legrand (1968) de volgende beschrijving op: "Quartzite gris à gris-bleu, avec rares bancs de phyllades noirs tendant au séricitoschiste", met als ouderdom Rvb, Assise de Jodoigne (Geldenaken).

Een paleontologisch onderzoek (acritarchen) door M.Vanguetaine (1973) en T.Servais (1989) van de Universiteit Luik leverde weinig resultaten op wegens de afwezigheid van identificeerbaar organisch materiaal. Er kon dus geen biostratigrafische ouderdom vastgesteld worden.

Onderzochte monsters:

Vanguetaine (1973): Martenslinde 274-,281-,291.5,294-,299 m.

Servais (1989): Martenslinde 252-,268.5,274.5,287.5,294 m;

Hoeselt 210 m.

Het is goed mogelijk dat de Paleozoicum kernen in beide boringen tot dezelfde formatie behoren, met meer zandige (Martenslinde) of meer schieferige (Hoeselt) intervallen. Qua ouderdom is er nog geen mogelijkheid de toewijzing tot het Reviniaan, en dus tot het Cambrium, te preciseren of te betwisten.

4. GEOFYSISCH ACHTERGROND

1. Seismische opname 1953 en reprocessing 1991

In de periode augustus 1953 - april 1956 voerde de firma Seismos in opdracht van de Belgische Geologische Dienst een reflectie- en reflectie seismisch onderzoek uit in de Kempen, met inbegrip van de contactzone met het Massief van Brabant. Doelstellingen van dit onderzoek waren: 1) het discordantievlak aan de basis van het Krijt, 2) het voorkomen, de aard en de begrenzing van de 'Rode Gesteenten' van Permo-Trias ouderdom, 3) de tektoniek van het Paleozoicum, 4) het verloop van de breuken in de dekterreinen, 5) bepaling van de zuidgrens van het steenkoolbekken en reconstructie van de isohypsenkaart (Seismos, 1956).

In totaal werden meer dan 1300 km seismische profielen opgemeten met de volgende karakteristieken: bron dynamiet, 1 tot 3 ladingen van +/-20 kg (min. 12 max. 30 kg bij reflectiemetingen) op diepte +/-8m (max. 40 m); afstand tussen schietpunten +/-325m; registratie met 24 kanalen met 6 geofoons elk in split-spread met 25 m gefoonstationsafstand en offset 25m-300m, enkelvoudige overdekking; record lengte 3.5 s voor 4 ms sampling rate. De geologische interpretatie van deze profielen onder de vorm van analoge schietpuntreeksen werd op manuele wijze door een geofysicus uitgevoerd. Langs de zuidrand van het Kempens steenkoolbekken werden de reflectie profielen aangevuld met refractiemetingen om tot een betrouwbaarder interpretatie van de basis Karboon horizont te komen (Rühmkorf, 1959).

Een groot deel van de analoge schietpunten van de reflectieprofielen werd in 1989-90 gedigitaliseerd door D.P.T.S. en in 1990-91 gereprocesst door Delft Geophysical. De nieuw gestapelde profielen maken dank zij de overlapping van telkens 12 gefoonstations een behoorlijke indruk en kunnen aan de hand van beschikbare geologische gegevens opnieuw geïnterpreteerd worden.

Een der profiellijnen, nr. 20, met NNE-SSW richting, startte op 1370 m ten WNW van boring KB44 en werd opgenomen in Augustus 1955 (Fig.1). Dit profiel bleek Seismos de grootste moeilijkheden te bieden door het voorkomen van harde banken in de top van het Tertiair of massieve grintpakketten in het Kwartair, waardoor het aantal schoten per meetpunt stelselmatig werd verminderd tot een enkel. Toch bleek het mogelijk het effect van de groundroll voldoende te onderdrukken.

Alhoewel verschillende reflectoren voorkomen, bleek het in 1955 niet mogelijk om tot een duidelijke interpretatie te komen. De subcrop van het Steenkoolterrein, herkend in boring KB61, kon niet naar het zuiden vervolgd worden. Bij de reprocessing van profiel 20 in 1991 bleek evenmin een eenduidige interpretatie mogelijk. Toch kan aan het zuidpunt van het profiel, onder de Krijtbasis, de aanwezigheid van de formaties van het Massief van Brabant verondersteld worden. Een onduidelijke reflector met helling 20° wigt uit onder de Krijtbasis, mogelijk via een breukcontact, op +/- 750 m vanaf het zuidelijke uiteinde van het seismisch profiel (Fig.5). Deze reflector zou kunnen overeenkomen met de discordante basis van de Devoon - Karboonsequentie. Een andere minder waarschijnlijke mogelijkheid is dat deze reflector overeenkomt met een interne horizont in het Massief van Brabant. Legrand beschreef immers voor de Paleozoicum kern van boring KB44 een helling van 25°. Een bijkomende aanwijzing voor het mogelijke voorkomen van een Devoonwig is de intervalnelheid van 5300 m/s die uit verschillende refractiemetingen over deze reflectorzone langs profiel 20 bepaald werd.

