

Peepe

KONINKRIJK BELGIE

MINISTERIE VAN ECONOMISCHE ZAKEN

Administratie der Mijnen - Geologische dienst van België
Jennerstraat, 13 - 1040 Brussel

**GEOCHEMISCH ONDERZOEK VAN
HET ARTESISCH GRONDWATER
IN DE SOKKEL VAN OOST-
EN WEST-VLAANDEREN**

door

**F. DESUTTER, W. DE VOS, P. GERARD, P. LAGA,
L. VAN COILLIE en N. VAN LAETHEM-MEUREE**

**PROFESSIONAL PAPER 1984/4
Nr 208**

*Geochemisch onderzoek van het artesisch grondwater in de sokkel van
Oost- en West-Vlaanderen*

*F. Desutter¹, W. De Vos², P. Gérard³, P. Laga², L. Van Coillie³ en
N. Van Laethem-Meurée³.*

1. *huidig adres : Foraky, Barrikadenplein 13, 1000 Brussel*
2. *Belgische Geologische Dienst, Jennerstraat 13, 1040 Brussel*
3. *Centraal Laboratorium, Zennestraat 17A, 1000 Brussel*

Inhoud

Voorwoord	1
1. Inleiding	2
2. Geologische ondergrond van het studiegebied	3
2.1. De sokkel	3
2.2. De niet-geconsolideerde deklagen	5
3. Hydrologische eigenschappen der bestudeerde formaties	6
3.1. De sokkel	6
3.2. Krijt	7
3.3. Tertiair	7
4. Methoden van geochemisch onderzoek	8
5. Verwerken der analyseresultaten	10
5.1. De totale mineralisatie	10
5.2. Chemische eigenschappen van het sokkelwater	11
5.3. Relatieve ionenverdeling en chemische evolutie van het sokkelwater	14
5.4. De spoorelementen	17
6. Evolutie van het sokkelwater in de tijd	18
Bibliografie	26

Tabel 1 en figuren 1 tot 15

ERRATA

- p. 19. Oostende, Thermen, jaartal 1973¹ (bijvoegen) 1,
volgens Cnudde (1976).
- p. 21. Vichte, Steverlynck, jaartal 1973¹ (bijvoegen) 1,
volgens Cnudde (1976).
- p. 26. (bijvoegen).
- CNUDDE J.P. (1976) : Resistiviteitssonderingen op grote
diepte en hun toepassing bij de
studie van de geologie van Vlaanderen
(Doctoraatsthesis R.U.G.).

Voorwoord

In het kader van een ruim onderzoek naar de bedreigde grondwatervoerende lagen in Vlaanderen werd prioriteit verleend aan de sokkel in West- en Oost-Vlaanderen. Dit gaf aanleiding tot twee verschillende studies over het grondwaterprobleem, nl. een economische en een hydrogeochemische.

De hydrogeochemische studie werd gestart in 1981 als een BTK-project van de Belgische Geologische Dienst en behandelt het belangrijke aspect van de kwaliteit van het sokkelwater. De studie werd uitgevoerd in samenwerking met het Centraal Laboratorium van het Ministerie van Economische Zaken, waar de meeste analyses werden uitgevoerd.

Wij zouden graag het personeel van de diverse bedrijven en instellingen in West- en Oost-Vlaanderen danken voor hun bereidwillige medewerking bij het nemen van de watermonsters.

Wij hopen dat deze studie bij alle betrokken bedrijven zal bijdragen tot een beter begrip van de sokkelwaterproblematiek.

1. Inleiding

In West- en Oost-Vlaanderen wordt grondwater uit de sokkel aangewend voor industriële doeleinden, voornamelijk in de textielnijverheid. Het zwaartepunt van de sokkelwaterverbruikers ligt in de omgeving van Waregem, en het betrokken gebied strekt zich uit tussen Roeselare in het westen en Geraardsbergen in het oosten, in de zuidelijke helft van beide provincies (fig. 1).

Het grondwater uit de sokkel heeft een aantal kwaliteiten die het bijzonder geschikt maken voor industrieel gebruik, waaronder de lage hardheid en de relatief hoge temperatuur (17°C) de belangrijkste zijn. Het is bovendien goedkoper dan leidingwater.

Door het intense afpompen van de laatste decennia, dreigt de grondwaterlaag echter uitgeput te geraken. Het piëzometrisch oppervlak van de waterlaag is in het centrum van de zone reeds een honderdtal meter gedaald ten opzichte van zijn evenwichtsstand. Door oxydatie dreigt de chemische kwaliteit van het water te veranderen, met name het sulfaat-gehalte kan sterk toenemen. Als de onttrekking de natuurlijke voeding blijft overtreffen kan de uitputting plots zeer snel verlopen, zoals zich omstreeks 1920 in de streek van Ronse heeft voorgedaan (Gulinck 1966).

Deze studie wil nagaan welke de chemische samenstelling is van het sokkelwater, en hoe deze samenstelling varieert van plaats tot plaats. In de mate van het mogelijke wordt ook onderzocht hoe de kwaliteit van het water evolueert in de tijd.

Een 40-tal waterwinningen in de sokkel werden bemonsterd. Hun ligging is op fig. 1 aangeduid.

2. Geologische ondergrond van het studiegebied

2.1. De sokkel (zie fig. 2).

De sokkel, nl. de vaste paleozoïsche gesteenten in de provincies West- en Oost-Vlaanderen, wordt discordant bedekt door tabulaire formaties van Mesozoïsche en Cenozoïsche ouderdom. De sokkel bestaat voornamelijk uit de Cambro-Silurische gesteenten van het Massief van Brabant.

Deze formaties zijn zeer ingewikkeld geplooid. Volgens Legrand (1968) zouden pre-Hercynische deformaties de voornaamste rol gespeeld hebben. Hij onderscheidt vijf successieve fasen waarvan hij uitsluitend de laatste, post Onder-Ludlow als Caledonisch beschouwd. Daar het Massief van Brabant als een buffer fungeerde voor de Hercynische druk die uit dezelfde richting kwam nl. NNE-SSW oefende deze laatste op het Massief van Brabant slechts een geringe invloed uit. Aangezien het Devoon en het Karboon van het bekken van Namur diskordant liggen op het Siluur van het Massief van Brabant, kunnen we een plooiingsfase in het Onder-Devoon, meer bepaald Emsiaan, onderscheiden.

Samenvattend kunnen we wel stellen dat de hoofdstructuur van de sokkel in Vlaanderen gevormd wordt door een anticlinale zone NW-SE gericht, met transversaal vrijwel loodrecht hierop een synclinale structuur (cfr. Kaart v.h. Massief van Brabant, Legrand 1968).

Deze structuur wordt doorsneden door de vulkanische sequentie van het Ashgillaan volgens een + NW-SE tot ESE ombuigende richting, aangeboord op -184 m te Lichtervelde en ontsloten in het Zennedal te Quenast.

In het Zuiden worden de Caledonische formaties diskordant bedekt door het Devoon en de kolenkalk van het synklinaal bekken van Henegouwen.

2.1.1. Cambrium

2.1.1.1. Devillium

Het Devillium kan lithologisch in twee eenheden onderverdeeld worden : de Assise van Dongelberg (Dva) en de Assise van Tubize (Dvb).

Dva : overwegend kwartsieten : naast de heldere kwartsieten van Dongelberg kennen we blauwgroene chloriethoudende kwartsieten en witte kwartsieten van Blamont.

Dvb : het zijn hoofdzakelijk groene pyriethoudende schiefers eerder gebroken dan gekloven dooraderd met fijne adertjes kwarts en chloriet. In de topzone vinden we chloriethoudende zandsteen, geassocieerd met arkose en veldspathhoudende zandsteen.

Het voorkomen van Oldhamia in de chloriethoudende zandsteen van het Devillium liet toe ze van het Revinium te onderscheiden (Legrand, 1968).

2.1.1.2. Revinium

Bij gebrek aan fossielen wordt het Revinium lithologisch in 3 pakketten onderverdeeld : de Assise van Oisquercq (Rva), de Assise van Jodoigne (Rvb) en het Rvc.

Rva : Legrand onderscheidt drie subassisen :

- Rva 1 : bonte kwartsiethoudende schiefers en siltstones.
- Rva 2 : karakteristieke homogene paarse of groen gevlekte schiefers, zonder waarneembare gelaagdheid.
- Rva 3 : massieve groenachtige siltstones met moeilijk waarneembare gelaagdheid.

Rvb : de assise van Jodoigne bestaat uit zwarte tot zwartblauwe kwartsieten gescheiden door enkele banken van zwarte schiefers. Te Leffinge werden ook vulkanische gemetamorfiseerde tuffen en kleine dioritische gangen aangetroffen. De eruptieve gesteenten van Geraardsbergen konden eveneens tot het Rvb behoren.

Rvc : dit bestaat uit zwarte pyriethoudende schiefers overgaand naar glimmerschisten. In boringen treft men dit uitsluitend aan onder de vorm van zwarte naar klei verwerende schiefers. De schiefers kunnen zandiger lensjes bevatten, welke zich lokaal tot kwartsofyllade kunnen ontwikkelen.

2.1.1.3. Salmiaan

Uitsluitend fijn gelaagde kwartsofyllade met zwarte schieferige banken, afwisselend met grijze sericiet- kwartsietlenzen behorende tot het Smlb werden in Vlaanderen aangeboord.

2.1.2. Ordovicium

Het Ordovicium van het Massief van Brabant wordt gekenmerkt door de zeer goed ontwikkelde vulkanische Ashgill bestaande uit kwartshoudende diorietporfieren, lavas, ignimbrietische tuffen en kiezelige pelieten.

Over de oudere formaties van het Ordovicium zoals Caradoc, Llandeilo, Llanvirn en Arenig (bestaande uit zwarte schiefers die naar de basis toe kleine banken pyriethoudende zandsteen bevatten) is slechts weinig bekend.

2.1.3. Siluur

Het Siluur op het westelijk gedeelte van de zuiderflank van het Massief van Brabant is op basis van graptolieten in te delen in het uit donkere pelietische gesteenten bestaande Llandovery en Tarannon, van de groenachtige schiefers van het Wenlock en het Ludlow gescheiden door carbonaatgesteenten aan de basis van het Wenlock (Elles en Wood 1918).

2.1.4. Devoon en Karboon

Aan de zuidwestelijke rand van de provincies West- en Oost-Vlaanderen wordt het Cambro-Siluur van het Massief van Brabant discordant bedekt door Devoon-gesteenten en de kolenkalk van het Onder-Karboon.

2.2. De niet geconsolideerde deklagen

De ouderdom van de post-paleozoïsche bedekking van het Massief van Brabant varieert van Wealdien (Onder-Krijt) tot Kwartair.

Een groot gedeelte van het paleozoïsche substraat wordt bedekt door Krijt. Een klein gedeelte Wealdien komt nog net voor op de zuidergrens van de provincie West-Vlaanderen. Ten Zuiden van de as Leffinge-Geraardsbergen bestaat het Krijt voornamelijk uit Turoon, ten Noorden ervan uit Senoon (+ Maastrichtiaan).

Konkordant op het Krijt liggen de Tertiaire deklagen die zwak naar het NNE hellen. Ten westen van Brussel ontbreekt het Krijt langs de as Tielt-Ninove en rust het Tertiair rechtstreeks op de sokkel : tussen Geraardsbergen en Ninove de kleiige Formatie van Ieper en elders de Formatie van Landen. Deze laatste bevat aan de basis een kleipakket en hoger een watervoerende zandige laag.

3. Hydrologische eigenschappen der bestudeerde formaties

3.1. De Sokkel

Het artesisch grondwater van de sokkel-aquifer bevindt zich in spleten en barsten van het onder 2.1. beschreven rotsachtig substraat der Paleozoïsche gesteenten en het basisgrint van Landeniaan of Krijt.

De voedingszone bevindt zich hoofdzakelijk zuidelijk ten opzichte van de verbreiding van het aquifer, in het bekken van de Boven-Dender en overal in Brabant waar Ieperiaanse en Landeniaanse kleilagen als bedekking ontbreken.

Theoretisch omvat de volledige verbreiding van deze waterlaag volledig Noord-België, maar verschillende factoren bemoeilijken de exploitatie van deze waterlaag :

1. de diepte der lagen; langs de lijn Dendermonde-Gent-Torhout-Diksmuide bevindt de sokkel zich op ongeveer 200 m onder zee-niveau, en naar het noorden verdiept hij zich met ongeveer 100 m per 20 km afstand.
2. de capaciteit is zeer gering en veranderlijk. De specifieke debieten kunnen variëren van 0,01 tot maximaal 1,00 m³/u (Gulinck, 1966). Het persoonlijk waargenomen debiet van 35 m³/dag te Waregem (eigenaar : Sofinal) dient tot de uitzonderingen gerekend te worden.

Hoewel, globaal genomen, sokkelwater nauwelijks 2% vertegenwoordigt van de lokale hoeveelheid onttrokken grondwater in België (Laga, 1978) maken de chemische eigenschappen ervan, zoals de lage hardheid, dit water interessant voor diverse industrietakken voornamelijk de textielindustrie. Dit heeft voor gevolg dat dit aquifer van vitaal belang is geworden voor bepaalde economische sectoren in Vlaanderen. Zo blijkt bijvoorbeeld in de sektor Roeselare-Tielt 70% van alle industrieel gebruikt grondwater sokkelwater te zijn.

Het gevaar voor overexploitatie is dus konstant aanwezig, te meer daar intensieve pompingen verschuivingen in de saliniteitsgrenzen blijken te veroorzaken.

3.2. Krijt

Van de Krijtgesteenten die de Sokkel in Vlaanderen bedekken zijn uitsluitend het glauconiethoudend Krijt met verkiezelingen en de grofkorrelige kalkstenen van het Turoon echt watervoerend te noemen. Het watervoerend karakter hangt af van de aanwezigheid van spleten. In het noorden van de betrokken provincies is het Krijt nauwelijks watervoerend.

De meeste waterwinningen die deze aquifer aanspreken zijn ook tot in het Sokkel geboord en tappen zowel Krijt- als Sokkelwater af.

