

KONINKRIJK BELGIË  
MINISTERIE VAN ECONOMISCHE ZAKEN  
Mijnwezen - Aardkundige Dienst van België  
13, Jennerstraat - 1040 Brussel

# Geologische aspecten van de mogelijkheid tot de aanwending van geothermische energie in Noord België

door

N. VANDENBERGHE en J. BOUCKAERT

Professional Paper 1980|1

Nr 168

KONINKRIJK BELGIË  
MINISTERIE VAN ECONOMISCHE ZAKEN  
Mijnwezen - Aardkundige Dienst van België  
13, Jennerstraat - 1040 Brussel

# Geologische aspecten van de mogelijkheid tot de aanwending van geothermische energie in Noord België

door

N. VANDENBERGHE en J. BOUCKAERT

Professional Paper 1980|1

Nr 168

## INHOUDSTAFEL

	<u>Bladzijde</u>
1. INLEIDING	1
1.1 Het bestaan van een geothermische flux.	1
1.2 De aanwending van de geothermische flux als energiebron.	2
1.2a "Hot-dry-rock" geothermische energie.	2
1.2b Hoge energie geothermische energie.	3
1.2c Lage energie geothermische energie.	3
1.2d Zeer lage energie geothermische energie.	4
1.3 Geologische mogelijkheden in België voor de aanwending van geothermische energie. Een overzicht.	5
2. DE VISEAANKARST IN HET GEBIED TEN NOORDEN VAN HET MASSIEF VAN BRABANT.	6
2.1 Het volume van het reservoir.	7
2.1a De isobathen van de top van het Viseaan.	7
2.1b De dikte van de karstzone, de invloed van de tektoniek op het Viseaan en het contact tussen de verschillende karsten.	9
2.1c Onderscheid tussen compacte en gekarstifieerde kalksteen.	11
2.2 Temperatuur van het reservoir.	12
2.3 Debiet en stijghoogte van het karstwater.	13
2.4 Samenstelling van het karstwater.	14

Bladzijde

3. DE ZANDSTENEN VAN NEEROETEREN (WESTFALIAAN D). 16
4. DE WATERVOERENDE LAAG IN HET MAASTRICHTIAAN  
TUFKRIJT AAN DE TOP VAN HET KRIJT. 17
5. CONCLUSIES. 18

BELGISCHE GEOLOGISCHE DIENST

GEOLOGISCHE ASPEKTEN VAN DE MOGELIJKHEID TOT DE  
AANWENDING VAN GEOTHERMISCHE ENERGIE IN NOORD  
BELGIE.

---

door N. VANDENBERGHE  
J. BOUCKAERT.

1. INLEIDING

1.1. Het bestaan van een geothermische flux.

Uit directe en indirecte observaties heeft men kunnen leren dat het inwendige van onze aarde een positieve bijdrage levert tot het totale warmtebilan van het aardoppervlak.

Een van de meest duidelijke aanwijzingen dat binnenin de aarde hoge temperaturen heersen is de vulkanische activiteit. Deze is volgens een in zekere mate definieerbaar patroon verdeeld over het aardoppervlak alsook onregelmatig in de tijd en vandaar is de juiste vulkanogene energie inbreng moeilijk precies te bepalen ( $10^{18}$  tot  $10^{19}$  cal/jaar).

Anderzijds, in gebieden die buiten de invloedssfeer van relatief recente vulkanische activiteit gelegen zijn, stelt men eveneens een ~~temperatuurstoename~~ met de diepte vast bij ~~temperatuursmetingen~~ in diepere boorgaten en bij diepe mijnbouwactiviteiten.

Deze toename gebeurt vrij regelmatig en een normale gradiënt daarbij is 3 tot 4° C/100 m.

De hoeveelheid warmte die afgevoerd wordt door de aardkorst, praktisch uitsluitend een conductie verschijnsel, is recht evenredig met het product van de thermische conductiviteit van het materiaal en de geothermische gradiënt. De relatief lage conductiviteit van gesteenten en sedimenten ( $10^{-3}$  tot  $10^{-2}$  cal/C°.sec. cm) is er de oorzaak van dat niettegenstaande de geringe warmteflux vanuit de aarde ( $1,5 \cdot 10^{-6}$  cal/cm<sup>2</sup>.sec.) er toch een belangrijke temperatuursgradiënt ontstaat in de aarde.

De oorzaak van de warmteflux vanuit de aarde is voor 80 tot 90% toe te wijzen aan de natuurlijke desintegratie van aanwezige radioactieve isotopen naar dochterelementen in de gesteenten waaruit de aarde opgebouwd is.

Van belang zijn de isotopen met een lange half-waarde tijd ( $10^8$  -  $10^{10}$  jaar), zoals U238, U235, K 40 en Th 232.

Naast deze radioactieve desintegratie warmte, goed voor een  $2 \cdot 10^{20}$  cal/jaar, en de vulkanische warmteproductie van ongeveer  $2,2 \cdot 10^{18}$  cal/jaar zijn nog andere warmtebronnen inwendig de aarde actief; daarvan zijn de aardgetijden vermeldenswaard omdat ze een 2% van de totale warmteflux vanuit de aarde uitmaakt ( $5 \cdot 10^{18}$  cal/jaar) (O. Kappelmeyer, R. Haenel 1974).

## 1.2. De aanwending van de geothermische flux als energiebron.

### 1.2.a "Hot-dry-rock" geothermische energie.

Op dieptes waar de gesteente temperaturen voldoende hoog zijn om economisch interessant te zijn, doch waar geen water, vloeibaar of als stoom, natuurlijkerwijze voorhanden is om aldus de energie naar boven te halen, kan in principe gepoogd worden om water langs één boorgat te injecteren en dan via artificieel gemaakte spleten (bv. hydraulische frakturatie) naar een

tweede, of meerdere boorgaten te doen circuleren om op die manier dan opgewarmd water terug naar boven te kunnen halen. Het is ook mogelijk in droge poreuse hete gesteenten water te laten circuleren en terug boven te halen, doch de controle van het stromingspatroon, om zo weinig mogelijk geïnjecteerd fluïdum te verliezen, is daarbij de voornaamste moeilijkheid.

Deze principes van geothermische energiewinning zijn nog in een experimenteel stadium. Het meest gekende experiment is dit in de granieten van het Jemez Plateau in het noorden van New Mexico in de U.S.A. (Los Alamos).

#### 1.2.b Hoge energie geothermische energie.

Bijzonder hoge temperaturen op relatief geringe dieptes, van die aard dat in economische omstandigheden electriciteit kan gewonnen worden met de stoom, d.w.z., minimaal 160°-200°, komen enkel voor in gebieden die beïnvloed worden door actieve of nog nawerkende vulkanische activiteit. De stoom wordt uit deze formaties gecapteerd via boorgaten en door turbines geleid. Deze vulkanische gebieden liggen niet willekeurig verspreid doch liggen evenals seismische actieve gebieden volgens wel bepaalde geologische patronen, overeenkomend met de contactzones tussen de verschillende platen die onze aardbol omhullen.

#### 1.2.c Lage energie geothermische energie.

Bij temperaturen beneden de 150° C kan het fluïdum niet meer gebruikt worden om rechtstreeks turbines aan te drijven voor electriciteitsproductie.

Indien de temperatuur van het formatiewater tussen de 80° C en 150° C is, is het nog wel mogelijk electriciteit te produceren doch via een warmte uitwisseling tussen het opgepompte formatiefluïdum en een vluchting fluïdum (freon, ammoniak, isobutaan) dat dan de turbines aandrijft. Dergelijke installaties zijn nog zeldzaam doch werken reeds in enkele landen.

Wanneer watervoerende formaties temperaturen hebben van meer dan 60° C kan het water opgepompt worden en gebruikt worden voor de verwarming van gebouwencomplexen, serres, en dergelijke. De warmte wordt via een wisselaar overgedragen op een verwarmingscircuit omwille van het meestal corrosieve karakter en de precipitatie neiging van grondwater op de dieptes die geschikte temperaturen leveren (1.000-3.000 m). Dergelijke samenstelling van dat grondwater maakt ook de reinjectie van dat water nodig.

De reinjectie gebeurt in dezelfde formatie, ook om aldus de druk in die watervoerende formatie te helpen constant houden (weerslag op het produktie debiet). Dit systeem met een produktie en reinjectie boring wordt een geothermisch doublet genoemd. Het reinjecteren veroorzaakt het ontstaan van een afkoelingsfront dat na verloop van tijd de produktieplaats zal snijden en aldus een verlaagde temperatuur in de winning zal veroorzaken. Daarom moeten produktie en reinjectie zone ook een minimale afstand van elkaar verwijderd zijn in de warmwater voerende laag (grootte orde 1 à 2km). De dieptes waarop deze lage energie waterlagen voorkomen maken de boorkostprijs ook relatief hoog; zeer duur is eveneens het geïsoleerd transporteren van de warmte. Vandaar dat voor een economische toepassing een geconcentreerd energieverbruik nabij de winningsplaats een noodzaak is.

#### 1.2.d Zeer lage energie geothermische energie.

Het onttrekken van dieper grondwater met een temperatuur lager dan 60° C vergt minder diepe boringen en is dus niet zo duur, doch ook de energetische waarde is duidelijk minder. Hoe lager de temperatuur hoe frekwenter dat dergelijke aquifers voorkomen in de geologische opbouw van een gebied.

Gebruiken ervan betreffen o.a. verwarming van zwembaden, aquacultuur, eventueel hydrotherapie, en dergelijke.



1.3. Geologische mogelijkheden in België voor de aanwending van geothermische energie. Een overzicht.

Er werd reeds vermeld dat de winning van hoge energie geothermische energie gebonden is aan de aanwezigheid van een vulkanische zone. Daar dit in België niet het geval is, is de winning van hoge energie geothermische energie dan ook uitgesloten.