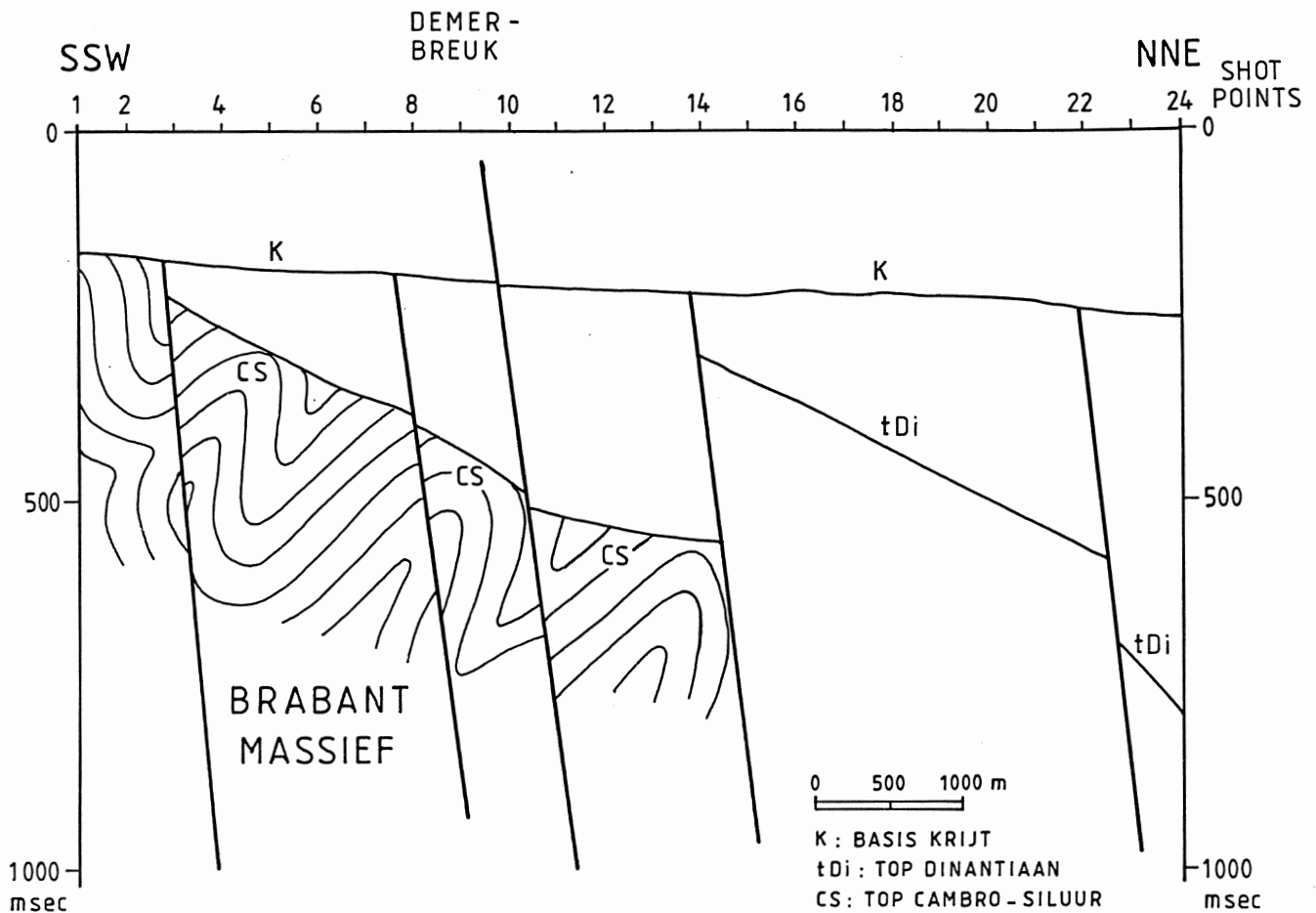


Fig. 5: Geologische interpretatie seismisch profiel 1953-20

Een duidelijker licht hellende reflector (12° , toenemend tot 20° in noordelijke richting) werd herkend vanaf 5 km naar het noorden. Deze reflector zou als top massieve Dinantiaan kalkstenen geïnterpreteerd kunnen worden. In dit geval bedraagt de plaatselijke dikte van de Devoon - Onder Karboon sequentie minstens 825 m. In de boring KB61, gelegen 12 km ten noorden van het profielbegin, werd de basis van het Westphaliaan doorboord. Rekening houdend met deze interpretatie van de top Dinantiaan, zou de dikte van het Namuriaan, inclusief de overgangslagen naar het Viséaan, +/-1600 m of meer bedragen. Een correcte dikte kan niet opgegeven worden omdat de juiste snelheidsverdeling niet bekend is, en omdat de opeenvolgende reflectoren telkens door breuken gescheiden zijn.

De belangrijkste breuken kunnen eveneens uit het gereproceste profiel 20 afgeleid worden. De breuk van Bilzen, als westelijke tak van de Demerbreuken werd aangetroffen bij schietpunt 10 op +/-2900 m ten NNE van het begin van het profiel. Deze breuk veroorzaakt zowel een normale verwerping van de Krijtbasis als ook een hellingsverandering. De Krijtbasis verloopt subhorizontaal ten zuiden van de breuk en licht afhellend naar het noorden ten noorden ervan. De spronghoogte in het Paleozoicum is niet abnormaal groot voor de breuk van Bilzen en blijft in een grootte orde van 100 m. Een volgende breuk wordt aangetroffen bij schietpunt 14 op +/-4225 m ten noorden van de profielaanvang. Deze breuk zou de subcrop van het Boven Karboon begrenzen en heeft mogelijk een inverse werking in het Krijt (Fig.5).

2. Aeromagnetische opname 1963 en geofysische opname 1979

De aeromagnetische kaart van België werd in 1963 door de Compagnie Générale de Géophysique in opdracht van de Belgische Geologische Dienst opgemeten. De vluchtlijnen verliepen in NE-SW richting, met 2.5 km afstand tussen de vluchtlijnen. Controleprofielen werden om de tien kilometer in dwarsrichting gevlogen. De vlieghoogte bedroeg in het bestudeerde gebied 2000 voet. De meetwaarden werden gecorrigeerd voor een gradient van 2.5 nT/km in NE richting en 0.2 nT/km in NW richting (Fig.1). De iso-anomalienkaart werd vervolgens in 1989-90 gedigitaliseerd en gereproceerd in samenwerking met de British Geological Survey (Chacksfield et al., 1992). Op de oorspronkelijke kaart viel onmiddellijk de sterke regionale anomalie van Bilzen op.