In Zuidelijk Vlaanderen kunnen Krijt en Sokkel trouwens als één aquifer beschouwd worden, zodat het niet meer mogelijk is individuele kenmerken te onderscheiden.

3.3. Tertiair

Tussen de klei van de Formatie van Landen en de klei van Ieper bevindt zich een gemiddeld 10 m dikke laag met glauconiethoudende zanden die het artesisch reservoir van de Landen-Formatie uitmaken. Het voedingsgebied bevindt zich in Frankrijk in de zone Calais-Béthune-Lille. Dit aquifer is gekenmerkt door een zwak rendement omwille van zijn laag specifiek debiet (0,1 tot 0,7 m³/u).

Het Landen-aquifer was plaatselijk belangrijk voor Vlaanderen : waar de Ieperse klei dagzoomt, is er immers geen freatisch water. De debieten zijn echter zeer gering, en door de grote afstand ten opzichte van het voedingsareaal wordt de onderlinge invloed der waterwinningen vlug waargenomen. Het voornaamste chemische kenmerk van deze watervoerende laag is de lage hardheid (2 tot 10°F).

4. Methoden van chemisch onderzoek

4.1. Monstername

Aanvankelijk werd uitsluitend sokkelwater onderzocht, maar geleidelijk aan werd het onderzoek uitgebreid met putten in het Krijt en de Landen-Formatie ten einde over representatief vergelijkingsmateriaal te kunnen beschikken.

In totaal werden 44 waterwinningen bemonsterd, waarvan 30 uitsluitend sokkelwater, 3 gemengd Krijt + Sokkel, 3 uitsluitend Krijt en 8 Formatie van Landen water uitmaken.

In de verdere verwerking der analyses werden de stalen uit Krijt en Landen-Formatie weggelaten, de gemengde stalen uit Krijt + Sokkel, werden echter samen met sokkelwaterstalen behandeld, gezien het moeilijk is Krijt en Sokkelwater te scheiden.

De waterstalen werden zo dicht mogelijk bij de "bron" zelf genomen steeds nadat geruime tijd gepompt was. Eén uitzondering niet te na gesproken (E.G.W. Gent) werden uitsluitend courant in gebruik zijnde installaties bemonsterd.

De stalen werden steeds in dubbel genomen, resp. 1 l niet behandeld en 1 l waarvan de pH teruggebracht werd tot grootte-orde 1 door toevoeging van salpeterzuur 65%, suprapur (d.l,4).

4.2. Terreinbepalingen

Op het terrein werden temperatuur, zuurstofgehalte, pH, redoxpotentiaal en konductiviteit gemeten.

De bepaling van het zuurstofgehalte en temperatuur werd uitgevoerd door middel van een Scott C6 867 zuurstofmeter met platinaelektrode en fosfaatbuffer met ingebouwde termometers.

PH en redoxpotentiaal werden gemeten met een W.T.W. pH 90.

Tenslotte werd de konductiviteit bepaald met een konductiviteitsmeter van Chemtrix, teruggebracht naar een standaardtemperatuur van 20°C.

4.3. Laboratoriumonderzoek

De overige bepalingen gebeurden in het laboratorium.

De totale hardheid (TH) werd bepaald met behulp van een complexometrische titratie met EDTA en Eriochrome-T als indikator; de resultaten werden steeds omgerekend naar Franse hardheidsgraden °F ($1^{\circ}\text{F} = 10 \text{ mg CaCO}_3/1$).

Na, K, Mg en Ca werden spektrofotometrisch bepaald met atomaire absorptie (A.A.). Carbonaat en bicarbonaat werden door een acidimetriscche titratie bepaald, resp. met fenolftaleïne en methyloranje als indikator.

De chloriden werden potentiometrisch getitreerd met AgNO_3 .

De sulfaten werden gravimetrisch als Ba SO_4 bepaald of door titratie met Ba ClO_4 in aanwezigheid van Thorin als indikator.

Bij al deze analyses werd er nagezien dat de cumulatieve fout op de ionenbalans niet hoger was dan 5%, volgens de formule :

$$I = \frac{|\sum \text{kat} - \sum \text{an}|}{\sum \text{kat} + \sum \text{an}} \times 100 \leq 5\%$$

De spoorelementen Fe (totaal), Cu, Zn, Pb, Cd, Ni en Co werden met atoom absorptie (vlam of grafietoven) bepaald.

De resultaten werden met electrochemische technieken (anodic stripping voltametry/differential pulse polarography) bevestigd.

De analytische resultaten staan in tabel 1.

TABEL 1. ANALYSE-RESULTATEN

NR	BORING	WATERWINNING	DIEPTE	WL	PH	TEMP	O2	RED.	COND.	SAL.	MINER.	FOUT	HCO3	CO3	CARB.	CL	SO4	NA	K	MG	CA	HARDH.	FE	ZN	CU	PB	NI	CO	CD
A01	83W-440	KUURNE,VERVERIJ FENAUX	250	S	8.72	16.8	0.5	-100	1600.	942.	25.52	0.78	415.	10.	425.	125.	82.	285.	21.	1.2	2.4	1.09	0.15	87.0	6.0	5.0	7.0	0.0	0.20
A02	52W-143	KORTEMARK,BROUWERIJ DE AREND	225	S	8.29	18.6	1.5	-74	3000.	2105.	61.47	1.52	610.	12.	622.	517.	240.	700.	15.	3.4	7.8	3.35	0.30	3.5	1.0	2.5	0.5	0.2	0.10
A05	67W-205	STADEN,OLIESLAGERIJ DE BEIL	256	S	8.45	17.1	4.0	-83	2900.	1824.	52.98	0.92	549.	12.	561.	448.	192.	600.	15.	2.3	5.7	2.37	0.16	1.5	2.5	1.5	0.5	0.5	0.10
A06	68E-177	TIEL,SEYNTEX	250	S	8.58	17.2	3.4	-89	2500.	1550.	42.28	-0.65	549.	6.	555.	215.	298.	460.	15.	2.0	5.2	2.12	0.10	1.5	1.0	4.0	0.5	0.7	0.10
A07	53E-49	RUISELEDE,SLACHTHUIS DE COSTER	260	KS	8.58	15.5	5.6	-90	3100.	2074.	58.11	0.24	610.	12.	622.	317.	461.	650.	16.	3.0	5.0	2.48	0.10	5.0	1.0	1.5	0.5	0.3	0.10
A08	68E-172	OOSTROZEBEKE,OROTEX	275	S	8.55	15.3	0.0	-87	2250.	1264.	35.46	0.80	427.	12.	439.	203.	202.	400.	13.	1.7	5.2	2.00	0.07	27.0	1.5	1.0	1.5	0.2	0.10
A09	68W-499	MEULEBEKE,SPORTCOMPLEX TER BORCHT	250	S	8.57	16.6	2.1	-90	2250.	1353.	37.41	-0.26	488.	12.	500.	221.	202.	410.	13.	1.7	5.4	2.05	0.12	32.0	5.5	1.0	0.5	0.2	0.10
A10	68W-458	IZEGEM,VANDEMOORTELE	200	S	8.79	14.7	6.0	-103	2000.	1244.	33.76	-0.30	537.	30.	567.	164.	125.	375.	11.	1.1	0.9	0.68	0.10	3.0	1.0	2.0	1.0	0.2	0.05
A11	68W-455	INGELMUNSTER,VAN HONSEBROEK	195	S	8.54	17.7	5.7	-89	2000.	1319.	36.90	0.25	488.	30.	518.	217.	154.	415.	12.	1.6	1.7	1.08	0.05	20.0	1.0	2.0	2.3	1.2	0.05
A12	83W-442	LENDELEDE,DEWULF N.V.	160	S	8.65	15.4	0.8	-95	1750.	1098.	29.82	-0.63	476.	30.	506.	157.	96.	325.	12.	1.1	1.2	0.75	0.05	1.0	1.0	2.0	0.7	0.5	0.10
A13	83E-422	HARELBEKE,LANO N.V.	126	S	8.77	16.8	0.8	-105	1550.	874.	23.32	-0.98	403.	30.	433.	108.	72.	247.	12.	0.9	1.0	0.62	0.05	10.0	1.5	3.0	0.5	0.0	0.15
A14	83E-421	BEVEREN-LEIE,VAN MARCKE	200	S	8.75	16.6	1.3	-102	1750.	1022.	27.98	-0.47	427.	30.	457.	150.	96.	307.	10.	1.1	1.1	0.73	0.05	1.0	1.0	4.0	1.2	0.0	5.50
A15	69W-447	ZULTE,WOLSPINNIERIJ	225	S	8.48	15.9	0.0	-86	1750.	1220.	34.76	0.34	366.	30.	396.	213.	202.	385.	19.	2.4	2.4	1.59	0.05	70.0	1.0	25.0	0.5	0.0	0.50
A16	68E-180	WIELSBEKE,BEAULIEU TUFTING	240	S	8.56	17.3	1.4	-90	1550.	1195.	33.32	-0.01	415.	30.	445.	180.	182.	370.	15.	1.3	1.4	0.88	0.05	2.0	1.0	6.5	0.5	0.0	0.50
A17	83E-424	DEERLIJK,OVELACQ	200	S	8.70	17.2	2.8	-99	1250.	847.	22.72	-0.37	396.	30.	426.	98.	62.	247.	12.	0.9	1.0	0.62	0.05	0.3	1.0	3.0	1.0	0.5	0.10
A18	84W-1370	WAREGEM,VERVERIJ VANNEDER	165	S	8.76	17.0	1.9	-105	1175.	763.	19.84	-0.56	390.	12.	402.	78.	58.	212.	10.	1.0	1.6	0.81	0.30	15.0	8.0	4.0	3.0	1.0	1.50
A19	84W-1451	WAREGEM,SOFINAL N.V.	216	S	8.46	17.0	3.0	-87	2900.	994.	27.57	-1.13	335.	5.	340.	202.	144.	272.	21.	4.0	10.5	4.27	0.10	240.0	110.0	14.0	2.0	0.5	1.00
A20	84W-1377	VICHTE,VERVERIJ STEVERLYNCK	300	S	8.85	16.5	1.2	-110	1000.	735.	18.99	-0.79	403.	30.	433.	56.	34.	202.	9.	0.6	0.7	0.42	0.05	0.7	1.0	4.5	0.0	0.0	0.10
A21	67E-152	RUMBEKE,SOLIVER N.V.	180	K	8.55	17.4	2.1	-93	2300.	1767.	48.95	-0.45	647.	60.	707.	234.	264.	540.	17.	3.0	1.6	1.63	0.05	0.3	1.0	6.0	0.0	0.0	0.40
A22	83E-423	SINT-ELOOIS-VIJVE,INTERDYEING N.V.	300	S	8.60	16.0	2.8	-95	1725.	1126.	31.18	-0.42	397.	6.	403.	202.	163.	338.	15.	2.0	2.6	1.47	0.10	65.0	5.0	2.5	1.0	0.5	2.00
A23	84W-1363	ANZEGEM,WEVERIJ LEPOUTRE	210	S	7.80	16.0	1.9	-47	760.	577.	14.28	0.09	384.	0.	384.	21.	10.	96.	28.	11.8	26.5	11.47	0.10	15.0	1.0	3.0	0.5	0.5	0.50
A24	83W-447	KORTRIJK,HMBS	175	S	8.69	15.0	0.0	-98	2250.	1325.	35.99	0.16	512.	7.	519.	170.	216.	400.	16.	1.9	2.3	1.36	0.00	12.0	2.0	1.5	0.5	0.5	0.50
A25	83E-413	HARELBEKE,BOMARBRE	200	S	8.75	16.5	0.5	-104	1460.	901.	23.91	-0.44	427.	8.	435.	121.	72.	260.	11.	0.8	1.6	0.73	0.00	5000.0	1000.0	150.0	12.0	0.5	1.00
A26	97W-601	BELLESEM,BROUWERIJ VANDERGHINSTE	143	K	8.50	15.0	0.0	-87	1850.	1121.	30.00	-0.61	439.	3.	442.	135.	202.	320.	16.	2.5	3.2	1.83	0.00	23.0	16.0	1.0	0.5	0.5	0.10
A27	85W-793	ZWALM,MARIAHEEM ZUSTERS VAN LIEFDE	135	S	8.46	16.0	2.2	-85	1880.	1127.	29.64	0.02	537.	3.	540.	121.	120.	324.	18.	2.0	2.3	1.40	0.00	5.0	1.0	4.0	0.7	0.5	0.10
A28	84W-1379	KRUISHOUTEM-NOKERE,SOFINAL N.V.	250	S	8.53	18.0	1.7	-91	2100.	1049.	28.70	-0.46	384.	3.	387.	170.	163.	310.	14.	1.3	3.5	1.41	0.00	105.0	6.0	3.5	0.5	0.5	0.10
A29	84E-1377	OUDENAARDE,CONSERVEN ALDENARDIA	108	S	8.58	16.0	4.7	-92	1030.	578.	15.08	0.17	305.	2.	307.	67.	24.	156.	17.	2.3	4.3	2.02	0.00	14.0	5.0	6.5	0.5	0.5	0.10
A30	98W-929	KLUISSBERGEN,INTERCOM	90	KS	8.78	16.0	3.3	-105	880.	594.	15.28	0.08	329.	3.	332.	57.	24.	160.	16.	2.0	2.9	1.55	0.00	240.0	12.0	3.5	4.5	0.5	0.10
A31	99W-1473	MAARKEDAL,FONTANA-BRONNEN	100	S	8.37	14.0	0.7	-81	850.	504.	12.66	-0.29	281.	2.	283.	36.	38.	125.	17.	2.1	2.8	1.56	0.00	30.0	100.0	4.0	0.5	0.5	0.70
A32	99E-968	NEDERBRAKEL,KONINGSBRONNEN	130	S	8.70	15.5	2.8	-102	1100.	691.	17.89	-0.44	354.	8.	362.	67.	58.	191.	11.	0.5	1.9	0.68	0.00	14.0	1.0	3.0	0.5	0.5	0.10
A33	100W-109	GERAARDSBERGEN,OPENLUCHTZWEMBAD	80	S	8.10	16.1	3.9	-65	1150.	725.	20.40	-0.59	275.	0.	275.	177.	48.	172.	19.	7.8	26.0	9.70	0.65	180.0	20.0	4.0	1.0	0.5	2.00
A34	100W-	IDEGEM,IMCO N.V.	45	S	8.91	15.0	0.7	-113	880.	560.	13.95	-0.51	336.	13.	349.	28.	24.	145.	12.	0.0	2.2	0.55	0.15	3.5	4.0	1.5	0.5	0.5	0.10
A39	67E-154	ROESELARE,RODIMA N.V.	303	KS	8.66	18.0	1.3	-100	2200.	1398.	38.35	-0.02	561.	9.	570.	230.	154.	430.	11.	1.5	1.1	0.89	0.13	23.0	19.0	2.0	0.1	0.1	0.10
A41	55W-33	GENT,EGW	277	S	7.31	17.0	0.5	-24	2300.	1021.	28.56	1.78	476.	0.	476.	92.	144.	69.	8.	12.0	220.0	59.88	42.00	18.0	13.0	4.0	0.1	0.1	0.10
A43	83W-	KORTRIJK,KLINIEK MARIA VOORZIENIGH.	135	K	8.57	15.0	4.2	-93	2000.	1015.	27.80	1.99	476.	3.	479.	142.	48.	330.	13.	1.8	1.2	1.04	0.05	8.0	1.0	2.0	0.5	0.1	0.10
A44	21E-122	OOSTENDE,PALAIS DES THERMES	352	S	8.06	18.0	2.4	-65	6100.	4177.	130.02	1.64	677.	0.	677.	1571.	422.	1450.	24.	15.8	17.0	10.75	0.45	67.0	127.0	2.0	3.5	0.1	0.10
A61	67W-222	WESTROZEBEKE,EXPORTSLACHTHUIS	290	S	8.30	19.0	0.0	0	2240.	1445.	41.32	-1.50	554.	28.	582.	402.	3.	443.	7.	2.0	6.0	2.32	0.10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00