Het artificieel creëren van een water of stoomcircuit in diepe warme gesteenten is op wereldschaal nog slechts in een experimenteel stadium. Ook indien dit binnen afzienbare tijd voor commerciële operaties technisch haalbaar zou worden zal een bijkomende beperkende faktor ongetwijfeld zijn dat de geothermische gradiënt in België nooit voor buitengewoon snelle temperatuurstoename zorgt, wat inhoudt dat de boringen zeer diep zullen zijn om een relatief grote energie boven te halen.

Een analyse van alle beschikbare temperatuursmetingen (R. Legrand 1975) resulteerde in temperatuursverdelingskaarten op verschillende diepten. Temperaturen hoger dan 50° C worden vanaf ongeveer 1500 m diepte systematisch teruggevonden : op 2000 m diepte variëren de gekende temperaturen om de 73° + 20° C en op 1500 m om de 55° + 15° C.

Temperatuurskaarten op -1.000 en -1.500 m laten twee gebieden zien die een grotere warmte toename met de diepte hebben dan de omgevende gebieden (Fig. 1). Die twee gebieden komen overeen met de ligging van de steenkoolterreinen, meer speciaal met die terreinen waarvan de steenkool nog 25 tot 40% vluchtige bestanddelen bevat (R. Legrand 1975).

De dieptes met temperaturen van 60° C of meer, zijn natuurlijk voor lage energie geothermische energie pas bruikbaar voor zover er watervoerende formaties aanwezig zijn met gunstige hydrologische karakteristieken. Een gekende watervoerende laag beantwoordend aan

deze criteria is de Viseaan karst die zowel ten noorden als ten zuiden van het massief van Brabant voorkomt. Ten noorden van het Brabant massief duikt deze kalksteen formatie sterk naar het noordoosten waar ze dieptes van om en bij de 4.000m bereikt bij de grens met Nederland. Ten zuiden van het Brabants massief duikt de Viseaan kalksteen onder de Midi overschuiving en in het noorden van Frankrijk situeert de top van die kalksteen zich op iets dieper dan 3.000 m (zie A. Delmer 1977, 1978). Waarschijnlijk komen ook de zandstenen van Neeroeteren in aanmerking in het noordoosten van Limburg. Verder blijven nog andere mogelijkheden open waarvoor echter nog heel wat studiewerk dient te gebeuren vooral- eer over de bruikbaarheid ervan iets definitiefs kan gezegd worden, zoals bv. diepere Tournaisiaan kalk- of dolomiet gesteenten in Zuid en Noord-België, kalkgesteenten in de syncline van Namen, Rode lagen in het noordoosten van Limburg.

Voor de toepassing van zeer lage geothermische energie komt in het noorden van het land de top-Maastrichtiaan aquifer in aanmerking. Minder diep gelegen lagen kunnen eventueel in aanmerking komen naargelang de technologie van warmtewinning voortschrijdt, zoals dit reeds nu het geval is voor de warmtewinning uit ondiep grondwater m.b.v. warmtepompen. In andere gedeelten van het land zijn ongetwijfeld ook dergelijke mogelijkheden aanwezig.

## 2. DE VISEAANKARST IN HET GEBIED TEN NOORDEN VAN HET MASSIEF VAN BRABANT.

Een geologische doorsnede waarop de Viseaankarst aangeduid is tussen het Massief van Brabant en de Nederlandse grens is weergegeven in fig. 2. Inderdaad waar het Viseaan aangeboord wordt onder Boven-Karboon lagen wordt een watervoerende karst erin aangetroffen te Loenhout-Heibaart (3 boringen waarvan 2 karst aantreffen in de top van het Viseaan en 1 belangrijke karst aantreft in het Midden en Onder Viseaan) en te Turnhout (top Viseaan over een 50 tal meter gekarstifieerd), terwijl te Woensdrecht (Nederland), Halen en Wijvenheide de kalksteen compact was; deze drie lokaliteiten hebben in gemeen

dat zij vrij dicht bij de zuid-zuidwest Viseaan-Boven-Karboon subcrop gelegen zijn. De aangehaalde boringen van Loenhout en Turnhout samen met de indicaties voor het voorkomen van karsten in de top van het Viseaan ten zuiden van het Massief van Brabant, wijzen erop dat men kan stellen dat waar het Viseaan onder het Boven-Karboon voorkomt, de kans op het aantreffen van watervoerende karst zeer groot is.

Om de energetische betekenis van die karst te evalueren dienen het volume van het reservoir, de watertemperatuur, de haalbare debieten en de samenstelling van het water gekend te zijn.

## 2.1 Het volume van het reservoir.

### 2.1.a De isobathen van de top van het Viseaan.

Aangezien een relatief groot aantal boringen die in de Kolenkalk gebeurd zijn watervoerende karsten aangetroffen hebben mag de verbreiding van de karst in eerste benadering gelijk verondersteld worden met de verbreiding van het Viseaan waar dit onder Namuriaan lagen voorkomt.

Een bijkomende beperking om voor geothermische energiewinning in aanmerking te komen is dat de Viseaankarst beneden een bepaalde diepte moet voorkomen om nog een voldoende hoge temperatuur te hebben, bv. om water van 60° C of meer te kunnen voeren moet de karst zich dieper dan ongeveer 1100 m bevinden. Aldus is een gebied afgebakend op fig. 3. De isobathen van de top van het Viseaan zijn gebaseerd op:

- boringen die de top van het Viseaan bereiken.

Deze boringen zijn beschreven in M.J.M. Bless et al. 1976.

- boringen die de top van het Boven-Karboon bereiken, gecombineerd met een kennis van de diktes van het Boven-Karboon.

Er bestaat geen enkele gekende reden om te veronderstellen dat in het betreffende gebied de dikte van het Westfalien sterk zou variëren (1000m voor het Westfalien A, 630m voor het Westfalien B, 600m voor het Westfalien C en 200 meters gekend voor het Westfalien D).

Slechts in de boring Rijsbergen-1 heeft men een vermindering van dikte kunnen vaststellen. De dikte van het Namurien in de Kempen en Zuid-Limburg (NL) is eerder constant (van 600 tot 800 m).

Daarentegen heeft men in de Rijsbergen-1 boring een omvangrijke toename van Namurien sedimenten kunnen waarnemen : meer dan 1.800 m.

Rijsbergen is slechts 30 km ten noorden van Turnhout gelegen en 30 km ten oosten van Woensdrecht.

Deze dikte toename op korte afstand wijst op het bestaan van diepe troggen ontstaan door verticale bewegingen. Men mag dan ook veronderstellen dat op andere plaatsen, meer bepaald in het gebied ten oosten van de breuk van Corspel, troggen voorkomen zodat het Dinantiaan daar op zeer grote diepte komt te liggen.

#### - *Seismische metingen.*

Sinds 1953 werden verschillende seismische campagnes in de Kempen uitgevoerd, enerzijds in opdracht van private firma's, anderzijds in opdracht van de Geologische Dienst. Deze laatste heeft in 1953-1956 een in hoofdzaak reflectie-seismiek laten uitvoeren door de firma Seismos (Hannover).

Wat de Kolenkalk betreft is daarbij aan het licht gekomen dat de top van deze formatie een kenmerkende reflectie-horizont is in het zuidelijk deel van de Kempen, doch dat naar het noorden toe de reflectie verdwijnt en dat in de plaats daarvan verschillende

multiple reflectie spiegels konden waargenomen worden. Refractie en reflectie-seismiek werd eveneens door de firma Seismos ondernomen voor rekening van de "Société Campinoise de Recherches et d'exploitations minérales" (SCREM) in 1961-1962, in het noordwestelijk en westelijk deel van de Kempen,

Beide campagnes werden door Petrofina N.V. herinterpreteerd alsmede werden bewerkingen van enkele reflectie profielen van de tweede campagne door Petrofina gepubliceerd in 1976 (IWONL project E75/548).

Voor het onderaards opslaan van gas werd in opdracht van Distrigaz door Prakla (Hannover) reflectie-seismiek met de vibroseis techniek uitgevoerd in 1974-1975, in de streek van Loenhout. Ook hier laat de top van het Dinantiaan zich nauwkeurig karteren.

In de streek van Meer-Hoogstraten werd ter voorbereiding van een geothermisch project op initiatief van Geologische Dienst in 1978 een 20 km vibroseis reflectie-seismisch onderzoek uitgevoerd door Prakla-Seismos. De gegevens van al deze seismische campagnes voor wat de top van het Viseaan betreft zijn na enkele aanpassingen verwerkt in fig. 3.

2.1.b De dikte van de karstzone, de invloed van de tektoniek op het Viseaan en het contact tussen de verschillende karsten.

Over de dikte van de bovenste karstzone in het Viseaan zijn gegevens bekend te St. Ghislain, bijna 150m in overwegend anhydriet; te Turnhout : 46m in kalksteen (Gulinck 1956) en te Heibaart, minstens 15 m in de kalksteentop, met nog belangrijkere karst op grotere diepte (niet gepubliceerde rapporten Distrigaz, Petrofina).

De globale porositeit in een volume van die karstzone is moeilijk te schatten gezien het onregelmatig karakter, per definitie, van oplossingsruimten. Voor berekeningen over voorradige watervolumes is een geraamde holte porositeit van 25 % wellicht niet overdreven gezien de spleetporositeit van het watervoerende Senoon krijgt, dat een duidelijk mindere permeabiliteit heeft, reeds + 15 % bedraagt. Een belangrijke vraag voor het aanwenden van het karstwater als geothermische bron is of deze karstoplossingen over de ganse zone waar ze voorkomen ten noorden van het Massief van Brabant met mekaar in contact staan.

Hierbij dient nagegaan te worden hoe het breukpatroon in het Viseaan verloopt, welke de grootte orde van de breukbedragen is, en of er langs de breuken een niet verwaarloosbare permeabiliteit bestaat. De tektonische stijl van het paleozoïcum in het desbetreffende gebied is deze van steilstaande blokvormde breuken.

Deze breuken zullen, indien ze een bedrag hebben dat groter is dan de dikte van de karstzone aan alle zijden van een blok, het karstreservoir in een aantal niet-communiserende kleinere reservoirs indelen door de permeable karstzone in contact te brengen met niet permeable kalksteen of Namuriaan schiefers.