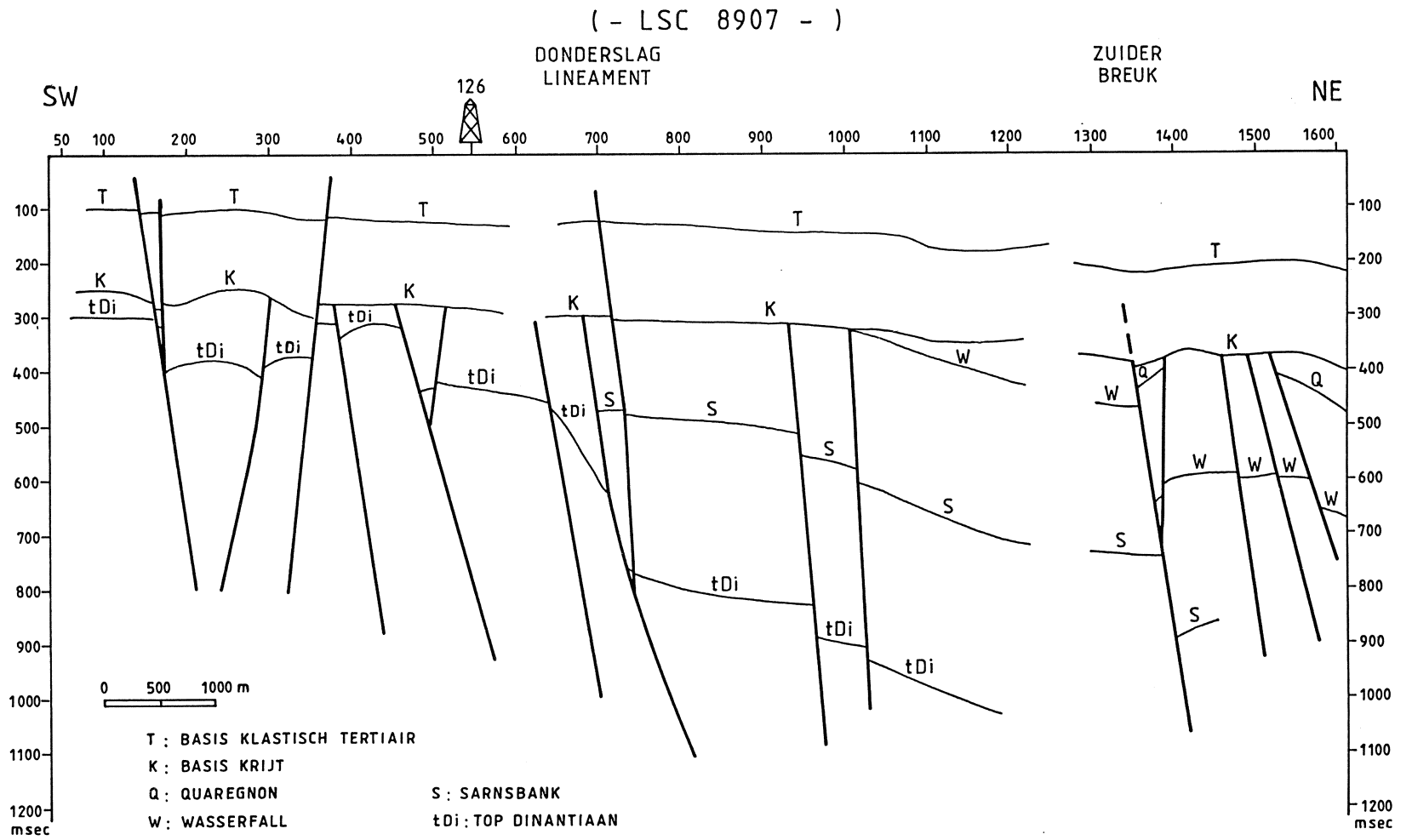
De omgeving van Bilzen maakte daarenboven deel uit van een nieuwe grond-geofysische opname, uitgevoerd in 1979 door Prakla-Seismos in het gebied begrensd door Hasselt-Luik-Aken-Sittard, in opdracht van de geologische diensten uit de drie betrokken landen (Bless et al, 1980). De gravimetrische en magnetische metingen die in dit gebied werden uitgevoerd, vervolledigden de nationale netwerken tussen de verschillende landen. De voornaamste geologische doelstelling van deze opname was de overgang te karakteriseren tussen het Massief van Brabant en het zakkingsgebied van Visé-Puth, gelegen ten noorden van het variscisch overschuivingsfront.

De oostrand van het Massief van Brabant wordt in de omgeving van Bilzen gekenmerkt door een positieve dichtheidsanomalie met een in oostelijke richting regelmatig afnemende gradient. De Bouguer iso-anomalien verlopen volgens een noord - zuid tot noordnoordoost - zuidzuidwest richting tot aan de Belgisch - Nederlandse grens bij Maastricht. De residuele anomalienkaart, met aftrek van de beïnvloeding door post-Dinantiaan formaties, brengt in de omgeving van Bilzen zoals te verwachten weinig veranderingen teweeg. Vermits de noordelijk afhellende tabulaire formaties geen invloed meer mogen hebben, zullen de contourlijnen lichtjes in tegengestelde zin afbuigen en een noordoost - zuidwest tot noordnoordoost - zuidzuidwest verloop aannemen. Ten oosten van Maastricht blijven zij de negatieve dichtheidsanomalie van Visé - Puth omschrijven. Langs de zuidrand hiervan valt een positief spoor in de directe omgeving van Visé op, dat niet teruggevonden wordt op de magnetische kaart en waarschijnlijk terug te brengen is tot een sterke verdikking van niet-gemagnetiseerde Siluur schiefers en vulkanieten (pers. communic. G. Vandenven).

Ook op de kaart met de totaalintensiteit van het magnetisch veld komt het Massief van Brabant goed tot uiting, vooral na herwerking van de oorspronkelijke gegevens (Chacksfield et al., 1992). Door de aanwezigheid van magnetiethoudende formaties (Tubize Formatie, Onder Cambrium of Devillien op de kaart van het Massief van Brabant, Legrand 1968) onder een geringe overdekking, wordt het Massief van Brabant gekenmerkt door het voorkomen van talrijke kleine ondiepe magnetische anomalien. Ten zuiden van de Faille Bordière (Legrand, 1968), die de zuidelijke afgrenzing vormt van het Massief van Brabant, en tevens ten oosten ervan, vanaf Maastricht, wordt het allure van de magnetische anomalien veel rustiger en grootschaliger, hetgeen wijst op een sterke verdieping van de gemagnetiseerde formaties. Het sedimentair zakkingsbekken van Visé - Puth blijft zich overigens uiten als een negatieve anomalie zonder duidelijke gradiënten.

De grote magnetische anomalie van Bilzen werd duidelijk bevestigd door de nieuwe opname van 1979. De interpretatie van de anomalie van Bilzen door Bless et al (1980) wijst op de superpositie van twee structuren. Een grootschalig diepergelegen lichaam met max. 100 nT amplitudo, en met strekking N75E, dat verder naar het oosten doorloopt op Nederlands grondgebied, is duidelijk verschillend van de gekende gemagnetiseerde formaties. Daarbij komt een lokaal maximum met maximale amplitudo van 300 nT en oost-west strekking, dat verklaard wordt door een langgerekt plaatvormig lichaam. Dit zou zich in Martenslinde nog steeds op 2 km diepte bevinden en +/-30 km naar het westen uitstrekken. De grootschalige diepe anomalie, overeenkomend met de magnetische sokkel, zou in de omgeving van Maastricht onderbroken worden door een plotse verdieping. Deze verdieping lijkt de noordoostelijke voortzetting te vormen van de Faille Bordière, die aldus de westelijke begrenzing lijkt te vormen voor het zakkingsbekken van Visé - Puth (Bless, 1989). Naar het noorden en noordwesten toe wordt de anomalie van Bilzen begrensd door de diamagnetische sedimentaire formaties van het Kempens Bekken die zich snel verdiepen. In het Kempens Bekken zelf is geen aeromagnetische opname uitgevoerd. Bij de opname van 1963 over het resterende gedeelte van het Belgisch grondgebied was het voor de Belgische Geologische Dienst als opdrachtgever niet mogelijk om met de SCREM (Société campinoise de Recherches et d'Exploitations minérales) tot een akkoord te komen voor de overdekking van hun koolwaterstof exploratie concessie in de Kempen.