DIEPTE IN METER
 WL: WATERLAAG, S=SOKKEL, K=KRIJGT
 O2: ZUURSTOFGEHALTE IN MG/L
 RED: REDOXPOTENTIALAAL IN MV
 COND: CONDUCTIVITEIT IN μ S/CM
 SAL: SALINITEIT IN MG/L

MINER: MINERALISATIEGRAAD IN MEQ/LITER
 FOUT: IONENFOUT
 CARB: SOM VAN HCO3- EN CO3--
 HARDH: HARDHEID IN FRANSE GRADEN
 HCO3 TOT FE: GEHALTE IN MG/L
 ZN TOT CD: GEHALTE IN G/L

5. Verwerking der analyseresultaten

5.1. De totale mineralisatie (mineralisatiegraad "M").

De mineralisatiegraad M is de totale hoeveelheid opgeloste stof, uitgedrukt in milli-equivalent per liter (meq/l). De saliniteit G is de gewichtsconcentratie van de opgeloste stoffen in mg/l.

Ze worden allebei berekend als de som van alle ionen uitgedrukt in meq/l resp. in mg/l.

In onze studie bedraagt de correlatiecoëfficiënt tussen saliniteit en mineralisatiegraad 0,9985. Dit wijst erop dat de relatieve samenstelling van de verschillende bestanddelen nagenoeg constant is, en dat verdunning de voornaamste oorzaak is van de verschillen tussen de monsters. Er is dus geen vermenging van grondwater van verschillende herkomst.

Er bestaat een duidelijk lineair verband tussen de geleidbaarheid of conductiviteit " σ " van het water in $\mu\text{S}/\text{cm}$, de totale mineralisatie M in meq/l, en de gewichtsconcentratie G in mg/l.

In figuur 2 werd de mineralisatiegraad t.o.v. de conductiviteit weergegeven. De correlatiecoëfficiënt is $r = 0,951$ en de regressievergelijking is :

$$M = 0,020 \sigma_{20} - 6,0 \quad (1)$$

bij 20°C voor de gegeven apparatuur.

$$\text{Ook geldt voor onze gegevens : } M = 0,031 G - 4,3 \quad (2)$$

$$\text{en : } G = 0,646 \sigma_{20} - 52 \quad (3)$$

steeds bij een standaardtemperatuur van 20°C .

Hierbij wordt M uitgedrukt in meq/l

G uitgedrukt in mg/l

σ_{20} uitgedrukt in $\mu\text{S}/\text{cm}$

Aangezien σ zeer sterk afhankelijk is van de temperatuur, werden alle resultaten bij een standaardtemperatuur van 20°C weergegeven.

De conductiviteit is evenwel ook afhankelijk van de aard der ionen; zo is ondermeer bekend dat de aanwezigheid van HCO_3^- ionen de geleidbaarheid van Cl^- houdende oplossingen kan doen afnemen (Walter 1963).

Steunend op onze veldwaarnemingen en rekening houdend met de algemene kwaliteitsnormen welke in België voor drinkwater gehanteerd worden (K.B. van 6 mei 1966), kunnen we het volgende schema opstellen :

Kwalitatieve beoordeling	G mg/l	M meq/l	σ_{20} $\mu S/cm$	Symbool van de klassen
ZEER ZOET	< 500	< 12 (11,2)	< 850	C (I)
ZOET	500 - 1000	12 - 25 (26,7)	1600	D (II)
MATIG ZOET	1000 - 1500	25 - 45 (42,2)	2400	E (III ₁)
MATIG BRAK	1500 - 3000	45 - 90 (88,7)	4700	F (III ₂)
BRAK	3000 - 6000	90 - 180 (181,7)	9300	G (IV)

Tabel 2. Algemene indeling van sokkelwater.

De grenzen tussen de klassen werden afgerond voor de mineralisatiegraad en de conductiviteit. Tussen haakjes staan de theoretisch berekende waarden. We vinden in de indeling de volgende maatstaven terug :

- 1000 mg/l : verziltingsgrens
- 1500 mg/l : Belgische norm voor drinkwater
- 3000 mg/l : oververziltingsgrens

Deze "empirische" indeling wordt op figuur 4 in functie van de conductiviteit, mineralisatiegraad en totale hoeveelheid opgeloste stof op kaart gebracht. Later zal blijken dat deze indeling nog andere voordelen kan bieden.

5.2. Chemische eigenschappen van het sokkelwater

Uit de overzichtskaart waar ondermeer de hardheid van het sokkelwater weergegeven wordt (fig.5) blijkt dat het grootste gedeelte van het onderzochte gebied zacht water bevat. Een hardheid van 6°F (Franse graden) wordt algemeen beschouwd als de grenswaarde tussen zacht en hard water. (Delecourt 1936, Gulinck 1966). In het noorden loopt een hardheidsisograad van 6°F ongeveer oost-west, ten noorden waarvan het water hard is.

Hij valt samen met de "oververziltingsgrens". De hardheid in Gent bedraagt 60°F, wat zodanig hoog is, dat hier vermoedelijk contaminatie optreedt door oppervlakkig water; de waterwinning is nl. al geruime tijd buiten gebruik. Ook te Anzegem komt een hoge waarde voor (11,5°F) die niet in het globale patroon thuishoort en zou kunnen wijzen op contaminatie.

In de buurt van Geraardsbergen loopt een tweede hardheidsisograad van 6°F , ten zuiden waarvan we opnieuw hard water aantreffen. Deze valt echter niet samen met de "verziltingsgrens" zoals aangegeven in de literatuur (Delecourt 1936). Aangezien de Ca^{++} en Mg^{++} ionen bepalend zijn voor de totale hardheid, werden deze op dezelfde kaart aangegeven. Hun patroon is uiteraard gelijklopend aan dat van de hardheid zelf. De verhouding $\text{Mg} : \text{Ca}$ is gemiddeld $2 : 3$ en varieert van 0,26 tot 1,8 echter niet systematisch. We willen er nogmaals op wijzen dat het sokkelwater in het bestudeerde gebied heel zacht is. Tussen Roeselare en Waregem bedraagt de hardheid meestal minder dan 1°F .

Op fig. 6 zijn de isograden voor Cl^{-} , Na^{+} en K^{+} weergegeven. Wat Cl^{-} en Na^{+} betreft, wijzen we op de opvallende overeenkomst met fig. 4. Het patroon van K^{+} is echter afwijkend.

Na^{+} en Cl^{-} variëren nagenoeg parallel. In Oostende, nl. in de oververziltingszone, komt 1571 mg/l Cl^{-} en 1450 mg/l Na^{+} voor. Naar het zuidoosten vermindert het chloor-gehalte vlugger dan het natrium-gehalte. In de omgeving van Roeselare is ongeveer 230 mg/l Cl^{-} en 500 mg/l Na^{+} aanwezig, te Kortrijk 150 mg/l Cl^{-} en 350 mg/l Na^{+} , te Oudenaarde 67 mg/l Cl^{-} en 156 mg/l Na^{+} . Te Geraardsbergen komt opnieuw meer Cl^{-} voor nl. 177 mg/l.

De Cl^{-} isograad van 100 mg/l valt ongeveer samen met de Na^{+} isograad van 250 mg/l.

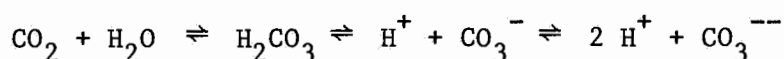
Slechts op 1 plaats, nl. te Anzegem, is minder dan 100 mg/l Na^{+} aanwezig; daar in dat zelfde monster een uitzonderlijk hoge hardheid werd vastgesteld, gaat het hier waarschijnlijk om vermenging met oppervlakkig water. Ook te Gent is te weinig Na^{+} en Cl^{-} aanwezig, en is de hardheid te hoog om in het normale patroon van het sokkelwater te passen.

Het patroon van K^{+} is erg afwijkend. In Oostende bedraagt het gehalte 24 mg/l, wat ons toelaat de isograad van 20 mg/l te tekenen evenwijdig met de oververziltingsgrens. Tussen Roeselare en Geraardsbergen ligt het K^{+} -gehalte meestal tussen 10 en 18 mg/l, met enkele cijfers boven 20 mg/l, nl. te Kuurne (21), te Waregem (21) en te Anzegem (28); in het laatste geval lijkt de vermenging geen twijfel.

Op figuur 6 werden de isograden van 14 mg/l K^{+} aangeduid. Uit het onregelmatige patroon valt niet veel af te leiden; er schijnt ook geen verband te bestaan met de maximale depressie van het piëzometrisch oppervlak tussen Waregem en Roeselare (fig. 11) noch met de aard van het gesteente.

Op fig. 7 werden de pH, de som van carbonaat en bicarbonaat-gehalte, en het carbonaatgehalte uitgezet.

De bepaling van CO_3^{--} en HCO_3^- is afhankelijk van de CO_2 druk in de lucht, de temperatuur van de vloeistof en de pH. Aangezien bij de analyse de omstandigheden verschillen van die in situ, zal gedoseerd worden bij het evenwicht dat zich instelt bij de monstername. Volgende evenwichten bestaan :



(bij pH > 8 tot 8.3)

Voor stalen met pH lager dan 8,3 werd geen CO_3^{--} bepaald aangezien dat er theoretisch niet in zit. Het evenwicht stelt zich in tussen CO_2 en HCO_3^- . Voor de geanalyseerde stalen met pH lager dan 8.3 wordt het gehalte aan CO_2 uitgedrukt in millimol (mM)/l. (cfr. tabel 3).

Tabel 3 CO_2 gehalten in mM/l.

	pH	CO_2
A 23 Anzegem	7,80	1,5
A 33 Geraardsbergen	8,10	0,18
A 41 Gent	7,31	1,0
A 44 Oostende	8,06	0,5

De pH is over het algemeen hoger dan 8,5 (fig. 7). In Gent en Anzegem is hij lager dan 8; dit zijn niet toevallig de plaatsen waar vermenging met oppervlakkig water vermoed wordt (cfr. hoge hardheid).

In Oostende en Geraardsbergen bedraagt de pH 8,1; dat zijn de randgebieden van de zogenaamde zone met zacht alkalisch water. Ten westen van Roeselare daalt hij tot 8,3. Elders is hij 8,5 of meer. De maximale waarde is 8,8 op verschillende plaatsen in het centrum van de zone.

Vergelijken we fig. 7 met de isopiëzometrische kaart (fig. 11), dan zien we dat de zone van maximale afpompings tussen Roeselare, Tielt en Waregem ongeveer samenvalt met de hoogste CO_3^{--} waarden en de meest alkalische pH.

Tenslotte werden op fig. 8 de lijnen met gelijk SO_4^{--} gehalte weergegeven; de hoofdtrend is een afname van het SO_4^{--} gehalte naar het zuid-oosten. De hoogste waarde werd genoteerd te Ruiselede, nl. 461 mg/l. De laagste waarde bedraagt 10 mg/l te Anzegem.

Ten westen van Kortrijk doet zich een bruske stijging voor tot meer dan 200 mg/l. Eigen analyses verder naar het westen ontbreken, maar uit archiefgegevens bleek dat deze tendens naar het westen toe gehandhaaft blijft (vb. 494 mg/l SO_4^{--} te Ieper in 1976). Het is niet uitgesloten dat de lithologie van het substraat hier een belangrijke rol speelt.

Er werden twee profielen getekend met de gehalten aan Cl^- , SO_4^{--} en $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{--}$ in mg/l.

- 1) Een profiel noord-zuid van Ruiselede tot Moeskroen (fig. 9).
- 2) Een profiel met strekking NW-SE van Oostende tot Kortrijk en omhoog naar Moeskroen (fig. 10).

De analytische gegevens van Moeskroen zijn afkomstig uit het archief. De hogervermelde piek van SO_4^{--} te Bellegem komt duidelijk tot uiting. Ook merken we het bruske optreden van de saliniteitsdrempel, gelegen tussen Bellegem en Moeskroen : het Cl^- en SO_4^{--} gehalte valt bijna op nul, terwijl het bicarbonaatgehalte nagenoeg ongewijzigd blijft.