Uit de tektoniek van het Kempens Steenkoolbekken weet men dat breuken met een bedrag van meer dan 100 m op afstanden van ongeveer 1 tot 10 km en meer van mekaar gespatieerd liggen. In sommige gevallen kruisen belangrijke breuken elkaar zodanig dat blokken gevormd worden, meestal met enkele km<sup>2</sup> horizontale doorsnede. In de meeste gevallen komt het niet tot echte blokken omdat de longitudinale breuken veel belangrijker zijn dan de transversale (A. Delmer 1963). De meeste breuken zijn bovendien afschuivingen, dus rekbreuken zodat een permeabiliteit erlangs wellicht reëel is.

Het breukpatroon in het Viseaan van het noorden van het land is gegeven in fig. 3.

Zelfs indien de breukactiviteit het karstzone niveau niet in zo kleine blokken heeft ingedeeld dat het reservoir te versnipperd is geworden blijft nog de vraag of de aangeboorde karsten met elkaar in verbinding staan of slechts lokale niet communicerende oplossingsholten voorstellen.

Er werd voor het gebied ten zuiden van het Massief van Brabant aangetoond dat deze karsten wellicht met elkaar in verbinding staan a.h.v. het algemeen voorkomen van sulfaatrijke waters, de relatief hoge temperatuur in ondiep gelegen karstniveaus alsook in bronnen evenals in de tunnels te Baudour, (A. Delmer 1980).

Ten noorden van het Massief van Brabant, in de boring te Loenhout is de temperatuur van het water in de karst hoger dan wat normaal mag verwacht worden volgens de gradiënt gemeten in de gesteenten van de boring zelf (zie 2.2); dit veronderstelt een communicatie met dieper gelegen karstwater.

#### 2.1.c Onderscheid tussen compacte en gekarstifieerde kalksteen.

Het is duidelijk dat het geologisch risico van een project in een karstreservoir in belangrijke mate kan verminderd worden indien vooraf op indirecte wijze kan vastgesteld worden of de kalksteen over een bepaalde dikte compact is ofwel oplossingsruimten vertoont.

Gebaseerd op seismische theorie kan een werkmethode uitgedacht worden waarbij verschillen in reflectiefrekwenties in verband kunnen gebracht worden met de aan of afwezigheid van karsten.

Deze karsten met het eventuele invulmateriaal zullen akoestische eigenschappen vertonen die duidelijk verschillen van deze van de kalksteen zelf. De seismische golven die invallen op deze inhomogeniteiten zullen vertrooid worden en een zone nalaten van diffuse energie. Dit fenomeen zal uiteraard belangrijker worden naarmate de karsten proportioneel een groter volume van de kalksteenformatie innemen. De amplitudo van de verstrooide golven op afstanden die groot zijn in vergelijking met de golflengten van de zich voorplantende golven is omgekeerd evenredig met de afstand van de verstrooibron tot het observatie punt, recht evenredig met het volume van de verstrooibron en omgekeerd evenredig met het vierkant van de frekwentie; aldus is de resulterende energie een frekwentie selectief fenomeen en karsten moeten dus samengaan met een reflectie verzwakking in de hoge frekwenties. Volgens een formulering door Lord Rayleigh is het mogelijk een relatie te vinden tussen de verticale karstdimensies, de voortplantingssnelheid, de frekwentie en de invalshoek van de golven.

De experimentele veldcondities die het best die karstinhomogeniteiten kunnen laten uitkomen in seismische profielen kunnen bepaald worden a.h.v. computer simulaties en modelleringen. Het is de bedoeling binnenkort in de provincie Antwerpen deze theorie uit te testen.

## 2.2. Temperatuur van het reservoir.

De bekende gegevens over de temperatuursevolutie met de diepte, relevant voor het gebruik van geothermische energie in het gebied zijn gegeven in fig. 1; op grotere dieptes kan in een eerste benadering met een toename van 3 tot 4° C/100m gerekend worden.



De toename van de temperaturen met de diepte in de 2 boorgaten te Turnhout en te Loenhout is weergegeven in fig. 4. Uit metingen enerzijds in de Viseaan aquifer en anderzijds in de gesteenten van de Loenhout en Turnhout diepboringen blijkt dat volgens de geothermische gradiënt in de gesteenten de temperatuur van het Viseaan karstwater te Loenhout op ongeveer 1150 m te hoog is. Dit is wellicht te wijten aan convectiestromen die optreden door temperatuurs- en bijgevolg dichtheidsverschillen met de diepte wat meteen de verbinding tussen die karsten over belangrijke afstanden impliceert. Een dergelijke convectie werd in de Viseaan karsten ten zuiden van het Massief van Brabant eveneens vastgesteld (A. Delmer 1980). Uit het verloop van de geothermische gradiënt op fig. 4 blijkt dat karstwater en gesteente een zelfde temperatuur verkrijgen vanaf ongeveer 2200 m .

Aan de hand van de geothermische gradiënt van karstwater op fig. 4 en een toename van  $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  voor het karstwater op dieptes groter dan 2200 m kunnen op de isobathenkaart nu ook isothermen van het karstwater ingetekend worden (fig. 3). Vooral naar het noorden en het oosten toe kunnen temperaturen verwacht worden die voldoende hoog oplopen voor de elektriciteitsproductie via een binair systeem.

### 2.3 Debiet en stijghoogte van het karstwater.

Air-lift testen ten tijde van de boring van Turnhout (1953-1955) haalden een debiet van meer dan  $30\text{m}^3/\text{uur}$ . Het karstwater is een spanningslaag die in rust te Turnhout een stijghoogte had tot het - 76m niveau. Tijdens het pompen steeg het water, doordat de temperatuur van het opgepompte water in het boorgat toenam in vergelijking met de rusttoestand en aldus de dichtheid van de waterkolom verminderde. Door vermenging met Krijtwater

vanop een 700 m diepte, van weliswaar lagere temperatuur doch veel geringere saliniteit, steeg de stijghoogte tot het - 11 m niveau (M. Gulinck 1956). Te Loenhout is de stijghoogte van de aangeboorde Viseaan waterlaag ongeveer tot het niveau - 34 m (rapport Distrigaz).

Deze gegevens samen met de ervaringen over de bereikte debieten ten zuiden van het Massief van Brabant, laten toe aan te nemen dat een debiet van 200 m<sup>3</sup> uur haalbaar is in de Viseaankarst.

#### 2.4 Samenstelling van het karstwater.

Zowel te Turnhout als te Heibaart was het karstwater bijzonder rijk aan opgeloste zouten. Te Heibaart 96 tot 114 gr/lit. en te Turnhout 135 gr/lit., met een pH van 5,8 tot 6.

De analyse van het water te Turnhout werd gepubliceerd door M. Gulinck (1956). Het hoofdbestanddeel van de opgeloste zouten is NaCl.

Belangrijk is de aanwezigheid van H<sub>2</sub>S gas en Fe<sup>++</sup>, (rapport Distrigaz), het eerste als supplementair corrosie probleem en het tweede als gelvormend element bij oxidatie. De hoge saliniteit van het karstwater is enerzijds geruststellend voor het hydrostatisch karakter van de karst ten noorden van het Massief van Brabant doch stelt anderzijds hoge eisen qua corrosieweerstandigheid aan het te gebruiken materiaal en verhoogt het gevaar op verstoppingen door minerale neerslagen.

Bovendien dienen speciale voorzorgen genomen te worden om drinkwaterlagen die door de boringen doorsneden worden niet te contamineren. De hoge saliniteit van het water noodzaakt ook tot reinjectie van het afgekoelde water.

Door met een karststelsel te doen te hebben is het echter onmogelijk om exacte berekeningen te doen over bv. de spreiding van het afkoelingsfront vanuit de reinjectieboring. Bij de normale reservoirs met homogene permeabiliteitseigenschappen is

de afstand tussen de produktie- en reinjectie put van de grootteorde van 1 km om te vermijden dat het afkoelingsfront na 30 jaar reeds de produktie winning zou snijden.

Om toch een veiligheid in te bouwen tegen deze afkoeling in een karststelsel kan gebruik gemaakt worden van de helling van de karst en het dichtheidsverschil tussen het formatiewater in situ en het gereïnjec-teerde fluidum.

De karakteristieken van de Viseaan karst die hierboven werden besproken, hebben aanleiding gegeven tot het opzetten van een project voor serren verwarming te Meer-Hoogstraten.

Ten einde een juist inzicht te hebben over de tektonische compartimentering en de juiste diepte en helling van de karst werden drie vibroseis profielen uitgevoerd door de firma Prakla (rapport 781310 a). Profiel N 7801 (9,7 km) vertrok in het zuiden van nabij de boring te Loenhout - Heibaart waar de stratigrafische sequentie gekend was (fig. 6). De resultaten zijn weergegeven in figuur 5 a, b, c.

De interpretatie op kaart is weergegeven in fig. 6. Aan de dieptes van de Viseaan top worden temperaturen gekoppeld volgens de karstwater gradiënt in figuur 4.

De richting van de breuken is gebaseerd op de gegevens van alle seismische campagnes in het gebied, rekening houdend met de algemene tektonische stijl van Noord België, vooral gekend uit het steenkoolgebied. De verticale spronghoogte van slechts enkele breuken (fig. 6) is belangrijk; de andere breuken hebben een verwaarloosbare spronghoogte.

Voor het volume water nodig voor het geothermisch project te Hoogstraten, waarbij gedurende 6552 uur/jaar een debiet van 200 m<sup>3</sup> /uur nodig is gedurende minimum 30 jaar, en rekening houdend met een reservoir van 30m dik en 25% porositeit, redelijke geschatte reservoirkarakteristieken voor de top-Viseaan karst- moet het reservoir zich minstens over iets meer dan 5 km<sup>2</sup> uitbreiden.

Volgens de seismische resultaten te Hoogstraten-Loenhout is de tektonische compartimentering zo dat aan deze konditie voldaan is voor het site van de geplande produktieboring (zie fig. 6).

De juiste inplanting van de produktieboring diende niet alleen rekening te houden met geologische gegevens doch uiteraard ook met de lokalisatie van de gebruiker, en ook met ecologische aspecten.