Fig. 6: Geïnterpreteerd seismisch profiel LSC 8907



(LIJN 8908)

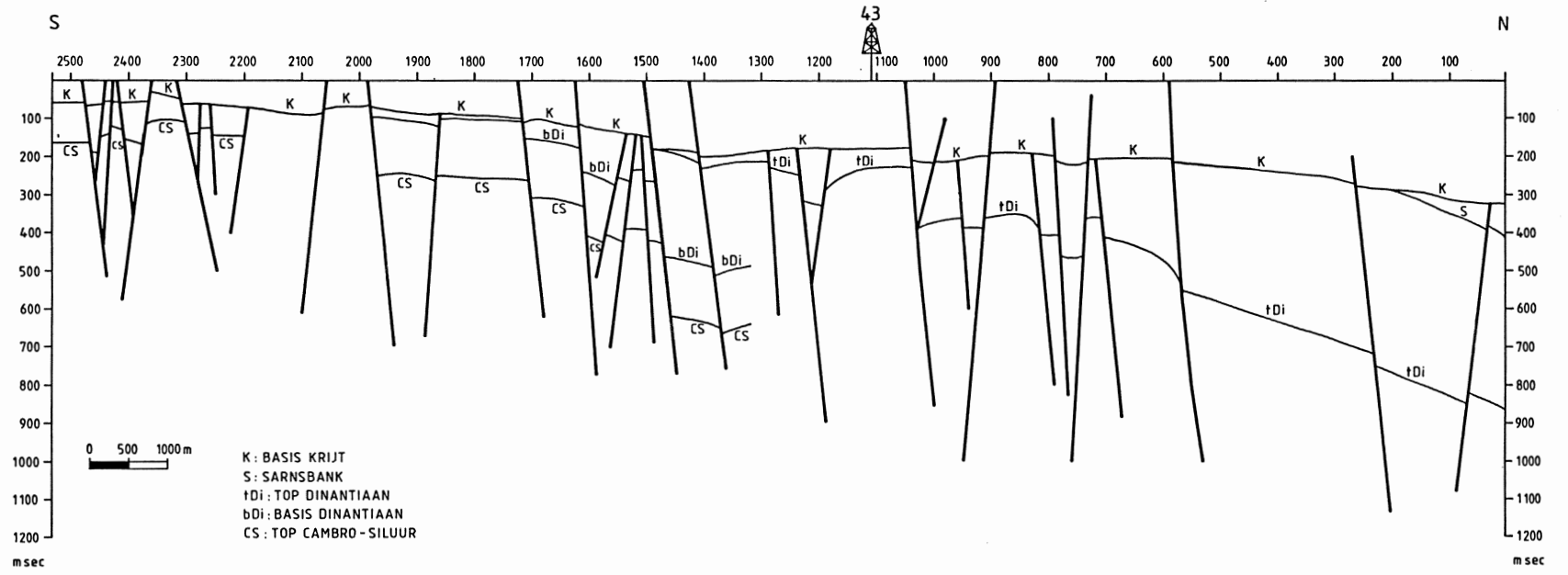


Fig. 7: Geïnterpreteerd seismisch profiel LSC 8908

Tot slot wordt nog gewezen op de overeenkomsten en verschillen tussen de anomalieën van Bilzen en van Erkelenz in het Duitse grensgebied aan de overzijde van de Roermond Slenk. Beide structuren vormen positieve gravimetrische (duidelijker voor Erkelenz) en magnetische (sterker voor Bilzen) anomalieën van gelijkaardige omvang en vorm. De anomalie van Erkelenz gaat tevens gepaard met een inkolingshoogte, duidelijk gedocumenteerd uit de steenkoolmijnbouw (anthracietmijn Sophia Jacoba), en wordt geïnterpreteerd als een basische intrusie van Perm ouderdom of desgevallend iets jonger (Bosum, 1965). Seismische data kunnen deze hypothese vooralsnog niet bevestigen.

Inkolingshogen rond het oostelijk deel van het Massief van Brabant zijn bekend in het gebied Meeuwen - Bree (Dusar, 1982; Dusar et al., 1987) en in het gebied Visé - Puth (Wolf, 1982; Wolf & Bless, 1987; Bless, 1989). De voortzetting van de anomalie van Erkelenz ten westen van de Roermond Slenk dient mogelijk gezocht te worden in de positieve gravimetrische en inkolingsanomalie van Bree (Dusar, 1982). Slechts een uitbreiding van de aeromagnetische opname over de Kempen en een nieuwe modellatie kunnen hierover uitsluitsel geven.

3. Recente geofysische opnames

Een seismische opname, uitgevoerd in 1989 voor rekening van het Bestuur van Natuurlijke Rijkdommen en Energie (BNRE) van de Vlaamse Gemeenschap ter studie van de zuidrand van het Kempens Bekken en de uitbreiding van de Kolenkalk, omvatte seismische profiellijnen gelegen tussen Diepenbeek en Genk (lijn LSC 8907) en langs het Albertkanaal - Zuidwillemsvaart tussen Kanne en Mechelen a/d Maas (lijn LSC 8908). De geïnterpreteerde profielen worden getoond op Fig. 6 en 7. De geologische interpretatie van deze lijnen (Langenaeker, 1990) ligt mede aan de grondslag van de nieuwe structurele interpretatie en de breukenkaart, uitgelegd in het volgend hoofdstuk.

In 1991 werd door het Renard Centre of Marine Geology (RCMG) van de Universiteit Gent eveneens voor rekening van BNRE een hoge-resolutie vlakwaterseismisch onderzoek uitgevoerd op de Kempense waterlopen, waaronder het Albertkanaal tot in Kanne en de Zuidwillemsvaart. De interpretatie van deze opname is niet voltooid en werd dus ook niet opgenomen in deze studie. Wel lijken de eerste gegevens, die tot in de top van het Paleozoïcum reiken, te wijzen op een bevestiging van de hier aangehaalde interpretatie.

5. STRUCTURELE INTERPRETATIE

1. De Demer breuken

De Demerbreuk (Fig. 8) werd voor het eerst ingeroepen door Van den Broeck & Rutot (1883) om de abnormale hoogtes van de contacten tussen het Tongeriaan en het Heersiaan in de omgeving van Bilzen te verklaren. Zij stelden deze breuk voor als een WNW-ESE gerichte normaalbreuk, afhellend naar het noorden, met een spronghoogte van 26 m volgens de oorspronkelijke kartering (zie Fig. 2. Diagramme transversal médian, Feuille de Bilzen door Van de Broeck & Rutot, 1883). Bijkomende boringen, opgenomen in het archief van de BGD tonen aan dat deze spronghoogte variabel is, en dat sommige stratigrafische contactvlakken op tijdshiaten (bijv. het lithologisch contact Tongeriaan - Krijt) een onregelmatig verloop hebben.