Naar het noorden en naar de kust toe neemt vooral het gehalte aan Cl^- en SO_4^{--} toe. Tussen Kortrijk en Oostende wordt de oververziltingsgrens bereikt, wat hoofdzakelijk aan de spectaculaire stijging van het Cl^- gehalte te wijten is (bij de kationen vooral door een Na^+ stijging vergezeld).

5.3. Relatieve ionenverdeling en chemische evolutie van het sokkelwater.

De sokkel-aquifer dagzoomt sporadisch ten zuidoosten van het studiegebied, in de streek tussen Ronse en Nivelles. Het langs daar geïnfiltreerde water ondergaat in de afgesloten aquifer een chemische evolutie die samenhangt met de diepte.

Door het gebrek aan uitbatingen in het zuidoostelijk deel van de aquifer kunnen we deze evolutie slechts gedeeltelijk volgen.

Het construeren van een Piper-diagram (fig. 12) laat toe de positie der onderzochte monsters visueel voor te stellen in een evolutieschema naar de theorieën van Delecourt (1936, 1938), en tevens enkele bedenkingen te maken omtrent het karakter van de geanalyseerde putwaters in het studiegebied. De evolutie van het sokkelwater kan volgens Delecourt (1936) in 4 stappen worden opgesplitst.

Zone I (fig. 12) wordt gekenmerkt door een hoog gehalte aan Ca^{++} , Mg^{++} , HCO_3^- (CO_3^{--}) en SO_4^{--} en weinig chloriden en alkali-ionen; de hardheid is hoog en het totale zoutgehalte blijft lager dan 500 mg/l; dat is hard oppervlakkig water.

In zone I hebben we eigenlijk geen monsterpunten. Staal nr. 41 afkomstig uit Gent is een uitzondering en blijkt door zijn samenstelling hier niet in te passen: het totale zoutgehalte bedraagt meer dan 1000 mg/l. Het uitzonderlijke Ca^{++} gehalte van 220 mg/l doet vermoeden dat er in de put kontaminatie met oppervlaktewater of freatisch water moet opgetreden zijn.

In zone II (fig. 12) gebeurt kationen-uitwisseling: Ca^{++} en Mg^{++} slaan neer in de vorm van carbonaat (soms sulfaat), door een toename van alkali-ionen, vooral Na^+ . Het milieu blijft rijk aan bicarbonaat-ionen. ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{--} > 75\%$ der anionen). De hardheid daalt van meer dan 20°F tot minder dan 6°F zonder dat het totale zoutgehalte noemenswaardig stijgt. De natriumzouten zijn rechtstreeks of onrechtstreeks uit fossiel zeewater afkomstig.

De zone met kationen-uitwisseling is geografisch zeer smal en vormt de overgang tussen het hard oppervlakkig water en het zacht alkalisch water. Enkel staal nr. 23 afkomstig van Anzegem heeft een chemische samenstelling die overeenkomt met deze zone. Andere stalen uit het zuiden van het bestudeerde gebied vormen de overgang tussen de zones II en III, nl. nrs. 34, 20, 30 en 31.

Zone III met zacht alkalisch water wordt gekenmerkt door een toename van het Cl^- gehalte en dus een relatieve afname van $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{--}$ gaande van 75% tot 25% van de anionen. Bij de kationen is het relatieve gehalte aan $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ zeer hoog (meer dan 95%); de Na^+ concentratie stijgt met de diepte. Deze zone is ook de verziltingszone, met een totaal zoutgehalte gaande van 500 tot 3000 mg/l. De grote meerderheid van de bemonsterde boorputten liggen in deze zone, ze is dan ook typisch voor de Vlaamse sokkelwinningen.

Zone IV is de oververziltingszone, die overeenkomt met een hoog Cl^- en SO_4^{--} gehalte zowel relatief ($> 75\%$ der anionen) als absoluut (meer dan 1000 mg/l Cl^- bijvoorbeeld). Staal 44 uit Oostende komt uit de oververziltingszone. Deze evolutie wordt in figuur 12 met pijlen weergegeven. Opmerkelijk is dat het monster nr. 33 van Geraardsbergen zich buiten de algemene tendens bevindt. Daar hier evenwel geen enkele kontaminatie of vermenging kan opgetreden zijn, moet het hoge gehalte aan zowel Ca^{++} als Cl^- aan menselijke activiteiten (nl. pompen) toegeschreven worden. Dit heeft voor gevolg dat zone II, van nature al smal, plaatselijk "ingedrukt" wordt en het water een geforceerde evolutie meemaakt. Het betreft hier dus een versnelling van een natuurlijke evolutie.

In het anionendiagram valt de sulfaat-aanrijking op (zie ook fig. 8).

De reeds voorgestelde overzichtskaarten (fig. 4 tot 8) laten ons nu toe bij wijze van samenvatting het verband na te gaan tussen de zonebegrenzingsen en de concentraties van de voornaamste ionen.

Op figuur 5 komt de zuidelijke hardheidsisograad van 6°F ongeveer overeen met de kationen-uitwisselingszone; de noordelijke hardheidsisograad van 6°F vormt de grens van de oververziltingszone. De hardheidsisograden vallen bovendien ongeveer samen met bepaalde isograden van saliniteit, conductiviteit en mineralisatiegraad. Het lijkt meer aangewezen om deze laatste te gebruiken als grenscriteria tussen de verschillende zones. Als bovenste grens voor de kationenuitwisselingszone bvb. zouden we dan de isograad van 850 μ S/cm kunnen nemen, (zie ook tabel p. 11) waarmee een totale mineralisatiegraad van 12 meq/l overeenstemt, of 500 mg/l gewichtconcentratie (fig. 4). De eigenlijke (smalle) kationenuitwisselingszone bevindt zich ten zuiden van het studiegebied, het gebied met hard water nog meer zuidelijk. De hoge hardheid te Anzegem (fig. 5, ook fig. 12 analyse 23) veroorzaakt lokaal de eigenschappen van de kationenuitwisselingszone; het is echter duidelijk dat hier vermenging met het bovenliggende Krijt en de Landen-Formatie moet aanwezig zijn.

De zone met zacht alkalisch water wordt op basis van saliniteit en conductiviteit verder onderverdeeld: de verziltingsgrens ligt bij 1000 mg/l opgeloste zouten en 1600 μ S/cm, en komt ruwweg overeen met een Cl^- isograad van 100 mg/l en een Na^+ isograad van 250 mg/l (fig. 6). De drinkwatergrens van 1500 mg/l opgeloste zouten en 2400 μ stemt overeen met de Cl^- isograad van 250 mg/l en de Na^+ isograad van 500 mg/l. Merken we op dat de eisen voor drinkwater tegenwoordig nog strenger zijn in de EEG: 200 mg/l Cl^- en slechts 175 mg/l Na^+ vanaf 1984. De oververziltingszone kunnen we laten aanvangen bij 4700 μ S/cm d.i. 90 meq/l of 3000 mg/l opgeloste zouten. Het gemiddelde Cl^- en Na^+ gehalte dat hiermee overeenstemt zou respectievelijk 1000 en 1100 mg/l zijn. Zoals gezegd komt de tweede hardheidsisograad van 6°F ook hiermee overeen; deze bepaalt de grens van het zacht alkalisch grondwater.

De zone III met zacht alkalisch water is de interessantste voor de waterwinning. Hier wordt het meeste sokkelwater gepompt, zoals onrechtstreeks ook blijkt uit een isopiëzometrische kaart opgesteld in 1979 door Ir. P. Van Steelandt (fig. 11). De maximale afpompingsheeft plaats in het gebied tussen Waregem, Roeselare en Tielt; het piëzometrisch oppervlak is hier reeds een 100-tal meter gedaald. Deze centrale zone komt overeen met de zone met $\text{pH} > 8,5$ en een carbonaat-gehalte > 25 mg/l, zoals blijkt uit fig. 7.

5.4. De spoorelementen

De concentraties van de volgende spoorelementen werden bepaald : Fe, Zn, Cu, Pb, Ni, Co en Cd (zie tabel 1).

Het ijzer-gehalte is overal zeer laag (< 1 mg/l), behalve te Gent, waar 42 mg/l gevonden werd. Vermoedelijk is dit te wijten aan roestvorming in de verbuizing, te meer daar de put niet meer in produktie was bij de monsternamen.

Over Co en Cd valt weinig te vertellen, de concentraties blijven lager dan $2 \mu\text{g/l}$. Voor Zn, Pb, Cu en Ni zijn anomalieën aanwezig die mogelijk verband houden met de mineralogische samenstelling van het gesteente.

De normale waarden van Zn gaan van $< 1 \mu\text{g/l}$ tot ongeveer $30 \mu\text{g/l}$; voor Cu bevatten de meeste monsters $< 10 \mu\text{g/l}$, voor Pb eveneens, en voor Ni liggen de waarden meestal tussen 0 en $2 \mu\text{g/l}$.

Op fig. 15 werden de resultaten voor Zn aangeduid met de geologische achtergrond van de sokkel. Vier monsters met Cu-waarden boven $30 \mu\text{g/l}$ werden eveneens aangeduid. De hoogste waarden vinden we te Harelbeke : $5000 \mu\text{g/l}$ Zn, $1000 \mu\text{g/l}$ Cu, $150 \mu\text{g/l}$ Pb en $12 \mu\text{g/l}$ Ni. Deze waterwinning bevindt zich in eruptieve Ashgill-gesteenten. Er zijn verder nog anomalieën in het Ashgill, in het Revinium-a te Waregem en Oostende, en in het Salmiaan te Geraardsbergen. Enkele anomalieën schijnen met breuken geassocieerd te zijn.

Mogelijk zijn sulfide-mineralisaties de oorzaak van de anomalieën. Anderzijds is contaminatie van de waterwinning niet uit te sluiten. Een degelijke interpretatie van de anomalieën valt buiten het kader van deze studie, daar een verregaand geologisch onderzoek met eventueel nieuwe boringen noodzakelijk zou zijn.

6. Evolutie van het sokkelwater in de tijd

In dit hoofdstuk willen we nagaan hoe de chemische eigenschappen van het sokkelwater veranderd zijn in de tijd.

De tabellen op de volgende blz. geven een vergelijking van enkele oudere analyses met de huidige, telkens voor de zelfde waterwinning of eventueel voor waterwinningen die slechts enkele honderden m uit elkaar liggen. We moeten opmerken dat één van de belangrijkste parameters, nl. het totale zoutgehalte, uitgedrukt in mg/l, niet steeds op dezelfde manier bepaald werd. Meestal wordt de droogrest bij indampen op 105° of 110°C gemeten; in onze studie berekenden we de som van de voornaamste ionen, wat iets hogere waarden oplevert.

Op de meeste plaatsen neemt de saliniteit toe. Te Oostende is het zoutgehalte tussen 1934 en 1982 toegenomen met ongeveer 1g/l. Te Roeselare, Harelbeke en Vichte valt ook een belangrijke toename op te merken. Te Kuurne heeft zich echter een afname voorgedaan, en ook in het zuid-oosten, te Nederbrakel vond een afname plaats. In hoeverre het hier gaat om analytische fouten, dan wel om reële schommelingen, valt niet af te leiden.

We vermeldden reeds voorheen dat vermenging door oppervlakte water de gegevens kan vervalsen : het geval van Gent is duidelijk, het totaal zoutgehalte daalde tot op de helft, en het Cl^- gehalte tot op een vierde van zijn oorspronkelijke waarde in de vorige eeuw.

Het Cl^- gehalte is over het algemeen ook toegenomen. Fig. 13 illustreert dit verschijnsel. De Cl^- isoconcentratie-lijnen, ontleend aan het werk van Gulinck (1966), worden vergeleken met de lijnen uit dit werk (1982). In het noorden is de toename van het Cl^- gehalte veel duidelijker dan in het zuiden. In Oostende nam het de laatste 15 jaar toe met 400 mg/l. In het zuiden is lokaal zelfs een afname mogelijk.

De toename van het Cl^- gehalte geeft nochtans geen aanleiding tot het wijzigen van de Cl^- isolijnen in het noordelijke gebied (fig. 13). De isolijnen van 500 mg/l en 1000 mg/l zoals ze door Gulinck (1966) voorgesteld werden, kunnen nog steeds als richtlijn gelden. In het zuiden echter, waar de dichtheid van de bemonsterde punten veel hoger is, kunnen we de isolijn van 100 mg/l nauwkeuriger tekenen dan Gulinck (1966) die over minder analysepunten beschikte.