### 3. DE ZANDSTENEN VAN NEEROETEREN (WESTFALIAAN D).

Een jongere gesteente formatie die mogelijk warm watervoerend is, is de zandsteen van Neeroeteren. Deze zandstenen behoren tot het oudste gedeelte van het Westfaliaan D. Ze werden voor het eerst aangeboord te Neeroeteren in de steenkoolboringen 113 en 117.

In ons land is de verbreiding ervan beperkt tot het uiterste noordelijk en noord-oostelijk gedeelte (zie fig. 3).

Hun dikte bedraagt in Neeroeteren 150 m maar kan variëren naar meer dan 1000 m in het Kempens Brabant Bekken (+ 350 m werden doorboord te Rijsbergen, zie D.H. Van Wijhe en al 1974).

Lithologisch bestaan zij uit bleke zandstenen, ze zijn veldspaat houdend, met een kaolinitisch bindmiddel; sommige niveau's bestaan uit rolkeien en grind samengesteld uit kwarts, schiefer, sideriet en steenkoolbrokken.

Belangrijk is de hoge porositeit van deze zandstenen zoals trouwens aangetoond door het verlies van boorfluidum tijdens de boringen te Neeroeteren.

In de boringen 113 en 117 bedraagt de porositeit 13 tot meer dan 30%, afnemend met toenemende diepte (Petrofina rapport), op basis waarvan kan verwacht worden dat eventueel jongere zandstenen naar het noorden toe geen geringere porositeit zullen vertonen.

In de boring te Neeroeteren is de basis van de zandsteen van Neeroeteren gelegen op 860m diepte; rekening houdend met de algemene afhelling van het steenkoolterrein en met een temperatuurstoename van  $3^{\circ}\text{C}$  per 100m kan bij benadering een  $50^{\circ}\text{C}$  en een  $60^{\circ}\text{C}$  isotherm in het noordoosten van het land bepaald worden. (fig. 4).

Naast deze normale temperatuurstoename moet er ook rekening meegehouden worden dat de zandstenen van Neeroeteren via rekbreuken in contact kunnen staan met diepergelegen poreuse formaties in de slenk van Roermond, die bij toenemende compactie het opgewarmd formatie water kunnen verliezen, door bv. oppersing langs rekbreuken waarbij dat water dan kan indringen in hoger gelegen poreuse formaties onder geringe druk. Het is daarenboven niet uitgesloten dat in deze zandstenen ook een belangrijke gasaccumulatie aanwezig is.

#### 4. DE WATERVOERENDE LAAG IN HET MAASTRICHTIAAN TUFKRIJT AAN DE TOP VAN HET KRIJT.

De dieptes waarop het niet- drinkbare water uit het tufkrijt van het Maastrichtiaan zich in Noord-België bevindt laten enkel toe aan winning van zeer lage geothermische energie te denken.

De diepteligging van de top van het Maastrichtiaan is gegeven in fig. 7. Deze dieptes zijn overgenomen van R. Legrand (1968) alsmede van het seismische profiel N 7801 gegeven in fig.5.

De temperatuur die er aan gekoppeld wordt is afgeleid van fig. 8 waarop een aantal temperatuurgegevens van het Maastrichtiaan en bovenliggende tertiaire lagen ingetekend zijn (gegevens uit R. Legrand 1975). Het is niet uitgesloten dat de temperatuurswaarden voor het Maastrichtiaan water relatief lager liggen omwille van de afkoeling veroorzaakt door de cirkulatie van het zuidelijke drinkbare Maastrichtiaan water tussen het intrekgebied en het winningsgebied dat zich in het noorden uitstrekt tot Beringen - Heusden. De gebruikte geothermische gradiënt op fig. 8 is deze getrokken enkel voor de Maastrichtiaan aquifer : op deze manier is er zeker geen overschatting van de temperatuur gebeurd.

De globale samenstelling van het water is ingetekend op fig. 7. Het betreft ook een NaCl type poriënwater met o.a. ook sulfaten en gereduceerd ijzer. De pH van het water gemeten te Loenhout en te Turnhout is begrepen tussen 6,5 en 7,3. Het watervoerend pakket is 50 tot 80 m dik. In de boringen te Loenhout en te Turnhout was deze aquifer artesisch.

In het zuidoostelijk gebied waar het Maastrichtiaan water als drinkwater gebruikt wordt kan een rendement bekomen worden dat ligt tussen 1 en 10 m<sup>3</sup>/m/h (M. Gulinck 1966). Te Loenhout echter zijn reservoir karakteristieken gemeten (rapport Distrigaz) die, alhoewel niet zeer eenduidig, een rendement aangeven dat hooguit 0,1 m<sup>3</sup>/m/h bereikt. Te Turnhout werd gedurende een 20 jaar het Maastrichtiaan water (8 tot 9 gr/lit. 29,5°C) gebruikt voor de verwarming van het stedelijk zwembad. Tijdens proefpompingen bij het uitvoeren van de boring werd een rendement van 0,5 m<sup>3</sup>/m/h vastgesteld.

Juist ten westen van het voorkomingsgebied van het Maastrichtiaan tufkrijt is in de top van het Senoonkrijt een artesische aquifer gesignaleerd (Hemiksem) met een vergelijkbare chemische samenstelling en een vergelijkbaar rendement als de Maastrichtiaan aquifer te Loenhout (F. Halet 1939).

## 5. CONCLUSIES

Het vinden van geothermie bronnen van het hoge enthalpie type in het noorden van België is om geologische redenen uitgesloten. Wel zijn er watervoerende lagen aanwezig die een temperatuur hebben boven 60° C, een temperatuur die momenteel aanzien wordt als een minimum temperatuur om geothermische energie voor huis- of serreverwarming op een economische manier te kunnen aanwenden. Omwille van de steeds verhogende boorkosten- men mag niet uit het oog verliezen dat de geothermische exploratie en exploitatie technologie grotendeels olie-industrie-technologie betreft- moet men voor lage enthalpie geothermie momenteel een beperking aan de diepte opleggen die schommelt tussen de 3000 en 4000 m. Op die dieptes heersen temperaturen die voldoende hoog zijn om electriciteitsproductie met een werkfluidum te verwezenlijken.

Voor Noord-België zijn goede gegevens bekend over de Viseaan-karst watervoerende laag die aldus geleid hebben tot een project ontwikkeling te Hoogstraten-Meer. Dit project wordt geleid door de G.O.M. Antwerpen en voor het grootste deel gefinancierd door het Ministerie van Economische zaken en de E.E.G.

Andere mogelijkheden zijn misschien voorhanden doch daarvoor dient eerst bijkomend onderzoek verricht te worden. Het betreft de zandstenen van Neeroeteren en de onderste kalksteen of dolomiet lagen van het Onder Karboon.

Dit onderzoek wordt binnen korte tijd door de Geologische Dienst van het Ministerie van Economische zaken aangevat.

Een speciale vermelding verdient ook de Maastrichtiaan watervoerende laag die niet alleen voor zeer laag energetische doeleinden kan geëxploiteerd worden zoals bv zwembaden maar waarvan de porositeit eventueel zou kunnen gebruikt worden voor seizoenale opslag van van dieper opgepompt warm water. De hydrologische karakteristieken zijn daarom momenteel onder studie.

## BIBLIOGRAFIE

BLESS M.J.M et al. 1976

Dinantian rocks in the subsurface North of the Brabant and Ardenno-Rhenish massifs in Belgium the Netherlands and the Federal Republic of Germany.

Mededelingen Rijks Geologische Dienst  
Nieuwe serie vol. 27 n°3, Nederland.

DELMER A. 1963

Mijnkaart van het Kempische Kolen bekken  
Annales des Mines de Belgique 1963  
6e livraison.

DELMER A. 1977

Le Bassin du Hainaut et le sondage de  
St. Ghislain.  
Prof. Paper 1977/6 n° 143.

DELMER A. 1980

La géothermie en Hainaut occidental.  
Perspective d'avenir.  
in : Advances in European geothermal Research,  
Second International Seminar on the  
Results of EC geothermal Energy Research,  
Strasbourg.

DELMER A, GRAULICH J.M., LEGRAND R. 1978

Het opsporen van koolwaterstoffen in België.  
Annalen der Mijnen van België, jaar 1978,  
4e aflevering p 493-501.

GULINCK M. 1956

Caractéristiques Hydrogéologiques du sondage  
de Turnhout.

Communications de l'observatoire royal de  
Belgique n° 108, Série géophysique n° 37.



- GULINCK M. 1966  
Hydrogeologie.  
Atlas van België.
- HALET F. 1939  
Sur la composition et les ressources  
hydrologiques du crétacé dans le sous-sol des  
environs de la ville d'Anvers.  
Bull. Soc. Belge de Géol. Bruxelles  
t. 49, fasc. 1 et 2 pp 51-55.
- KAPPELMEYER O., HAENEL R. 1974  
Geothermics  
Gebrüder Borntraeger, Berlin.
- LEGRAND R. 1968  
Le Massif du Brabant.  
Toelichtende Verhandelingen voor de Geologische  
kaart en Mijnkaart van België n° 9.
- LEGRAND R. 1975  
Jalons géothermiques.  
Toelichtende verhandelingen voor de  
Geologische kaart en Mijnkaart van België  
n° 16.
- PETROFINA 1976  
Campine Belge. Etude Géophysique.  
I.R.S.I.A. project E 75/548.
- PETROFINA 1977  
Etude sédimentologique et géochimique des  
sondages de Neeroeteren.  
I.R.S.I.A. project E 75/548
- VAN WIJKE D.H. et BLESS M.J.M. 1974  
The Westphalian of the Netherlands with special  
references to miospore assemblages.  
Geologie en Mijnbouw 53 pp 295-326.