Halet (1925, 1932) bestudeerde het oostelijke verloop van de Demer breuk, en stelde in de richting van het Albertkanaal de breuken van Mopertingen, Hees en Vroenhoven vast, waarvan alleszins de eerste twee in verbinding zouden staan met de Demerbreuk, en ook dezelfde strekking en sprongrichting vertonen. Gulinck (1960) preciseerde de spronghoogte langs de breuken, die belangrijker lijkt langs de zuidelijke breuk van Hees, maar liet de breuk van Mopertingen rechtstreeks aansluiten op het resterende gedeelte van de Demerbreuk. Dit westelijk segment wordt voortaan de breuk van Bilzen genoemd (Fig. 8). Deze voorstelling wordt ook in latere publicaties hernomen (Tavernier & de Heinzelin, 1963; De Smedt et al., 1981).

De WNW-ESE gerichte breuktrappen, waargenomen langs het Albertkanaal op seismisch profiel LSC 8908 en ten dele ook vastgesteld in de dekterreinen (breuk van Vroenhoven, Halet, 1932), vertonen veel gelijkenis met de tectono-sedimentaire breuktrappen beschreven door Poty (1989) in het gebied van Visé ten oosten van de Faille bordière. Enkel het structureel belang van deze breuken kon hier vastgesteld worden. Wel intrigerend is

dat dergelijke variscische breuken ook ten westen van de Faille bordière in het Massief van Brabant ingesneden zijn.

De breuken van Bilzen, Hees en Mopertingen hebben een WNW-ESE richting die sterk aansluit bij de richting van de breuken in het oostelijk deel van het Kempens mijngebied (bijv. de breuk van Zwartberg in Delmer, 1963). Op de geologische subcrop kaart van het Massief van Brabant liet Legrand (1968) de breuk van Bilzen in een grote boog doorlopen naar het noordwesten om na een twintigtal kilometers aan te sluiten op de in het mijngebied bekende breuk van Beringen. Alhoewel Legrand niet over goede argumenten beschikte om beide breuken specifiek met elkaar te verbinden en eerder intuïtief tewerk ging, lijken deze breuken inderdaad tot dezelfde structuur behoren. Volgens de breukenkaart (Fig. 9) blijkt evenwel hoe moeilijk het is om de breuk van Bilzen zelfs over kortere afstand te karteren: het Lineament van Donderslag onderbreekt alle breuktracés.

Bull. Soc. belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrog., t. LXIX (1960).

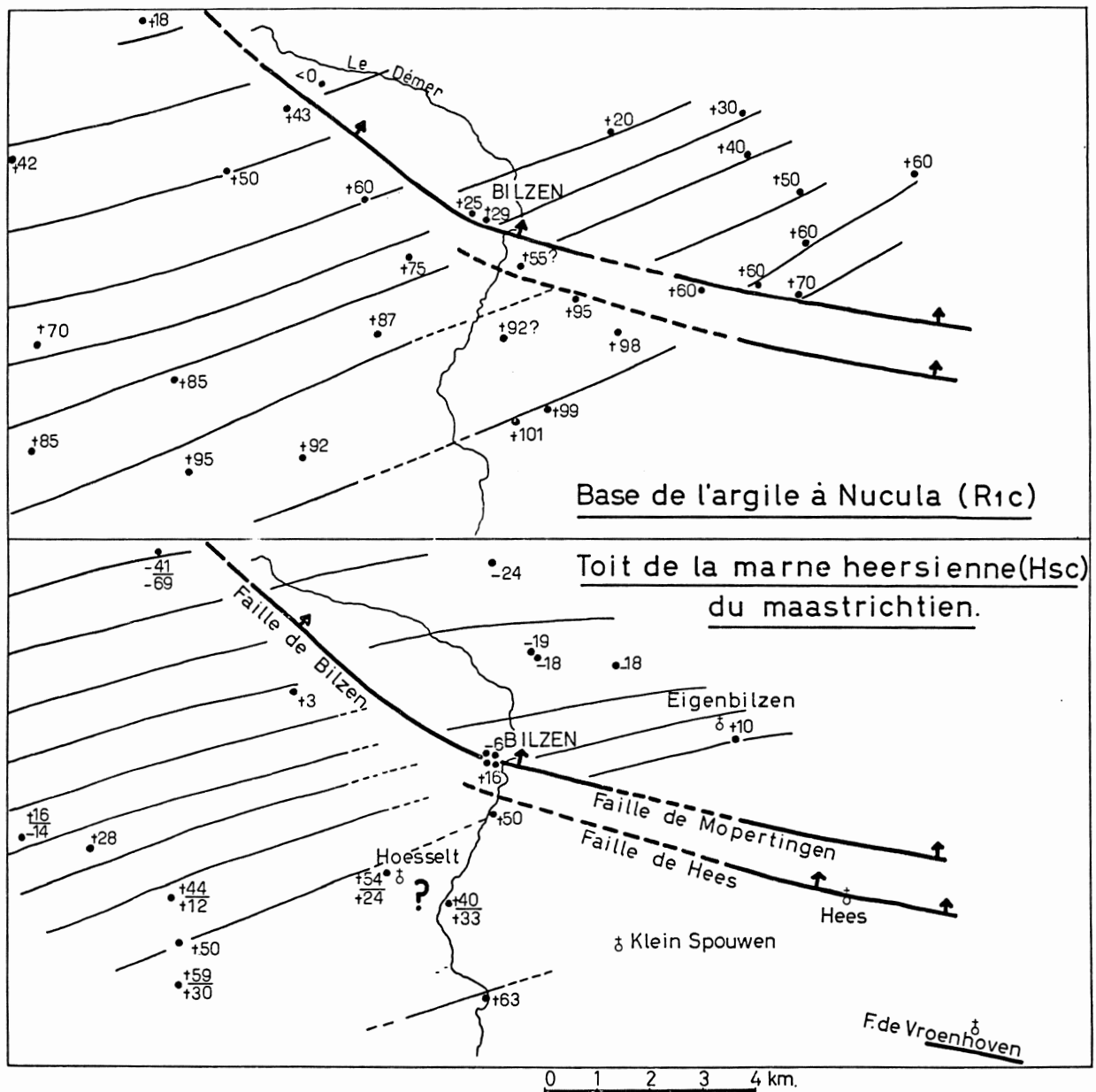


Fig. 8: De Demerbreuken volgens Gulinck, 1960 (uit Bull. Soc. belge Géol., t.69)

Wegens de analogie tussen de breuk van Bilzen en de grote breuken in het mijngebied, zoals de breuken van Zwartberg en Beringen, mogen wij veronderstellen dat de breuken in de buurt van Bilzen evenzeer van variscische oorsprong of ouder zijn en waarschijnlijk ook gedurende hun verdere reactivaties NNE- hellende normaalbreuken zijn gebleven, afgezien van een mogelijke inversie tijdens het Boven Krijt of Vroeg Tertiair. Volgens de reconstructie van de subcrop van het Massief van Brabant door Legrand (1968) zouden de Demerbreuken daarentegen een NNE opschuiving begrenzen, die Devilliaan op Reviniaan brengt. Deze structurele oplossing is niet compatibel met de tektoniek in het oostelijke deel van het mijngebied. Zij is ook overbodig vermits het voorkomen van een Devilliaan massief in de subcrop van het Massief van Brabant op deze plaats weinig plausibel is. De magnetische anomalie van Bilzen behoeft een betere verklaring.