1. Oostende, Thermen (21 E 122)

jaartal	1934	1966	1973	1982
totaal (mg/l)	3.241		4.369	4.177
Cl ⁻	1.185	1.190	1.498	1.571
SO ₄ ⁻⁻	435		646	422
HCO ₃ ⁻	345		682	677
Na ⁺	1.208		1.472	1.450
Mg ⁺⁺	10		13,9	15,8
Ca ⁺⁺	12		15,8	17
totale hardheid (°F)	7,4	7,2	9,5	11

2. Gent, EGW (55 W 133)

	1897	1930	1982
totaal (mg/l)	1.930		1.021
Cl ⁻	362	454	92
SO ₄ ⁻⁻			144
HCO ₃ ⁻			476
Na ⁺			69
Mg ⁺⁺			12
Ca ⁺⁺		26	220
totale hardheid (°F)	4,4	6,5	60

3. Staden, Oliefabrieken Debeil (67W-205)

jaartal	1976	1982
totaal (mg/l)		1.824
Cl ⁻	373	448
SO ₄ ⁻	187	192
HCO ₃ ⁻		549
Na ⁺		600
Mg ⁺⁺	1,4	2,3
Ca ⁺⁺	4,8	5,7
totale hardheid (°F)	1,8	2
konduktiviteit		

4. Roeselare, Rodima (67 E-154)

	1979	1982
totaal (mg/l)		1.398
Cl ⁻	204	230
SO ₄ ⁻	61	154
HCO ₃ ⁻		561
Na ⁺		430
Mg ⁺⁺		1,5
Ca ⁺⁺		1,1
totale hardheid (°F)	1,3	1,4
konduktiviteit	1.680	2.200

5. Roeselare, Hanekop

(67 E 149)

jaartal	1969	1982
Totaal (mg/l)	1.320	1.767
Cl ⁻	196	234
SO ₄ ⁻⁻	135	264
HCO ₃ ⁻	519	647
Na ⁺	335	540
Mg ⁺⁺	1,2	3
Ca ⁺⁺	2,8	1,6
Totale hardheid (°F)	1,2	2,4

Rumbeke, Soliver (900 m zuidelijk)

(67 E 152)

6. Izegem, Vandemoortele

(68 W 458)

	1971	1982
Totaal (mg/l)	1.081	1.244
Cl ⁻	158	164
SO ₄ ⁻⁻	116	125
HCO ₃ ⁻		537
Na ⁺	440	375
Mg ⁺⁺	1,0	1,1
Ca ⁺⁺	4	0,9
Totale hardheid (°F)	1,4	1

7. St.Baafs-Vijve, Balta

(68 E 176)

jaartal	1969	1982
totaal(mg/1)	990	1.126
Cl ⁻	150	202
SO ₄ ⁻⁻	216	163
HCO ₃ ⁻	415	396
Na ⁺	357	338
Mg ⁺⁺	2,4	2
Ca ⁺⁺	6,4	2,6
totale hardheid (°F)	2,6	1,5

St.Eloois-Vijve, Interdying

(83 E 423) (700 m zuidelijk)

8. Kuurne, Fenaux (83W 440)

	1961	1982
Totaal (mg/l)	1.020	940
Cl ⁻	220	125
SO ₄ ⁻⁻	90	82
HCO ₃ ⁻	442	415
Na ⁺	340	285
Mg ⁺⁺	2,9	1,2
Ca ⁺⁺	3,2	2,4
Totale hardheid (°F)	2	1,5

9. Harelbeke, Lano (83E422)

Jaartal	1974	1975	1982
totaal (mg/l)		724	875
Cl ⁻	106	20	108
SO ₄ ⁻⁻		157	72
HCO ₃ ⁻		415	403
Na ⁺		270	247
Mg ⁺⁺		2,4	0,9
Ca ⁺⁺		3,2	1,0
Totale hardheid (°F)		1,8	1

10. Vichte, Steverlynck (84 W1360)

	1960	1973	1982
totaal (mg/l)	560	688	735
Cl ⁻	70	43	56
SO ₄ ⁻⁻	52	54	34
HCO ₃ ⁻	351	376	403
Na ⁺	194	194	202
Mg ⁺⁺	0,5	0,7	0,6
Ca ⁺⁺	7,2	1,8	0,7
Totale hardheid (°F)	2	0,7	0,4

11. Anzegem, Lepoutre (84 W 1363 en 1381)

(900 m oostelijk)

jaartal	1964	1971	1982
totaal (mg/l)	458	350	578
Cl ⁻	28	14	21
SO ₄ ⁻⁻	30	20	10
HCO ₃ ⁻	387		384
Na ⁺	142	135	96
Mg ⁺⁺	1,9	13	12
Ca ⁺⁺	3,2	25	26
tot. hardheid(°F)	1,6	11,5	12

12. Oudenaarde, stad/Aldenardia (500 mE)

(84 E 77)

(84 E 1377)

	1940	1959	1982
totaal (mg/l)	540	550	578
Cl ⁻	62	76	67
SO ₄ ⁻⁻	119	64	24
HCO ₃ ⁻		311	305
Na ⁺		168	156
Mg ⁺⁺		3	2,3
Ca ⁺⁺	18	6	4,3
tot. hardheid(°F)	4	2,6	2,3

13. Maarkedal, Fontana-bronnen (99W-1473)

Jaartal	1960	1982
totaal (mg/l)	420	503
Cl ⁻	32	36
SO ₄ ⁻⁻	46	38
HCO ₃ ⁻	287	281
Na ⁺	134	125
Mg ⁺⁺	3	2,1
Ca ⁺⁺	3	2,8
tot. hardheid(°F)	2,2	1,7

14. Nederbrakel, Koningsbronnen (99E, 968)

	1971	1982
	920	692
	126	67,5
	150	57,6
		354
	268	191
	2	0,5
	8	1,9
	2,8	1

Opvallend is hierbij dat in de buurt van Kortrijk meer dan 100 mg/l Cl^- aanwezig is, in tegenstelling tot wat men vroeger dacht. De Cl^- isoconcentratie-lijn van 100 mg/l schijnt hier het ondergrondse reliëf van de sokkel te volgen, nl. evenwijdig met de hoogtelijn -100 (Legrand 1968). Het is trouwens logisch dat het Cl^- gehalte juist zoals de saliniteit toeneemt met de diepte.

Wat het SO_4^{--} gehalte betreft, leiden we uit de tabellen af dat er een stijging waar te nemen is in de streek van Roeselare : van 61 mg/l in 1979 naar 154 mg/l in 1982 ten noorden van Roeselare en van 135 mg/l in 1969 naar 264 mg/l in 1982 te Rumbeke. In Oostende zijn er schommelingen waar te nemen (van 435 naar 646 en terug naar 422 mg/l respect. in 1934, 1973 en 1982).

In het zuidoostelijk gebied neemt het sulfaatgehalte af, nl. te Nederbrakel, Oudenaarde, Anzegem, Vichte en zelfs Harelbeke. In Anzegem is de vermenging met hard oppervlakkig water hiervoor verantwoordelijk, maar op de andere plaatsen is niet duidelijk welke de oorzaak is. Misschien treedt een laattijdige neerslag van CaSO_4 op, voorbij de eigenlijke kationenuitwisselingszone.

De toename van het sulfaat-gehalte nabij Roeselare is verontrustend, en houdt zeker verband met de verlaging van het piëzometrisch oppervlak (fig. 11).

De invloed van een verlaging van de grondwaterstand kan geïllustreerd worden aan de hand van fig. 14, die een Noord-Zuid profiel voorstelt door het betrokken gebied. De watervoerende lagen van de sokkel en het Krijt staan met elkaar in contact onder de klei van de Landen-Formatie. Omstreeks 1978 stond het piëzometrisch oppervlak bijna aan de top van het Krijt-sokkel aquifer; dit betekent dat het dynamisch peil (bij pompen) onder de top van het watervoerend gesteente komt te staan. In deze omstandigheden gaat het spanningskarakter verloren en treden er oxyderende condities op aan de top van het gecombineerde aquifer Krijt-sokkel.

De meeste gesteenten bevatten wat pyriet, of eventueel andere sulfiden, die oxyderen tot sulfaat in het randgebied van de grondwatertafel, die een langzame op- en neerwaartse schommeling ondergaat in de loop van het jaar. De sulfaten lossen op en verspreiden zich langzaam in het aquifer. Het is te verwachten dat bij een verdere verlaging van de waterstand de pyriet-houdende gesteenten van het Cambrium een nog sterkere oxydatie zullen ondergaan, waardoor het sulfaat-gehalte nog meer zal toenemen. Het aanhouden van deze menselijke activiteit zal dus een definitieve verslechtering van de kwaliteit van het sokkelwater voor gevolg kunnen hebben.

Op de overige anionen valt niet zo veel aan te merken (zie tabellen). Het bicarbonaat-gehalte is relatief constant, behalve te Oostende waar het stijgt. Het Na^+ gehalte evolueert ongeveer zoals dat van Cl^- .

Het Mg^{++} gehalte varieert weinig, behalve de reeds vermelde flinke stijging te Anzegem. Het Ca^{++} gehalte stijgt te Anzegem en Gent, vermoedelijk door vermenging met oppervlakkig water. De hardheid neemt hier dus uiteraard ook toe.

Op verschillende plaatsen wordt een daling van het Ca^{++} gehalte vastgesteld, ondermeer te Oudenaarde, Nederbrakel, Vichte en Sint-Eloois-Vijve. Meestal gaat hiermee een daling van het sulfaatgehalte gepaard, zodat we kunnen stellen dat CaSO_4 wordt neergeslagen als voltooiing van het proces van kationenuitwisseling. Het gaat echter om zeer lage absolute Ca^{++} gehalten.

De totale hardheid varieert op de meeste plaatsen niet noemenswaardig. Te Oostende maakt de stijging van de hardheid deel uit van de algemene oververziltting. Te Gent en Anzegem behoort ze tot de kenmerken van een vermenging met oppervlakkig water. Elders in de zone met zacht water (minder dan 6°F) is de hardheid stabiel.

De hardheidsisogradien worden op fig. 13 weergegeven. In het noorden is de isograad van 6°F voorgesteld door Gulinck (1966) nog steeds geldig. In het zuiden dient hij lichtjes gewijzigd te worden, daar Bellegem tot de zone met zacht water behoort, en te Geraardsbergen harder water aanwezig is (10°F). We bespraken reeds eerder het versnellen van de kationenuitwisseling door het pompen. Eigenlijk wordt te Geraardsbergen Cl^- en Na^+ aangetrokken uit diepere (noordelijke) zones, terwijl het Ca^{++} pas later neerslaat. Hierdoor ontstaat tijdelijk een hogere verhouding $\text{Ca}^{++}/\text{Na}^+$, die overeenkomt met die van de kationenuitwisselingszone (zie fig. 12, analyse 33). Tenslotte zijn op fig. 13 de verziltingsgrens en oververziltingsgrens volgens Delecourt (1936) aangeduid. Deze grenzen bakenen de zone van zacht alkalisch water af, en zijn volgens Delecourt gebaseerd op de hardheidsisograad 6°F . Men kan vaststellen dat deze grenzen slechts weinig gewijzigd zijn sinds 1936.

Merken we nog op dat een systematisch onderzoek naar het fluor-gehalte niet werd uitgevoerd in deze studie.

Samenvattend kunnen we de evolutie van de kwaliteit van het sokkelwater in de tijd kenmerken door de volgende verschijnselen, die alle door menselijke activiteit veroorzaakt worden :

1. Verzilting in het noordelijke gebied door aantrekking van diep water.
2. Geïsoleerde contaminatie door oppervlakkig water (vb. Anzegem).
3. Toename van het sulfaat-gehalte in het centrum van het afpompingsgebied.
4. Versnelling van natuurlijke verschijnselen zoals kationenuitwisseling (Geraardsbergen).

Deze fenomenen hebben tot hiertoe slechts zwakke verschuivingen van de isoconcentratie-lijnen veroorzaakt, maar na verloop van tijd kunnen hierdoor drastische wijzigingen ontstaan.

BIBLIOGRAFIE

- DELECOURT J. (1936): Les eaux artésiennes salines du bassin de Paris, de la Basse et de la Moyenne Belgique. Bull. Soc. Belge Géol., t. 46, 229-259 (1936) et t. 48, 649-685 (1938).
- ELLES G.L. and WOOD E.M.R. (1918) : A monograph of British graptolites. Paleontographical Society, London, 1901-1918, ed. C. Lapworth.
- GULINCK M. (1966) : Hydrogeologie. Atlas van België, platen 16A en B. Nationaal Comité voor Geografie, Commissie van de Nationale Atlas.
- LAGA P. (1978) : Het waterprobleem en de hydrogeologie in België. Waterdagen K.U.L, Leuven.
- LEGRAND R. (1968) : Le Massif du Brabant. Mémoire n° 9, Belgische Geologische Dienst, Brussel, 148 p., 5 pl.
- PIPER A.M. (1944) : A graphical procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Am. Geophysical Union Trans., n° 25, 914-923.
- WALTER F. (1963) : Some results of geo-electrical investigations in the alluvial areas in the Netherlands. Verh.K. Ned. Geol. Mijnb. Gen. Geol. Ser. 21, 233-241.

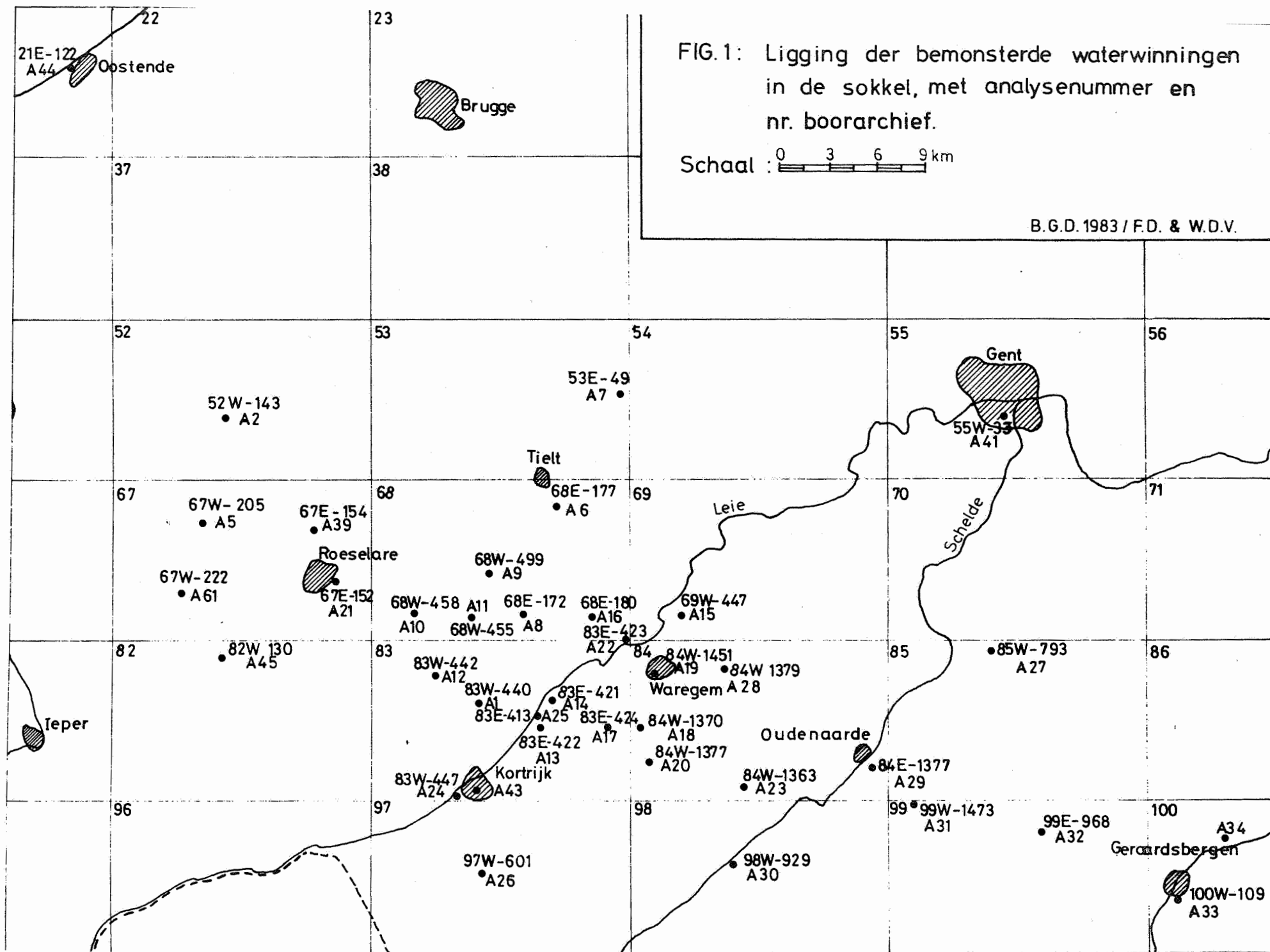


Fig.2 Geologische kaart van de sokkel volgens

Legrand (1968)