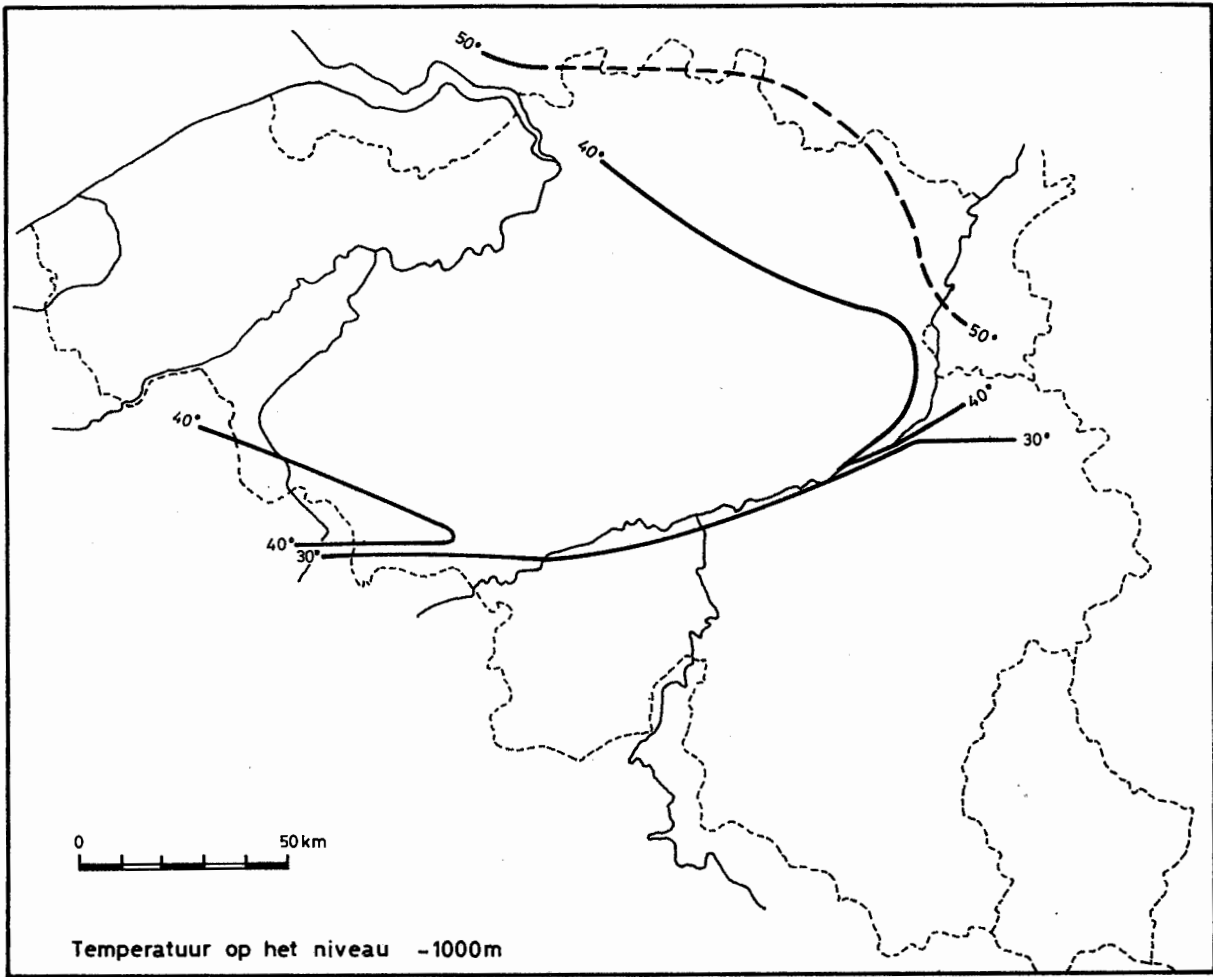


Fig 1a

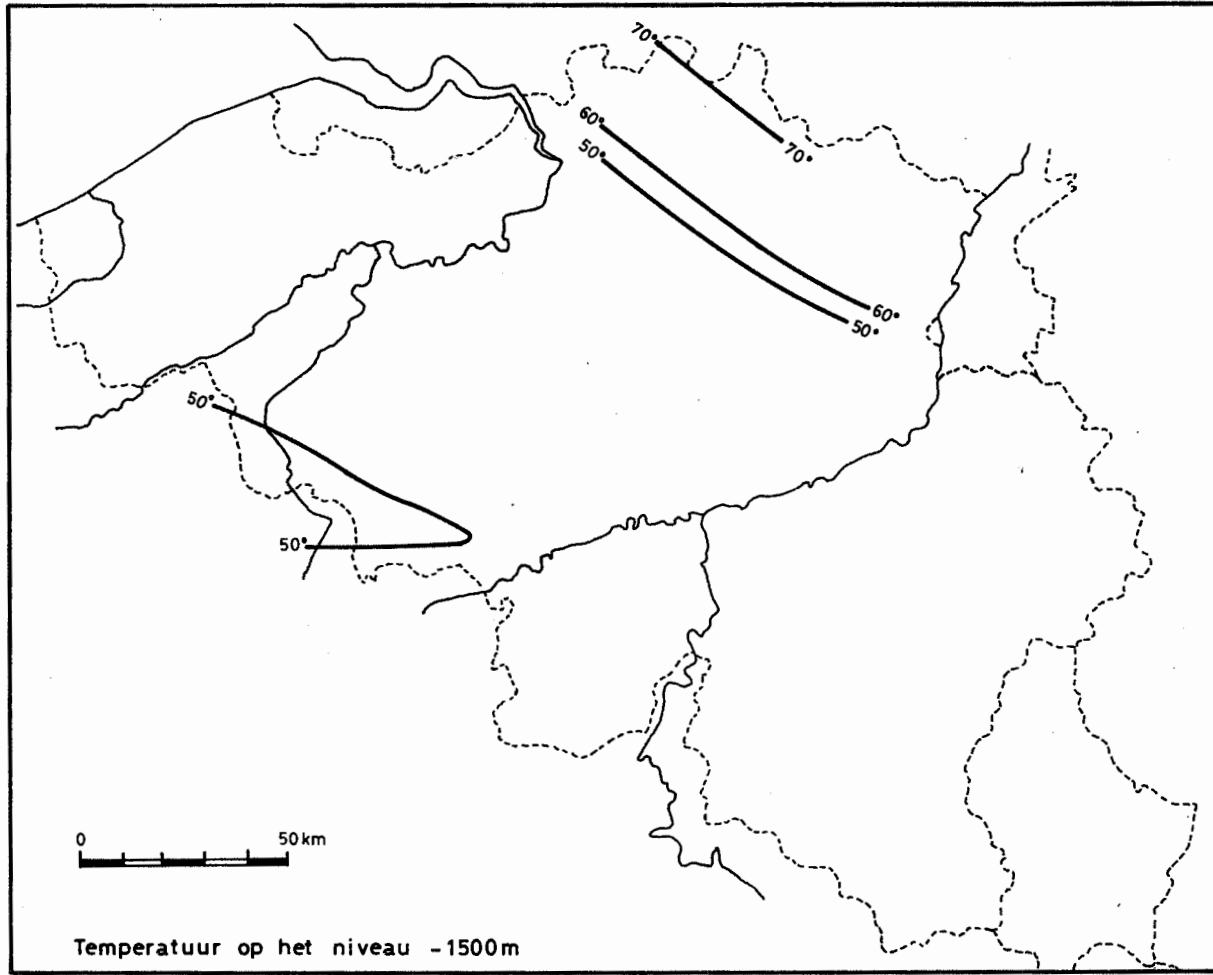


Fig 1b

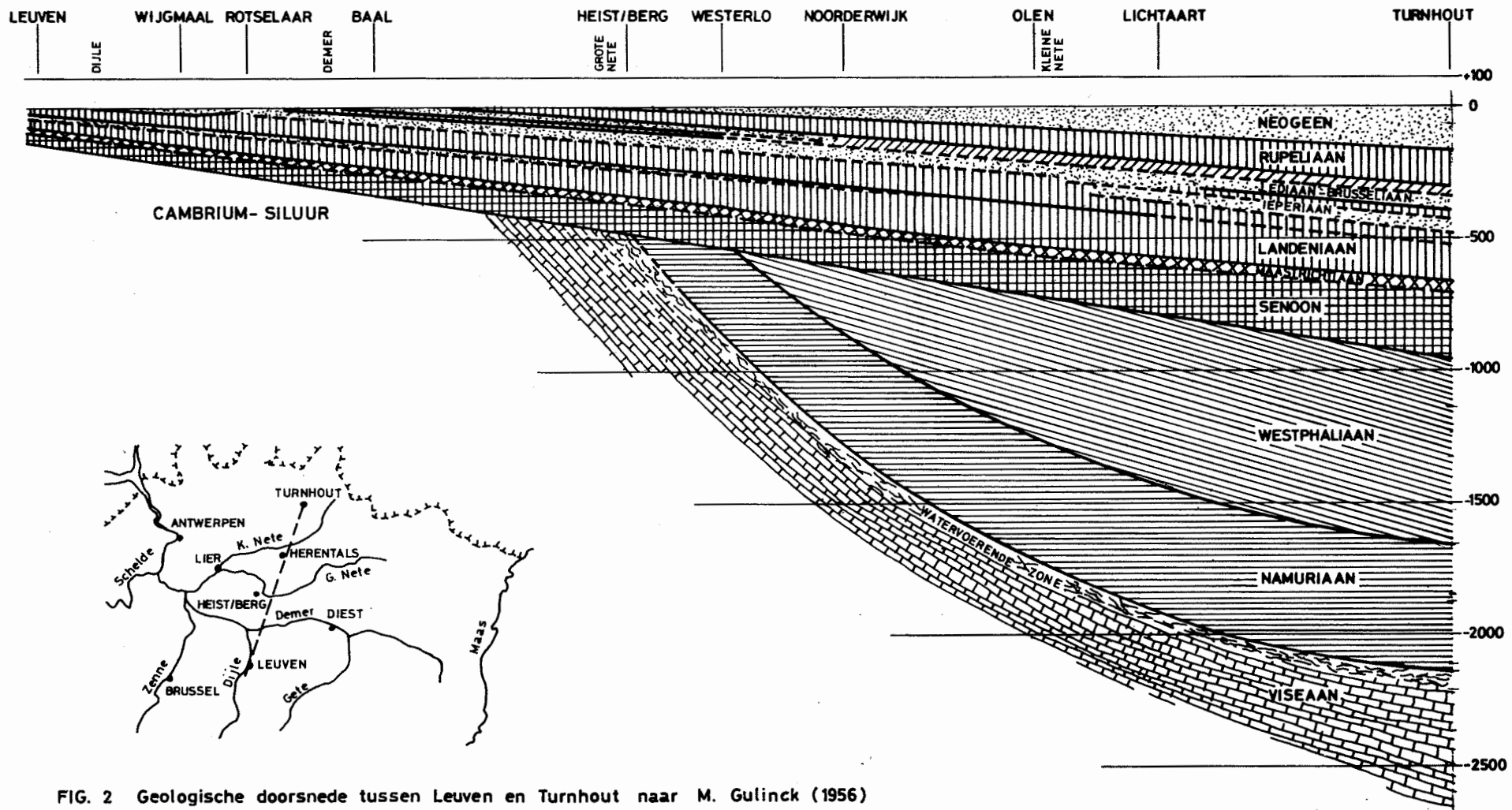
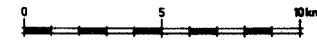