2. De 'Faille bordière' of de oostelijke begrenzing van het Massief van Brabant

De Faille bordière werd beschreven door Legrand (1968) als de zuidelijke afgrenzing van het Brabant Massief. De oostelijke voortzetting van deze breuk naar Maastricht toe is slecht gekend. Legrand (1968) veronderstelde dat de breuk ten W van Maastricht naar het NE afboog en zodoende eveneens de oostelijke begrenzing van het Massief van Brabant vormde. Recentelijk werd voorgesteld de breuk te verbinden met de SW-NE strekkende "80 m" en "Antiklinaal-Oranje" breuken, gekend uit de nederlandse mijnontginningen (Wolf en Bless, 1987, Bless en Bouckaert, 1988). De Faille bordière zou in de buurt van Maastricht passeren tussen de Maastricht-Kastanjelaan 2 en Heugem 1/1a boringen (Fig. 9). De structurele profielen uit het nederlands mijngebied uit Kimpe et al. (1978) tonen de Waubach Anticline met als begrenzing de Antiklinaal-Oranje breuk als een vrij symmetrische opwelling (profiel B-B' in Kimpe et al, 1978). De 70 m breuk is een NW-hellende overschuiving met een relatief beperkt bedrag.

De Faille bordière daarentegen heeft een veel groter bedrag dan de eerder genoemde storingen aangezien deze ten Noorden van Luik Namuriaan in contact brengt met Cambro-Siluur van het Brabant massief.

Alhoewel de Waubach anticline en 70 m breuk, verschijnselen zijn die waarschijnlijk in verband staan met de Faille bordière, lijkt het niettemin logischer deze laatste storing in de buurt van Valkenburg naar het NNE te laten afbuigen en zodoende te verbinden met de uitloper van de Visé-Puth anticline in de buurt van Geleen en verder naar Sittard. Deze structuur is veel asymmetrischer in zoverre dat het SE-deel sterk afgezaakt is ten opzichte van het NW-deel. Op profiel C-C' (Kimpe et al., 1978) is het stratigrafisch bedrag over de Puth structuur in zijn geheel bijna 1000 m over een afstand van slechts 1,5 km. Ook profiel E-E' in Kimpe et al. (1978), dat onder een kleine hoek met de Faille bordière-Puth structuur getekend werd, toont een zeer aanzienlijke verdieping naar het SE toe. De Faille bordière zou in dit geval de grens vormen tussen twee gebieden met een verschillende tektonische opbouw. Het SE-deel wordt gedomineerd door WSW-ENE strekkende overschuivingen, terwijl deze ten NW van de Puth anticline meestal NNW-SSE verlopen. De afschuivingen lopen in beide gebieden ongeveer NW-SE maar werden sterk gereactiveerd tijdens de Kimmerische en jongere tektoniek. De Faille bordière kan aldus beschouwd worden als de noordwestgrens voor de meer verdiepte en geplooidde Wurm Mulde (Wrede, 1987).

De positie van de geologische formaties aan weerszijden van de Faille bordière, zoals aangegeven in Legrand (1968), doet een belangrijke dextrale strike-slip component in de beweging van deze breuk vermoeden. Dit laat de eerder scherpe anticlinale structuur van Puth verklaren als zijnde een "positieve flower structure" die frequent geassocieerd met strike-slip breuken voorkomt (Harding, 1985).

3. Het lineament van Donderslag

Tijdens de interpretatie van de seismische campagne Meeuwen-Hechtel 1987, uitgevoerd in opdracht van de Belgische Geologische Dienst, werd een N-S verlopende breuk- en flexuurzone herkend, die de naam "Lineament van Donderslag" kreeg. Deze structuur kon vervolgd worden van ten S van Peer tot ten E van Houthalen. Het lineament vormt de structurele grens tussen het oostelijk en westelijk deel van het Kempens Steenkoolbekken. Het oostelijk deel van het bekken wordt gekenmerkt door een gemiddelde E-W strekking van de Westfaliaan formaties en een WNW-ESE richting voor de belangrijkste normaalbreuken. In het westelijk deel hebben zowel de formaties als de breuken gemiddeld een NW-SE strekking.