Schaal 0 3 6 9km

Carboon :

Kk kolenkalk (Onder-Carboon)

Devoon :

Dev Boven- en Midden-Devoon

Situur :

Sil (ongedifferentieerd)

Ordovicium :

Ash Ashgill

Ord (ongedifferentieerd)

Sm Salmiaan (Tremadoc)

Cambrium :

Rvb-c Revinium b en c

Rva Revinium a
(Assise van Oisquercq)

Dv Devillium

b—b breuk

• bemonsterde waterwinning

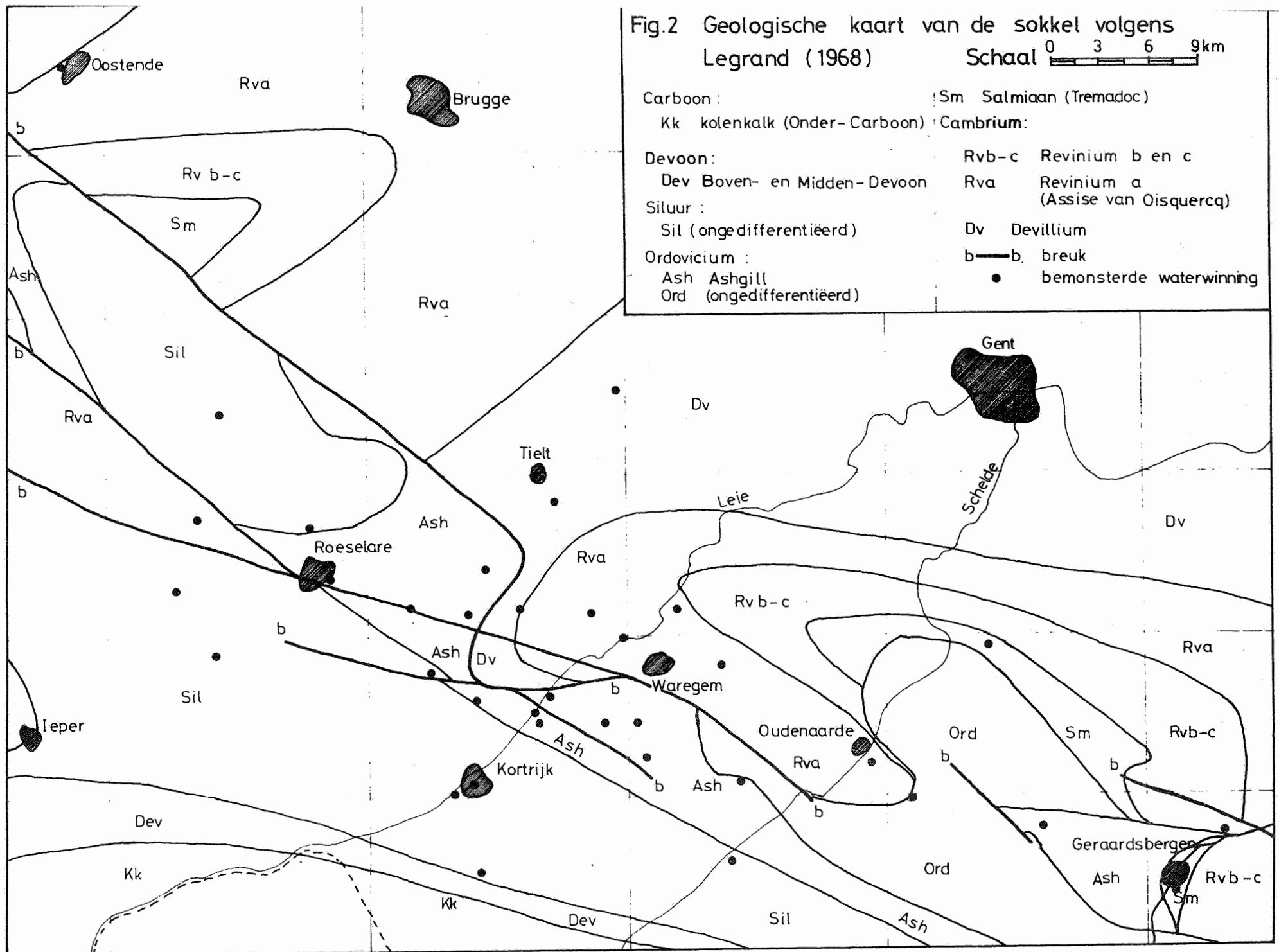


Fig. 3 Verband tussen conductiviteit en mineralisatiegraad

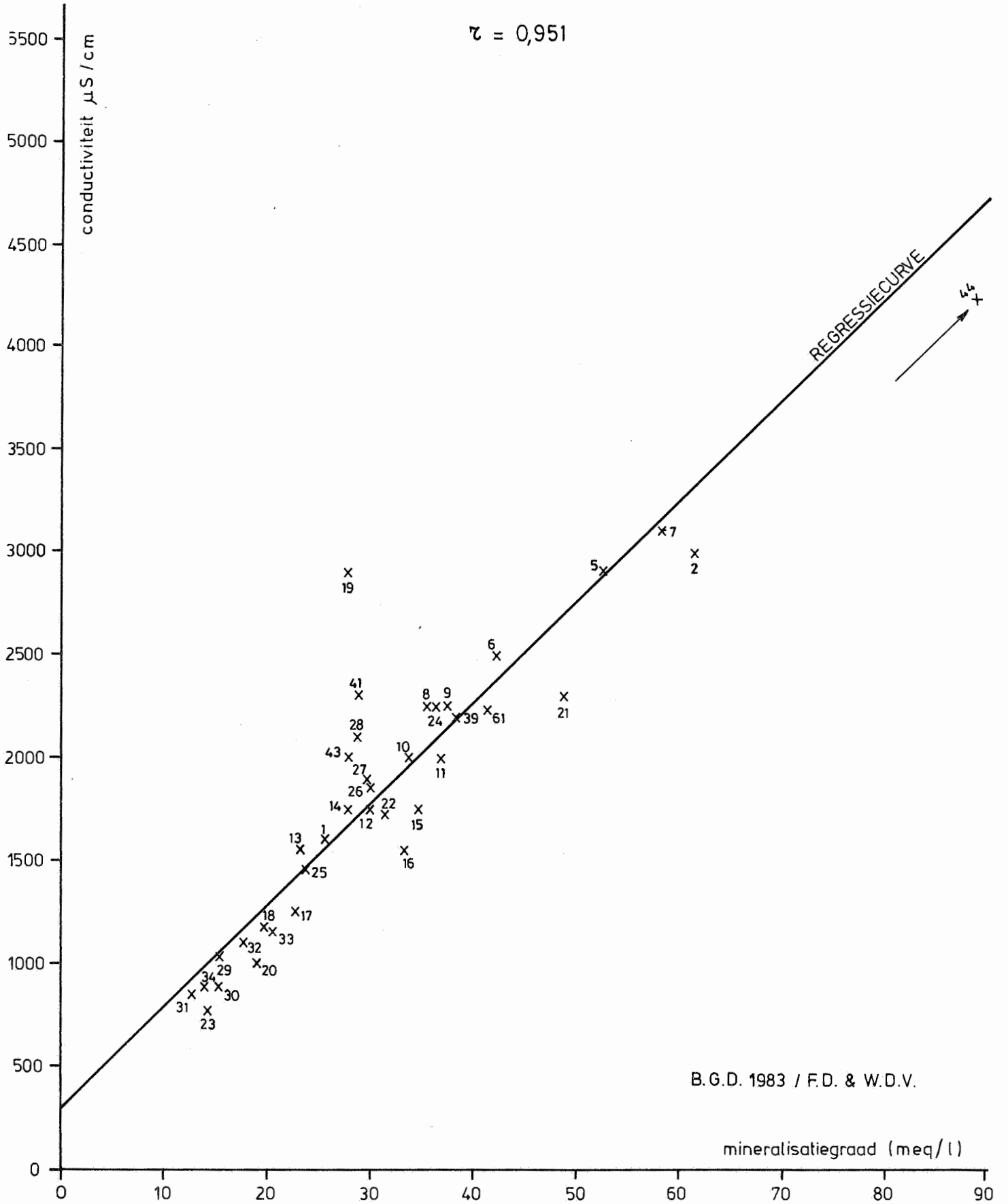


Fig. 4 Zoutgehalte en conductiviteit

- G saliniteit = totaal zoutgehalte (mg/l)
- saliniteit G (mg/l)
- conductiviteit σ_{20} ($\mu\text{S/cm}$)
- - - - mineralisatiegraad M (meq/l)

B.G.D. 1983 / F.D. & W.D.V.

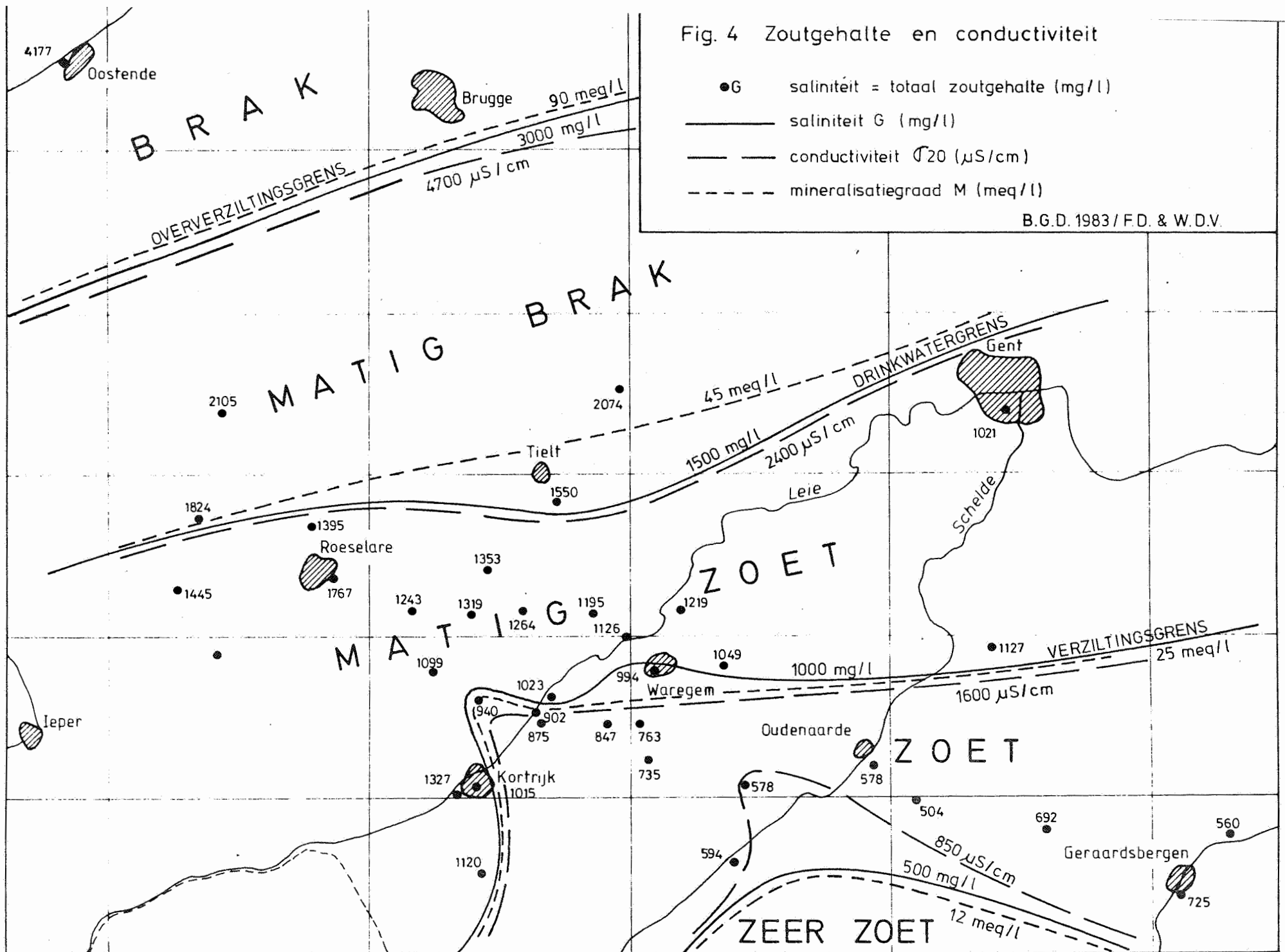


Fig. 5 Hardheid, Ca⁺⁺ en Mg⁺⁺ gehalte

- hardheid in Franse graden (°F)
- hardheid (°F)
- - - Ca⁺⁺ (mg/l)
- - - Mg⁺⁺ (mg/l)

B.G.D.1983 / F.D. & W.D.V.