FIG. 2 Geologische doorsnede tussen Leuven en Turnhout naar M. Gulinck (1956)

## DEPTH OF TOP OF THE VISEAN LIMESTONE AND THE NEEROETEREN SANDSTONE OF THE CAMPINE BRABANT BASIN (in meters N.A.L.)

- Isobath of the (Karstified) Dinantian limestone with expected temperature 95°
- 60°C isotherm, southern limit for the exploitation of low temperature geothermal energy
- Fault
- Deepwell with depth where Dinantian was reached
- Southern limit of the occurrence of the Neeroeteren Sandstone
- Isotherms of the Neeroeteren Sandstone
- Dinantian subcrop

NOTE: Oostende level = N.A.L. -232 m



BELGIAN GEOLOGICAL SURVEY  
JB/224/79  
compiled by J. Bouckaert & N. Vandenbergh

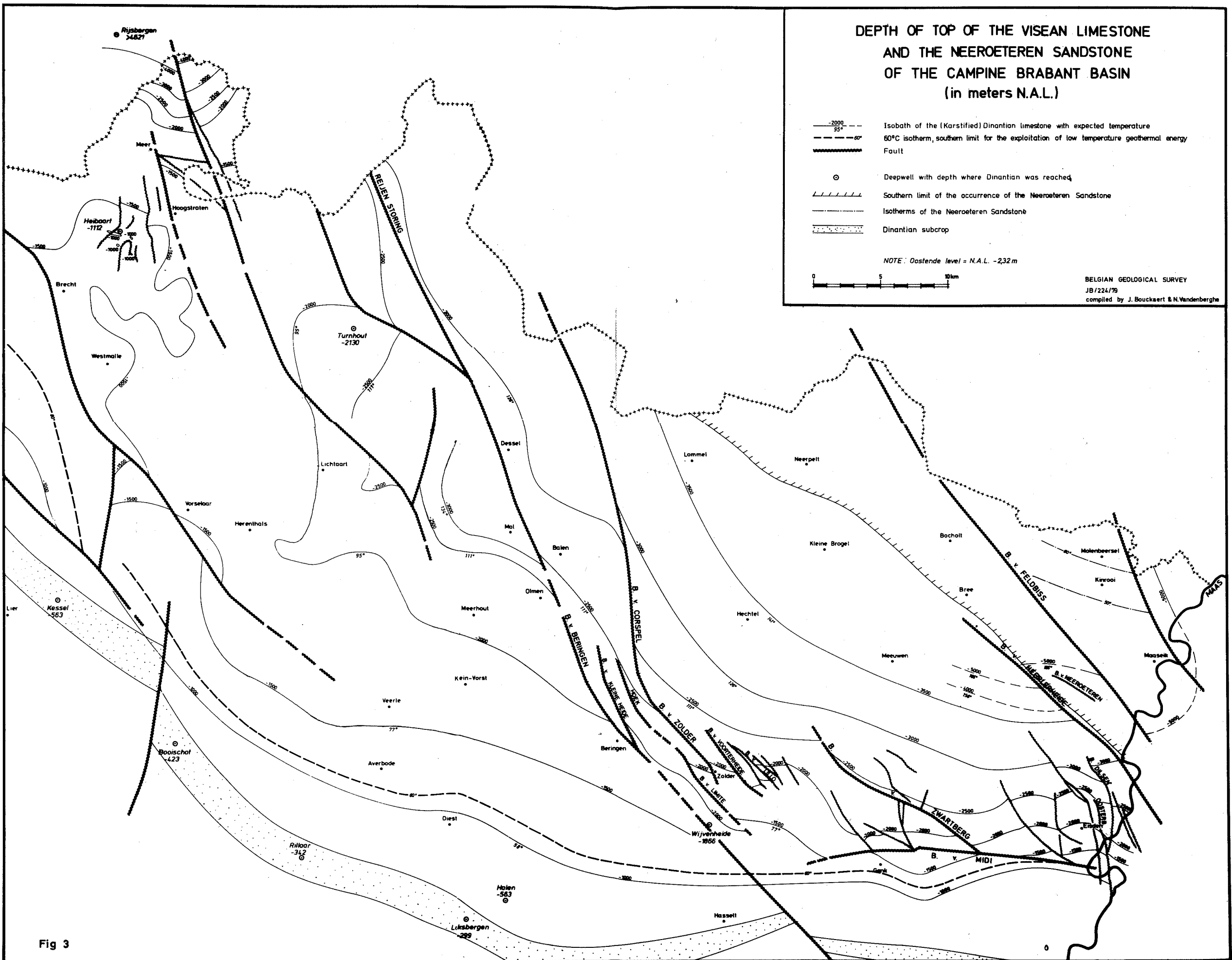


Fig 3

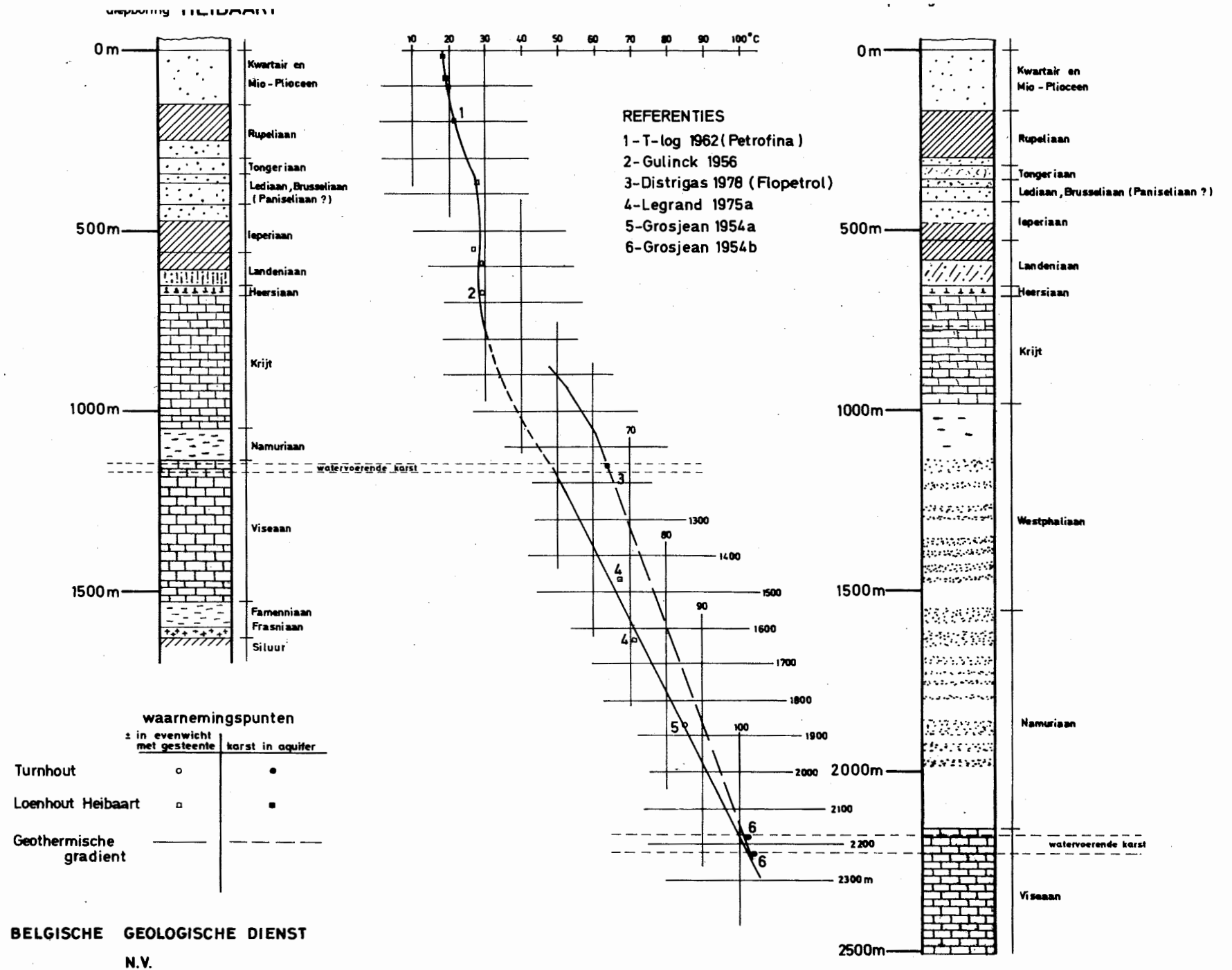
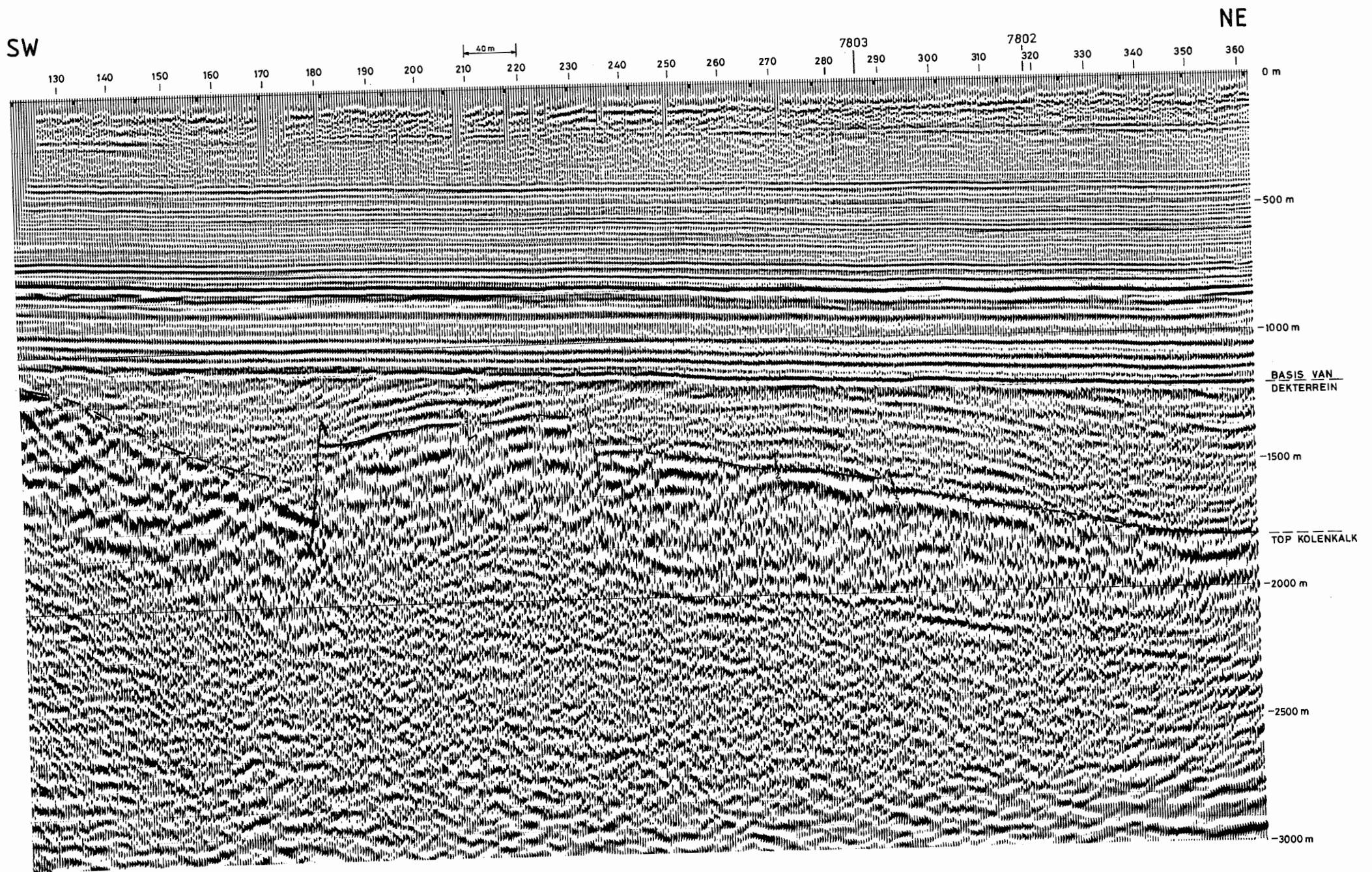