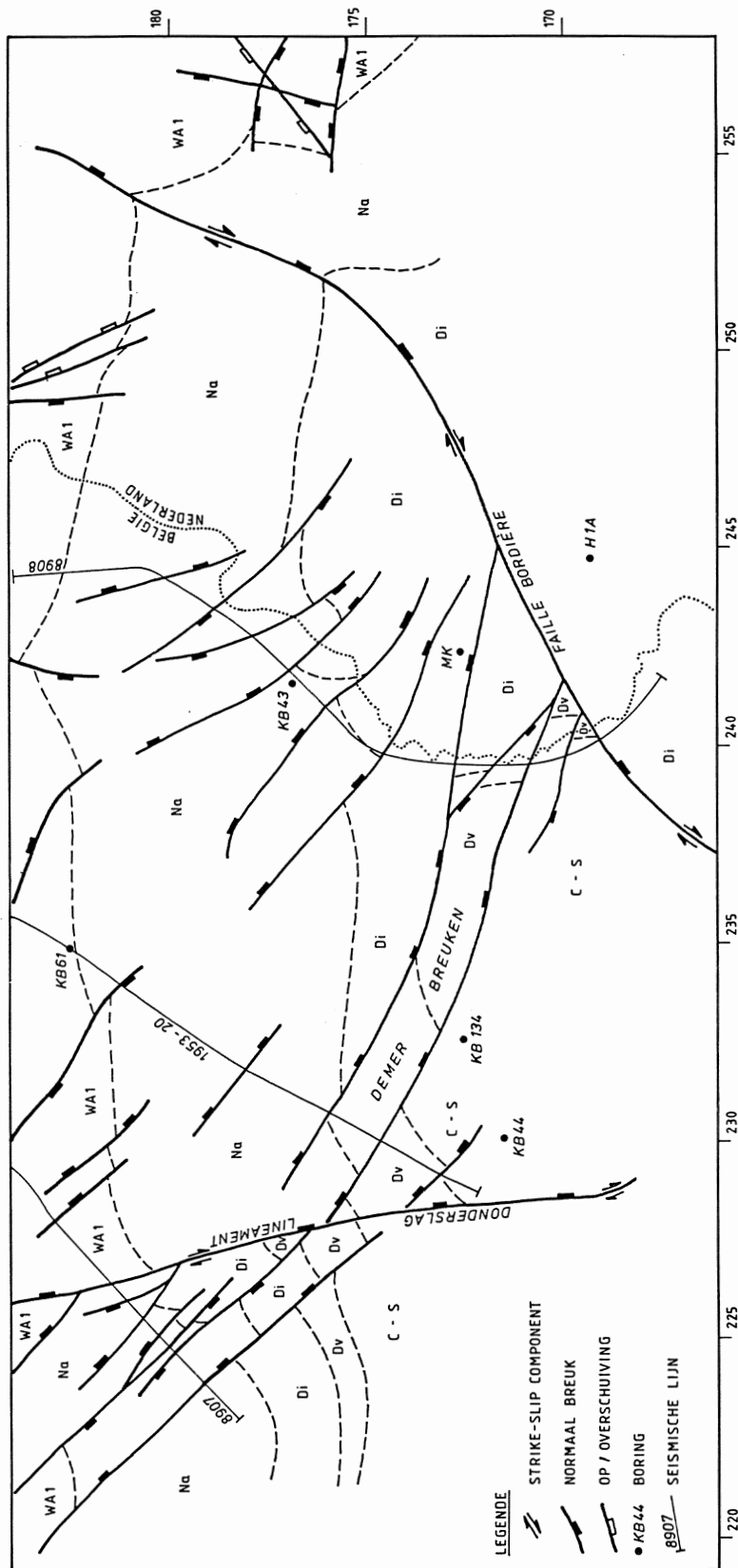


Fig. 9: Breukenkaart, met ligging der seismische profielen en boringen (H1A = Heugem 1a; MK = Maastricht - Kastanjelaan)

Op basis van de configuratie van het Westphaliaan aan weerszijden van de breuk en de seismische expressie van de structuur, kan een belangrijke dextrale strike-slip component aan deze breuk verondersteld worden. Delmer (1963) stelde reeds dat dit de oplossing kon zijn om de gegevens uit het oostelijk en westelijk deel van het mijnbekken met elkaar in verband te brengen.

Het Donderslag lineament is seismisch gekarteerd tot ten E van Houthalen, maar lijkt naar het SW toe als een flexuur voortgezet te worden. De steile hellingen geassocieerd met deze structuur werden teruggevonden in boring KB 151 (KS 11 uitgevoerd in opdracht van de Kempense Steenkoolmijnen in Houthalen, De Teut). Aanduidingen voor het Donderslag lineament werden eveneens aangetroffen op de seismische lijn 8907 (Subcrop Kolenkalk). Deze structuur wordt verondersteld door te lopen naar het SSE via Beverst en Hoeselt (Fig. 6, 9).

Het meest oostelijk deel van het Brabant Massief bestaat zodoende uit een structureel blok dat naar het W begrensd wordt door het Lineament van Donderslag, naar het S en SE door de Faille bordière overgaand in de Puth anticline en naar het N door het jonger Paleozoïcum van het Kempens Bekken en Zuid-Limburg.

4. De interne structuur van het oostelijk deel van het Brabant Massief

De oostelijke uitloper van het Massief van Brabant en de omliggende jong-paleozoïsche formaties maakten het onderwerp uit van een aanzienlijk aantal geologische hypothesen en overpeinzingen. Een overzicht van de oudere opvattingen omtrent de structuur van het gebied wordt gegeven in Bless et al. (1976) en in Kimpe et al. (1978). De interesse voor dit gebied is in de laatste 15 jaar zo mogelijk nog toegenomen. Ondanks alle inspanningen, die ook aan de Nederlandse zijde geleverd worden, blijft dit gebied nog een groot aantal van zijn geheimen behouden. De twee belangrijkste structurele elementen in het Massief van Brabant en het aangrenzende Devoon en Karboon zijn wel de 'Faille bordière' en het 'Lineament van Donderslag'. Het gedeelte van het Massief van Brabant dat door deze storingen afgescheiden is, wordt hier gemeenzaam als het 'Segment van Bilzen' voorgesteld. De breukbeweging is op zijn minst vroeg-variscisch of waarschijnlijk ouder van origine (cf. Wrede, 1987), zodat dit segment reeds vroeg een eigen karakter, verschillend van het westelijk aangrenzend deel van het Massief van Brabant verkregen heeft.

De boringen KB44 Hoeselt en KB134 Martenslinde werden geboord in het meest oostelijke structurele blok van het Massief van Brabant, dat begrensd wordt door de Donderslag en Faille bordière transversale breuken. De interne structuur van dit deel van het Caledonisch massief is niet gekend. Legrand (1968) zat bij de reconstructie van de paleozoïsche subcrop van het Massief van Brabant in de omgeving van Bilzen gewrongen tussen de waargenomen diamagnetische gesteenten, toegewezen aan het Reviniaan, en de magnetische anomalie, die in verband werd gebracht met het Devilliaan. Vandaar dat hij de oplossing bedacht de Reviniaangesteenten te laten aansluiten bij de westflank van een wijde anticlinale structuur, waarin de magnetische Devilliaangesteenten - waarvan het voorkomen dus niet aangetoond is - de kern konden uitmaken, evenwel beperkt tot de zone ten noorden van de Demerbreuk (breuk van Bilzen), die op deze wijze ook in het Massief van Brabant een functie toegewezen kreeg. Alhoewel de optie van een Devilliaan subcrop structureel aanvechtbaar is en niet beantwoordt aan de aard van de magnetische anomalie, is het ons op dit ogenblik niet mogelijk om voor de interne structuur van het Massief van Brabant een beter alternatief voor te stellen.

REFERENTIES

Bless, M.J.M.; Bouckaert, J.; Bouzet, Ph.; Conil, R.; Cornet, P.; Fairon-Demaret, M.; Groessens, E.; Longerstae, P.J.; Meessen, J.P.M.Th.; Paproth, E.; Pirlet, H.; Strel, M.; Van Amerom, H.W.J. & Wolf, M., 1976 - Dinantian rocks in the subsurface North of the Brabant and Ardenno-Rhenish massifs in Belgium, the Netherlands and the Federal Republic of Germany. Meded. Rijks Geol. Dienst, N.S. 27-3: 81-195.

Bless, M.J.M.; Bosum, W.; Bouckaert, J.; Dürbaum, H.J.; Kockel, F.; Paproth, E.; Querfurth, H. & Van Rooyen, P., 1980 - Geophysikalische Untersuchungen am Ost-Rand des Brabanter Massivs in Belgien, den Niederlanden und der Bundesrepublik Deutschland. Meded. Rijks Geol. Dienst, 32-17: 313-343.