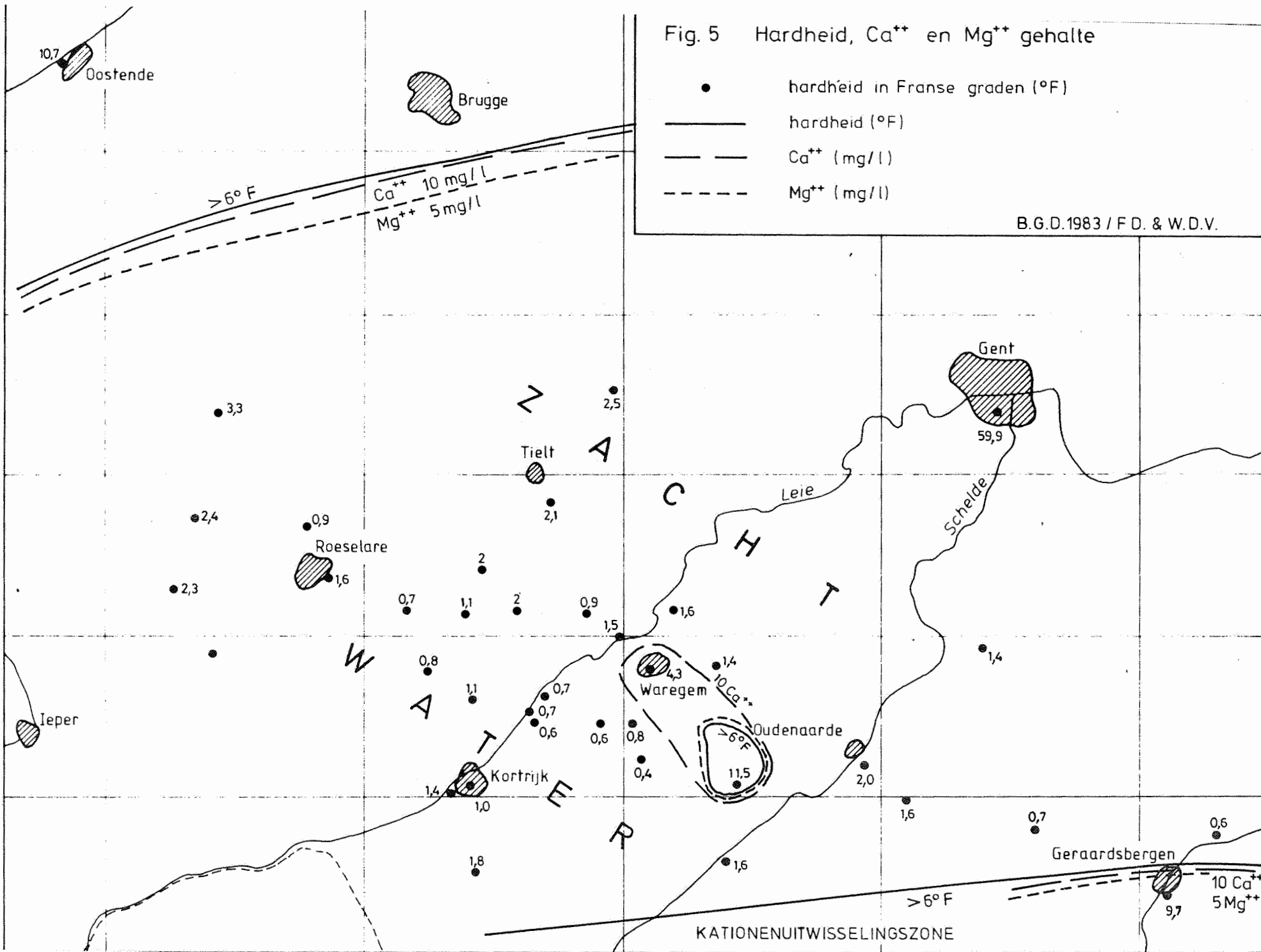


Fig. 6 Gehalte aan Cl^- , Na^+ en K^+

- Cl^- gehalte in mg/l
- Cl^- (mg/l)
- - - Na^+ (mg/l)
- - - K^+ (mg/l)

B.G.D. 1983 / F.D. & W.D.V.

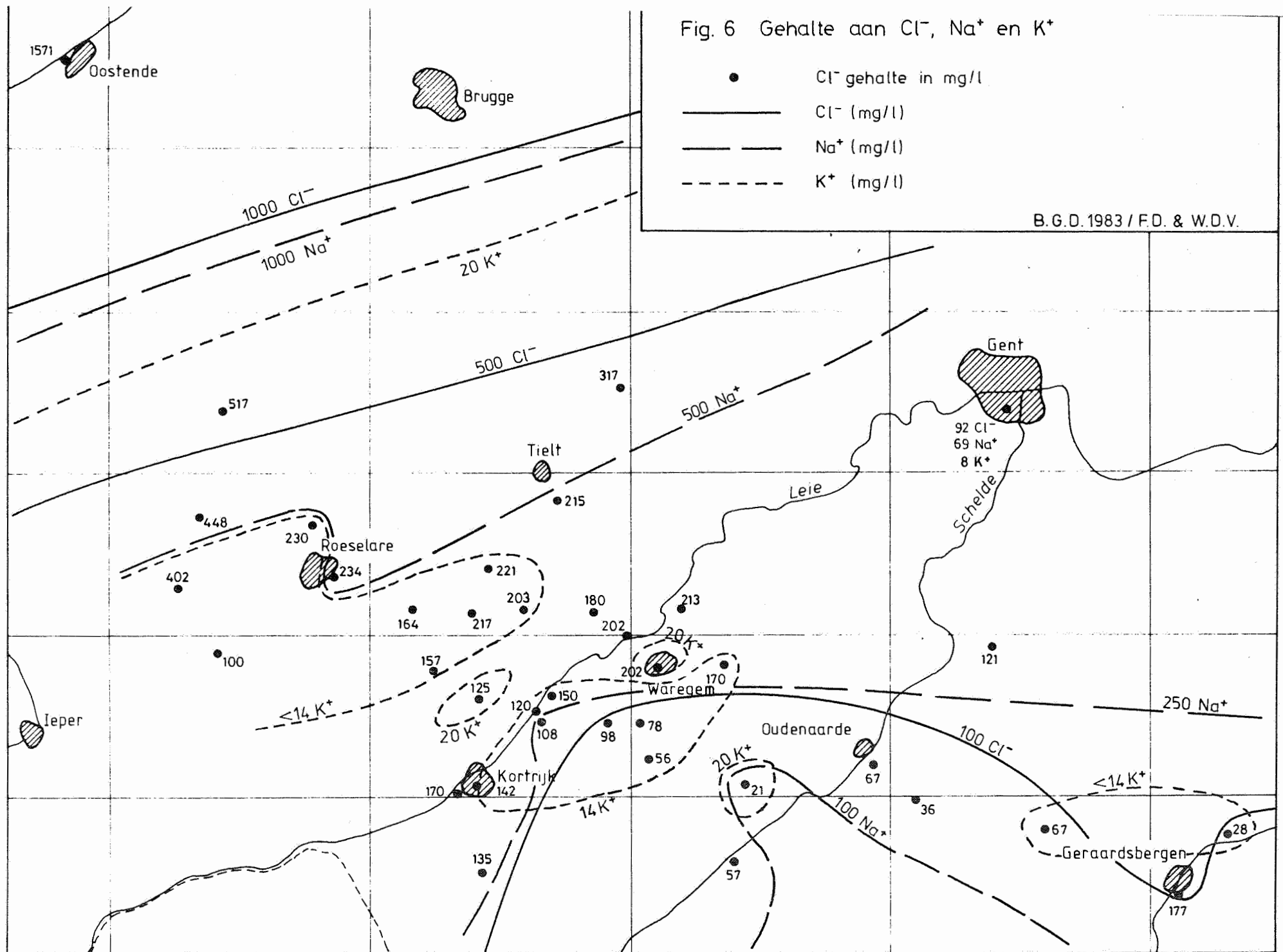


Fig. 7 pH, carbonaat- en bicarbonaatgehalten.

- som van HCO_3^- en CO_3^{--} (mg/l)
- som van HCO_3^- en CO_3^{--} (mg/l)
- - - pH
- - - - CO_3^{--} gehalte (mg/l)

B.G.D.1983 / F.D. & W.D.V.

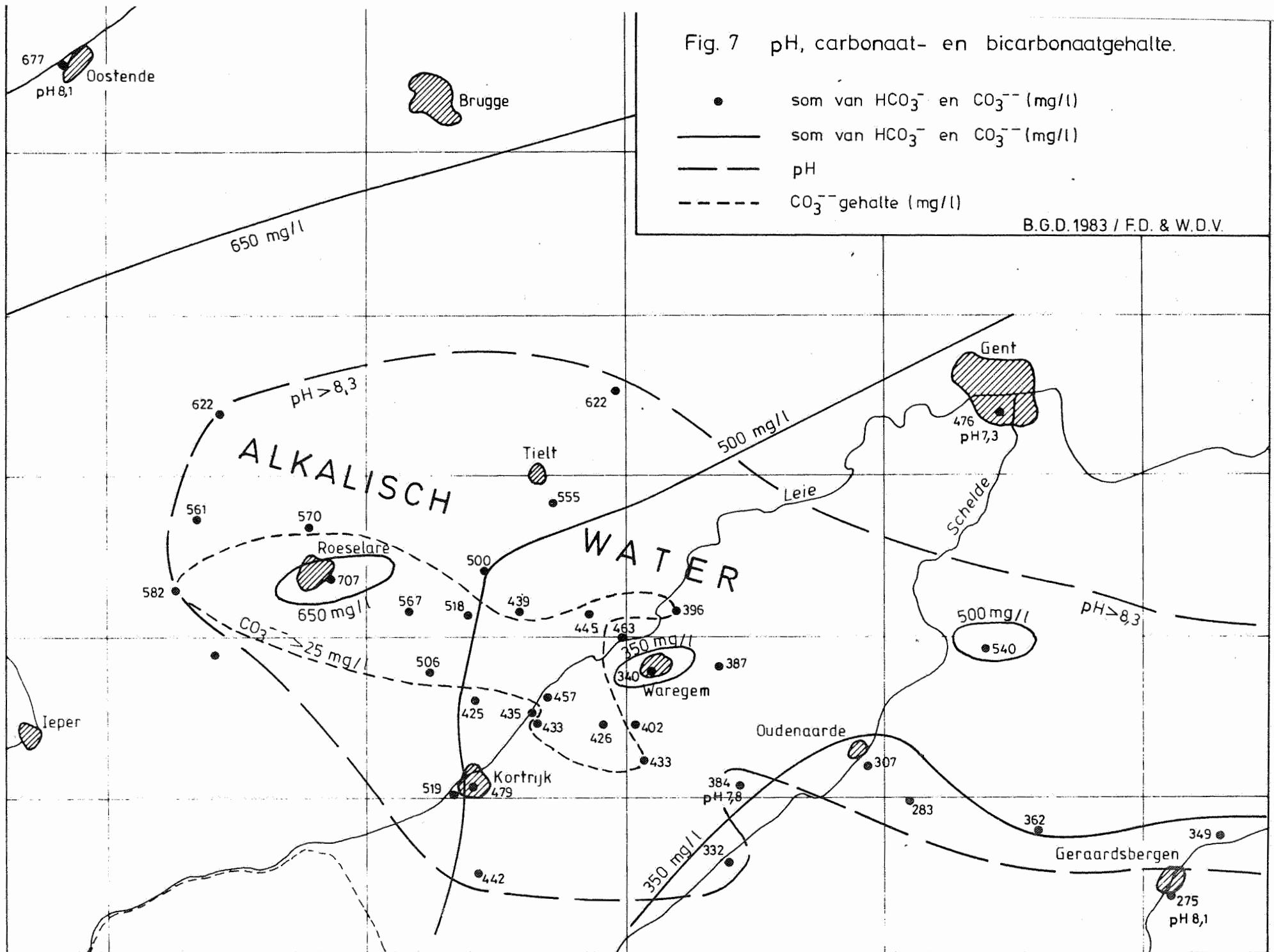


Fig. 8 Sulfaat-gehalte

• SO_4^{--} in mg/l

— lijnen van gelijke concentratie

B.G.D. 1983 / F.D. & W.D.V.