Fig 4

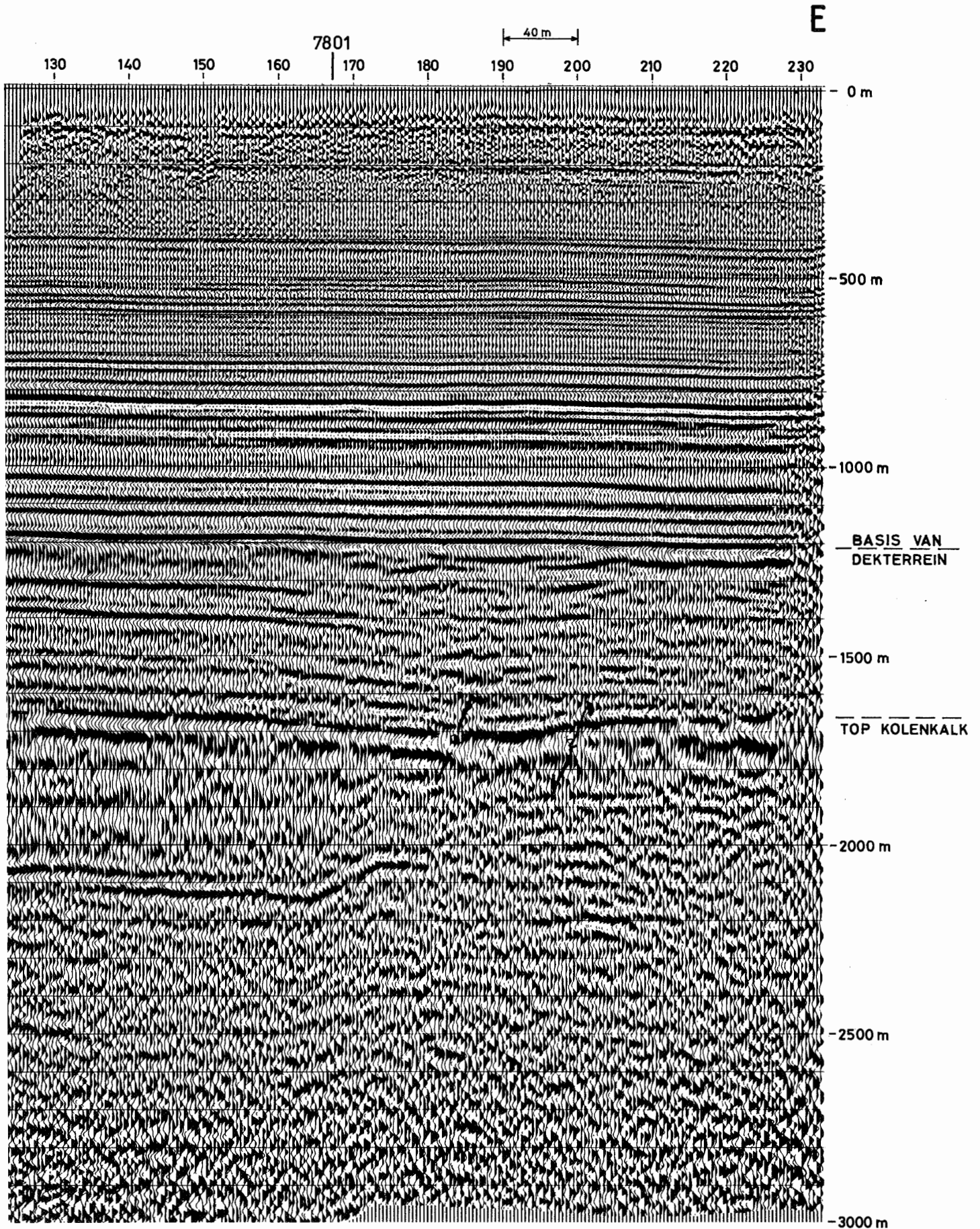
# Diepteomzetting



# PROFIEL 7802

## Diepteomzetting

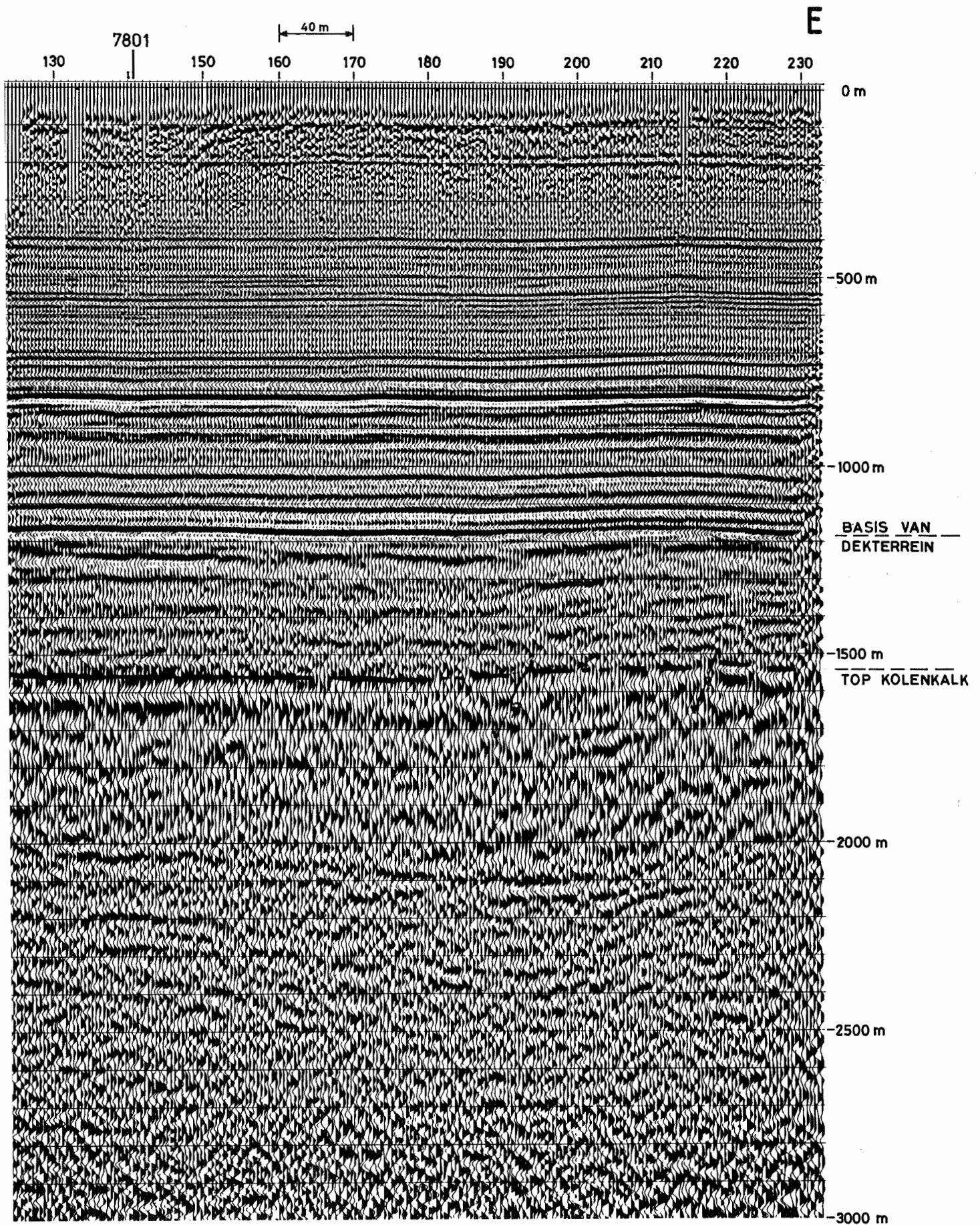
Fig 5b



# PROFIEL 7803

## Diepteomzetting

Fig 5c





Belgische Geologische Dienst - GEOLOGICAL SURVEY OF BELGIUM

Project Geothermie - Noorder Kempen Site Hoogstraten

N7801, N7802, N7803 Vibroseis Profielen (Prakla Seismos)