Bless, M.J.M. & Bouckaert, J., 1988 - Suggestions for a deep seismic investigation north of the Variscan mobile belt in the SE Netherlands. Ann. Soc. géol. Belg., 111: 229-241.

Bless, M.J.M., 1989 - Geological investigations around the eastern end of the Brabant Massif: historical overview. Bull. Soc. belge Géol., 98: 201-208.

Bosum, W., 1965 - Interpretation magnetischer Anomalien durch dreidimensionale Modellkörper zur Klärung geologischer Probleme. Geol. Jb., 83: 667-680.

Chacksfield, B.; De Vos, W.; D'hooge, L.; Dusar, M.; Lee, M.; Poitevin, C.; Royles, C.; Vandeborg, T.; Van Eyck, J. & Verniers, J., 1992 - A new look at belgian aeromagnetic and gravity data through image-based display techniques. Belg. Geol. Dienst, Prof. Paper (in druk).

Delmer, A., 1963 - Carte des mines du bassin houiller de la Campine. Ann. Mines Belg., 1963-6: 739-754.

De Smedt, P.; Driessen, L. & Vanbaelen, J., 1981 - Hydrogeologische aspecten van de secundaire en vroeg tertiaire formaties in Zuid-Limburg. Hydrographica 2, N.M.W.: 13 p.

Dusar, M., 1982 - Exploration for coal in the Belgian Campine. Public. Natuurhist. Gen. Limburg, 32 (1-4): 27-39.

Dusar, M.; Bless, M.J.M.; Borremans, G.; Burger, K.; De Loose, J.; Fairon - Demaret, M.; Felder, P.J.; Gullentops, F.; Lie Sun Fan; Muchez, Ph.; Paproth, E.; Pierart, P.; Rossa, H.G.; Smolderen, A.; Somers, Y.; Steurbaut, E.; Streel, M.; Viaene, W.; Witte, H. & Wouters, L., 1987 - De steenkoolverkenningboring Gruitrode - Ophovenderheide (Boring 172 van het Kempens Bekken). Belg. Geol. Dienst, Prof. Paper 1987/3, Nr.230: 235 p.

Forir, H., 1903 - Sondage n°44, à Hoesselt. Ann. Mines Belg., 8: 1055-1058.

Grosjean, A., 1936 - Première ébauche d'une carte structurale du gisement houiller de la Campine limbourgeoise. Mém. Inst. géol. Louvain, 10: 361-401.

Gulinck, M., 1960 - Observations sur la faille du Démer. Bull. Soc. belge Géol., 69: 40-41.

Halet, F., 1925 - Les failles de la région du Haut-Démer. Bull. Soc. belge Géol., 35: 120-148.

Halet, F., 1932 - La géologie du flanc occidental de la vallée de la Meuse à l'ouest de l'enclave de Maastricht d'après les sondages d'étude du canal Albert. Bull. Soc. belge Géol., 42: 195-225.

Harding, T.P., 1985 - Seismic characteristics and identification of negative flower structures, positive flower structures, and positive structural inversion. Am. Ass. Petrol. Geol. Bull. 69: 582-600.

Kimpe, W.F.M.; Bless, M.J.M.; Bouckaert, J.; Conil, R.; Groessens, E.; Meessen, J.P.M.Th.; Poty, E.; Streel, M.; Thorez, J. & Vanguetaine, M., 1978 - Paleozoic deposits east of the Brabant Massif in Belgium and The Netherlands. Meded. Rijksgeol. Dienst, 30-2: 37-103.

Langenaeker, V., 1990 - Belgische Geologische Dienst Seismische campagne LSC 1989 (Kempens Bekken, NE-België). Interpretatie. K.U.Leuven, Historische Geologie.

Legrand, R., 1951 - Carte géologique et hypsométrique du Socle Paléozoïque de la Belgique. Bull. Soc. belge Géol., 59: 36-39.

Legrand, R., 1968 - Le Massif du Brabant. Mém. Explic. Cartes géol. et minières, 9: 148 p.

Lohest, M.; Habets, A. & Forir, H., 1903 - Etude géologique des sondages exécutés en Campine et dans les régions avoisinantes (avec coupes et analyses des sondages de la Campine, du Limbourg hollandais et du territoire allemand). Ann. Soc. géol. Belg., 30: M101-678.

Poty, E., 1989 - Similar tectono - sedimentary evolution and important lateral changes in a block-faulting system. Ann. Soc. géol. Belg., 112: 250-251.

Rühmkorf, H.A., 1959 - Prospection séismique en Campine belge. Discussion des principaux horizons sous leurs aspects séismiques. Ann. Mines Belg., 1959: 535-542.

Servais, T., 1989 - Rapport concernant l'analyse palynologique d'échantillons de 14 sondages dans le Paléozoïque inférieur du Brabant. Univ. Liège.

Seismos (Rühmkorf & Wierczyko), 1956 - Rapport sur les Etudes séismiques dans la Région Campine belge 1953-1956. Service géologique de Belgique - Seismos Archiv Nr. 881.

Service géologique de Belgique, 1963 - Carte aéromagnétique de Belgique. Compagnie générale de Géophysique, Paris.

Tavernier, R. & de Heinzelin, J., 1963 - Introduction au Néogène de la Belgique. Mém. Soc. belge Géol., 6: 7-30.

Van den Broeck, E. & Rutot, A., 1883 - Explication de la feuille de Bilsen. Mus. Hist. nat. Belg., Serv. Carte géol. Royaume, Bruxelles, 212 p.

Van Ertborn, O., 1905 - Les sondages houillers en Campine. Etude critique et rectificative au sujet des interprétations données jusqu'ici aux coupes des morts-terrains tertiaires et quaternaires. Bull. Soc. belge Géol., 19: M 133-246.

Vanguetaine, M., 1973 - Etude palynologique du Cambro-Ordovicien de Belgique et de l'Ardenne française. Univ. de Liège, Thèse de Doctorat.

Wrede, V., 1987 - Der Einfluss des Brabanter Massivs auf die Tektonik des Aachen - Erkelenzer Steinkohlen-gebietes. N.Jb.Geol.Paläont.Mh., 3: 177-192.

Wolf, M., 1982 - Coalification pattern in the Visé-Puth area around Maastricht (the Netherlands). Public. Natuurhist. Gen. Limburg, 32: 48-49.

Wolf, M. & Bless, M.J.M., 1987 - Coal-petrographic investigations from the boreholes Thermae 2000 and Thermae 2002 (Valkenburg a/d Geul, The Netherlands). Ann. Soc. géol. Belg., 110: 77-84.