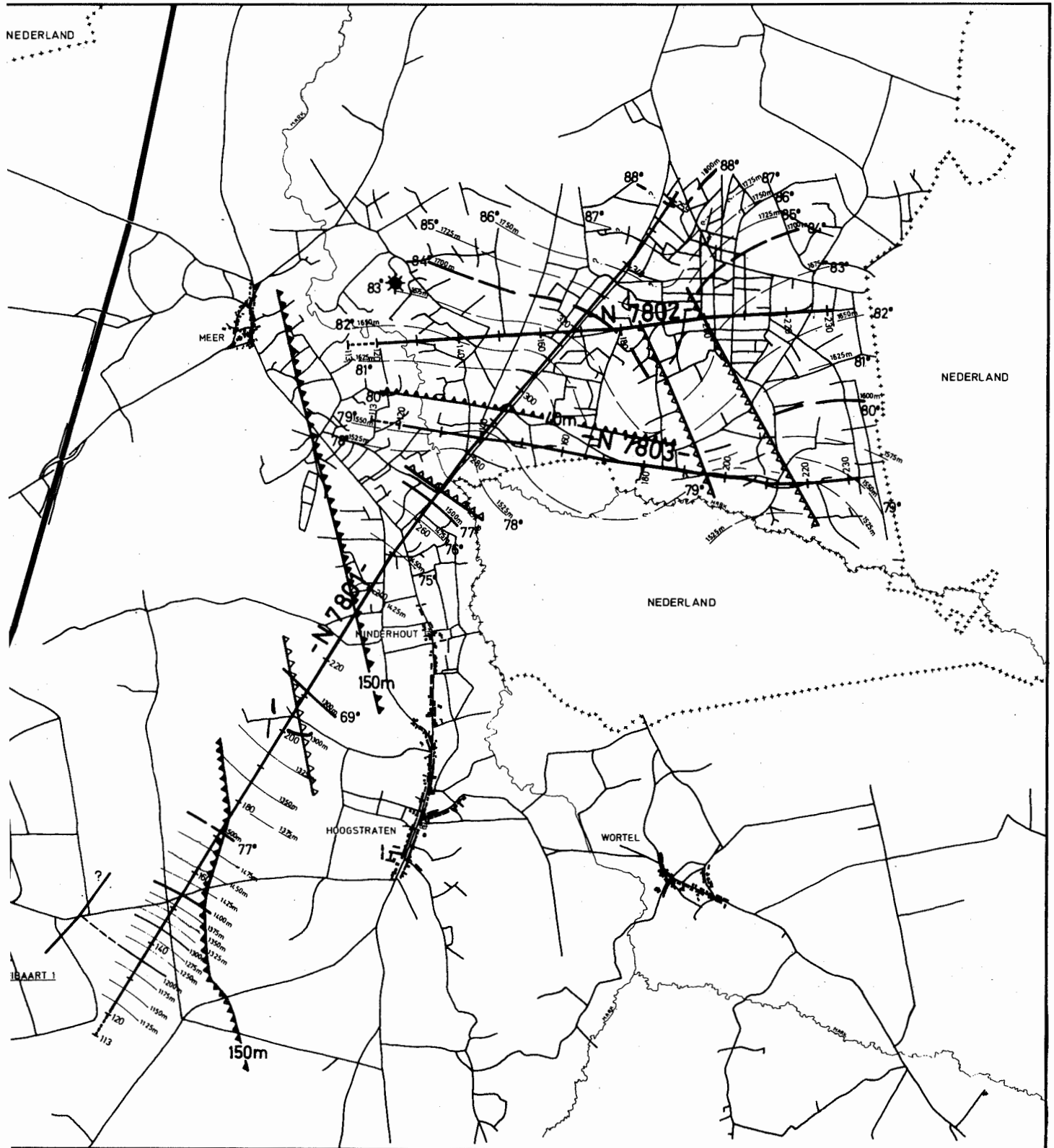
- Wegens - Roads
- Waterlopen - Rivers
- Rijksgrens - National boundary
- 8° — Dieptelijnen en isothermen van de top van de kalkstenen van het Viseaan - Isobaths and isotherms of the Visean limestone top

- ▲▲▲▲ Breuken (zeer steil, h aan ▼ zijde), met breukbedrag - Fault (nearly vertical, dip on the ▲ side), vertical displacement
- ▲▲▲▲ Breuken (zeer steil, h aan ▼ zijde), klein bedrag - Fault (nearly vertical, dip on the ▲ side) very, small vertical displacement

- ⊙ Boring Loenhout - Heilbaart drill-hole
- ★ productieboring Meer-Hoogstraten production well

Schaal 1/25000

N.V.



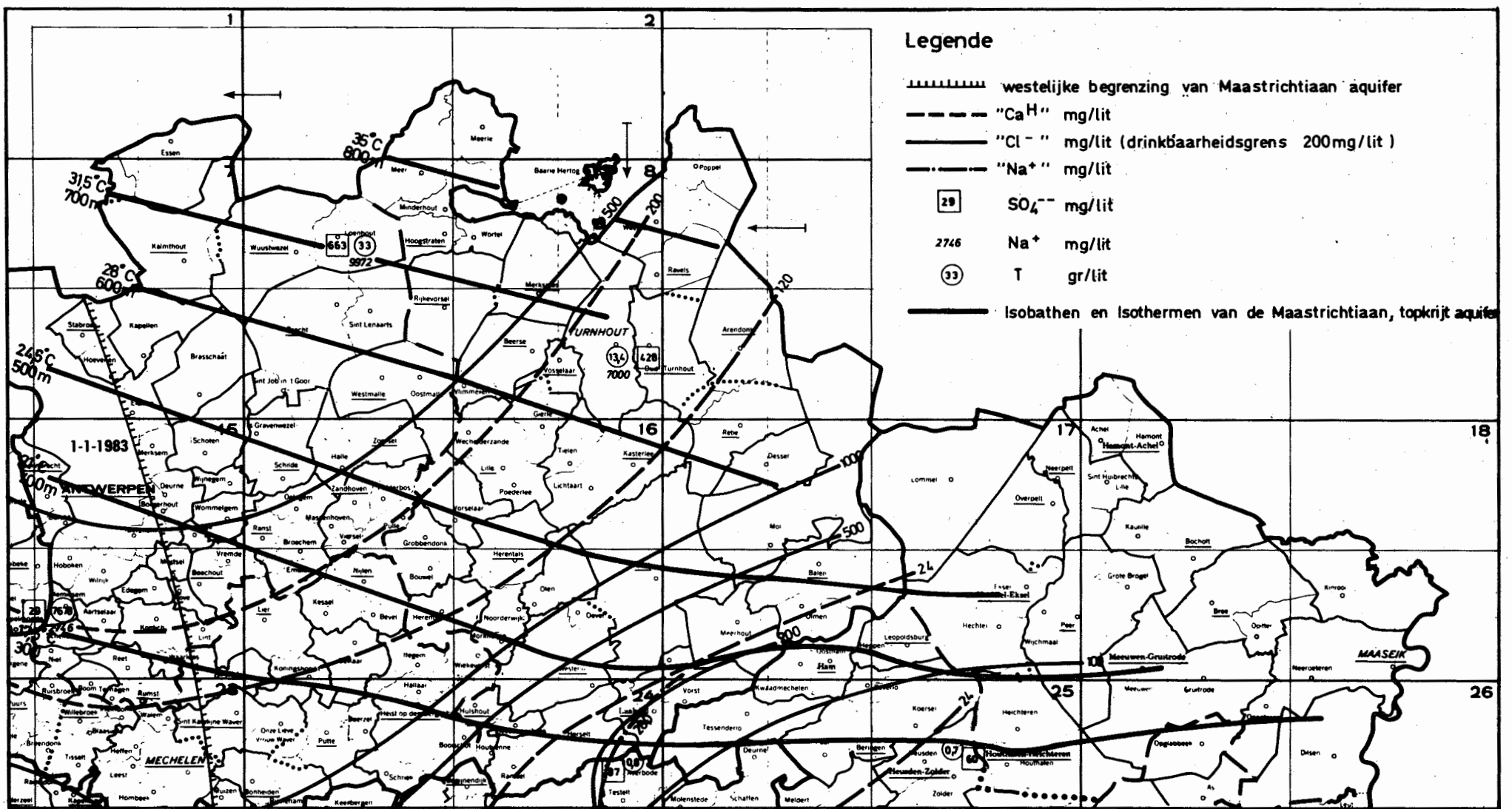


Fig 7 Isobathen, Isothermen en chemische karakteristieken van de Maastrichtiaan, topkrijt aquifer