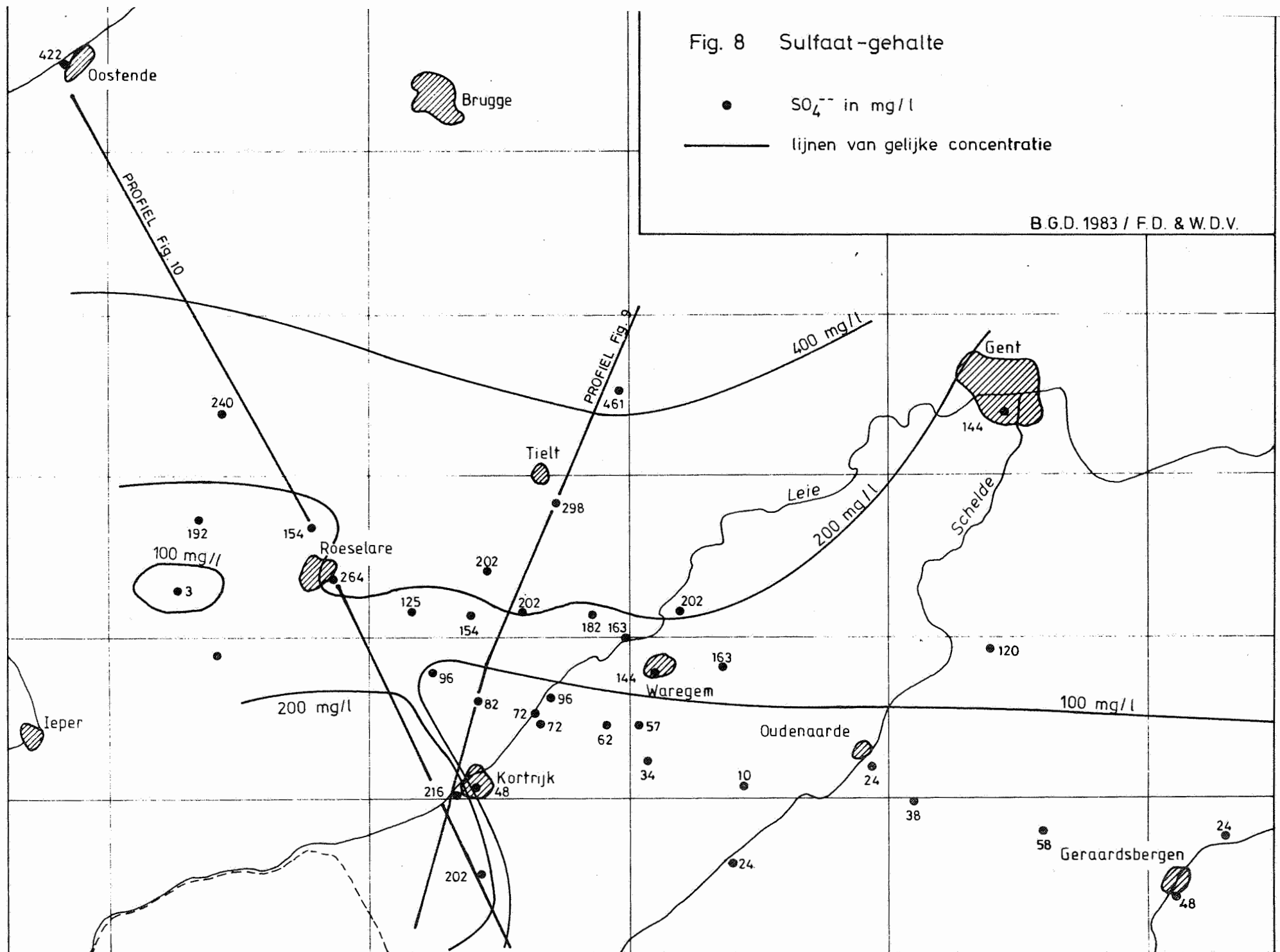


Fig. 9 Noord-Zuid profiel met anionengehalte

(ligging zie fig. 8)

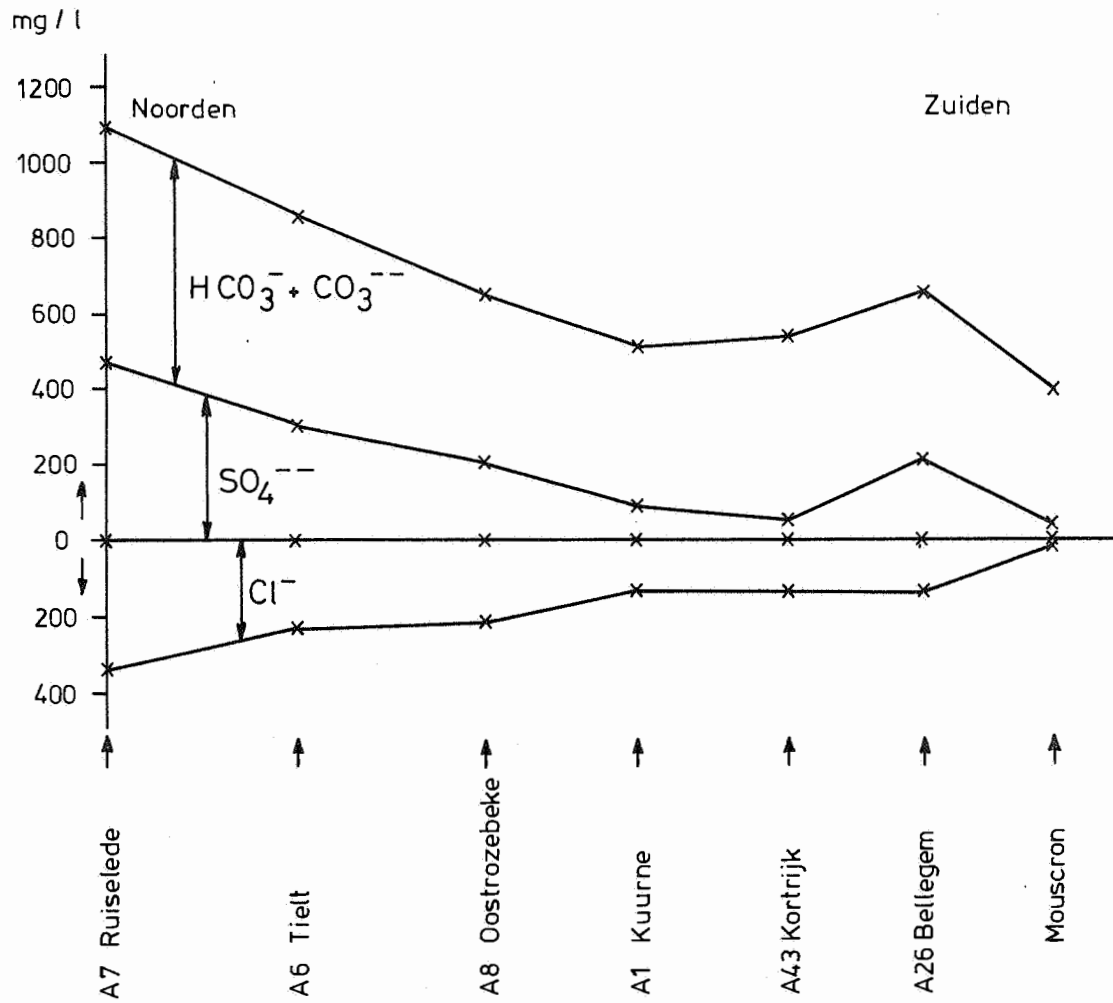


Fig. 10 Noordwest - Zuidoost profiel met anionengehalte.

(ligging zie fig. 8)

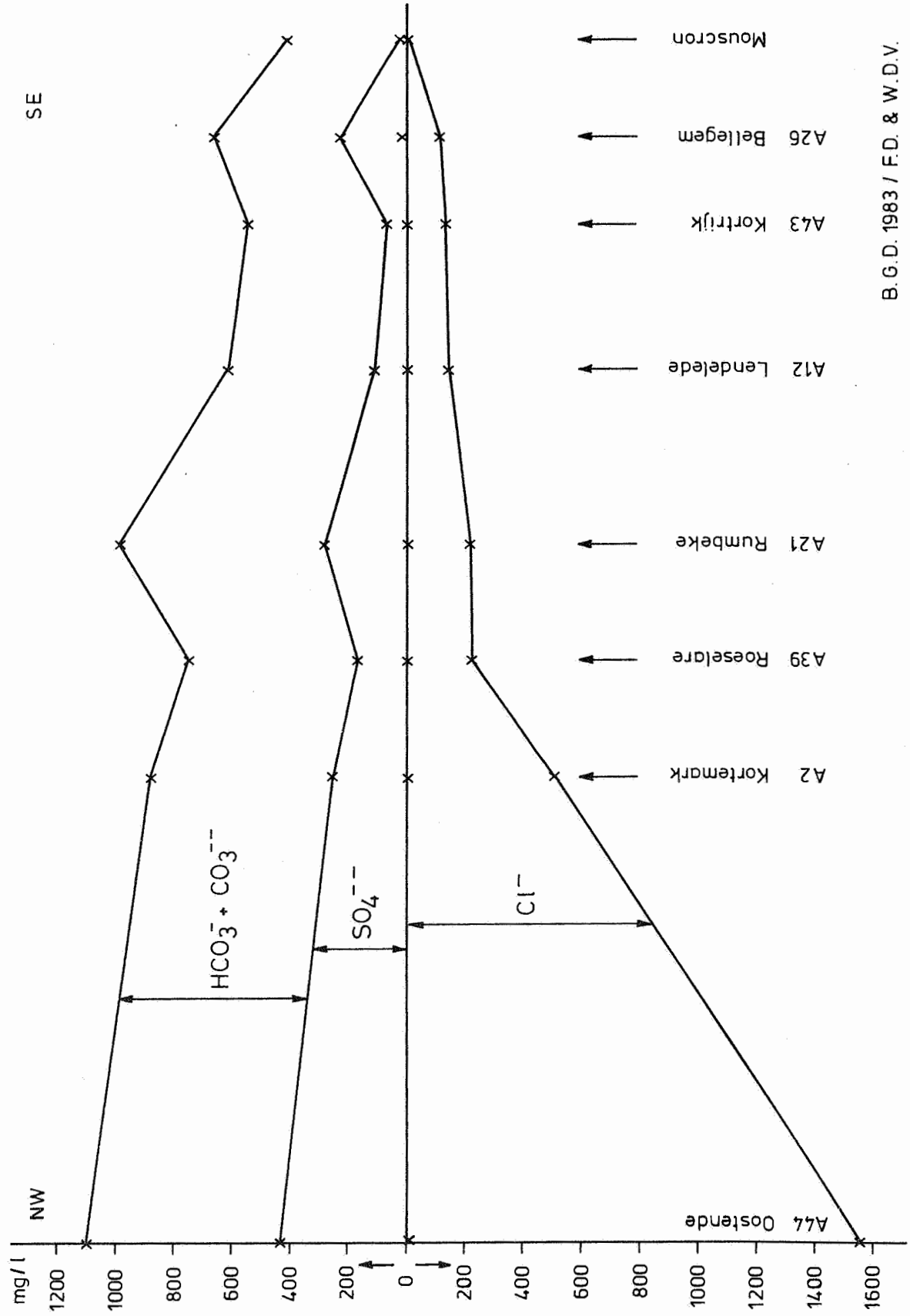
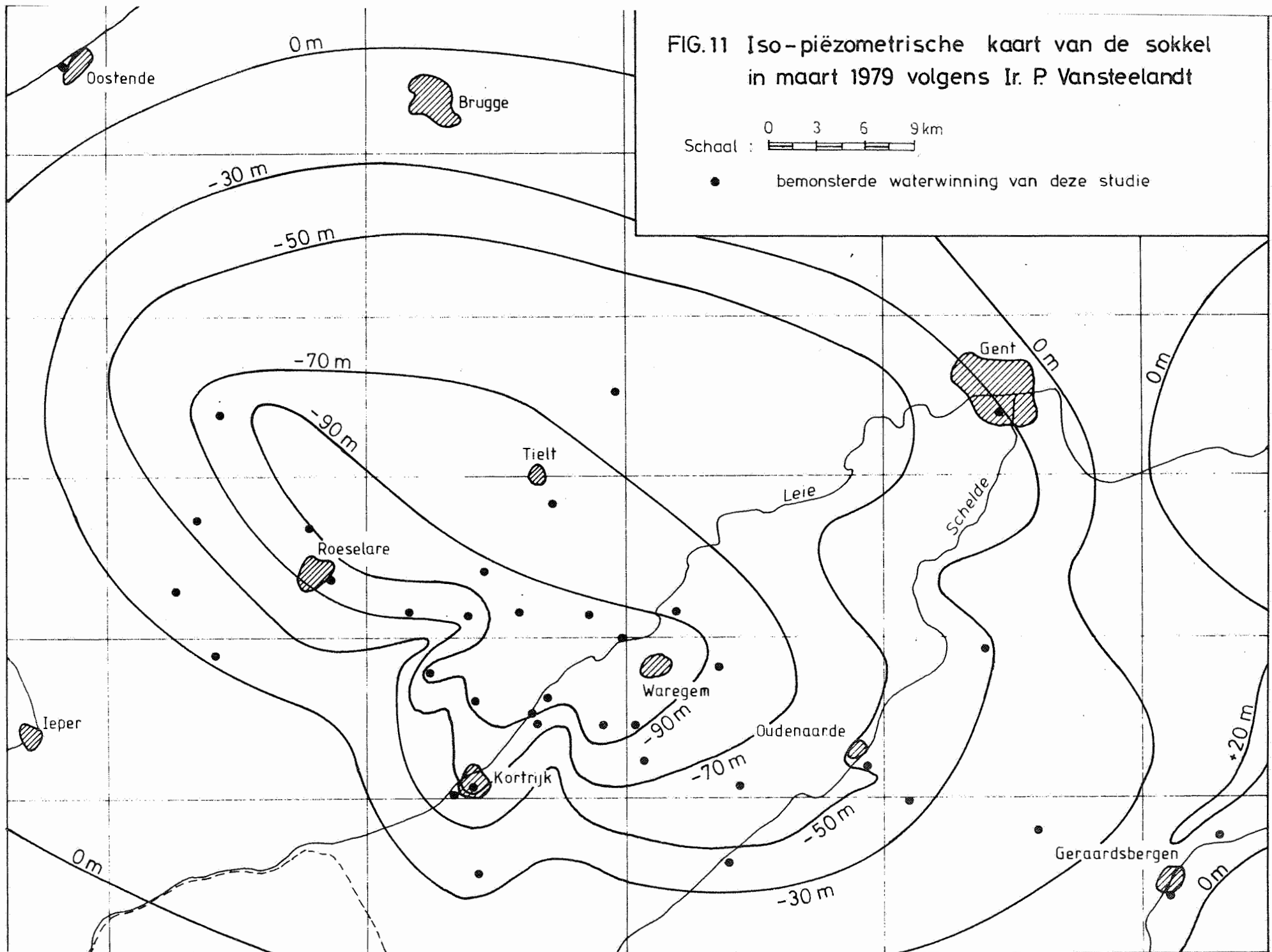


FIG.11 Iso-piëzometrische kaart van de sokkel in maart 1979 volgens Ir. P. Vansteelandt

Schaal : 0 3 6 9 km

● bemonsterde waterwinning van deze studie



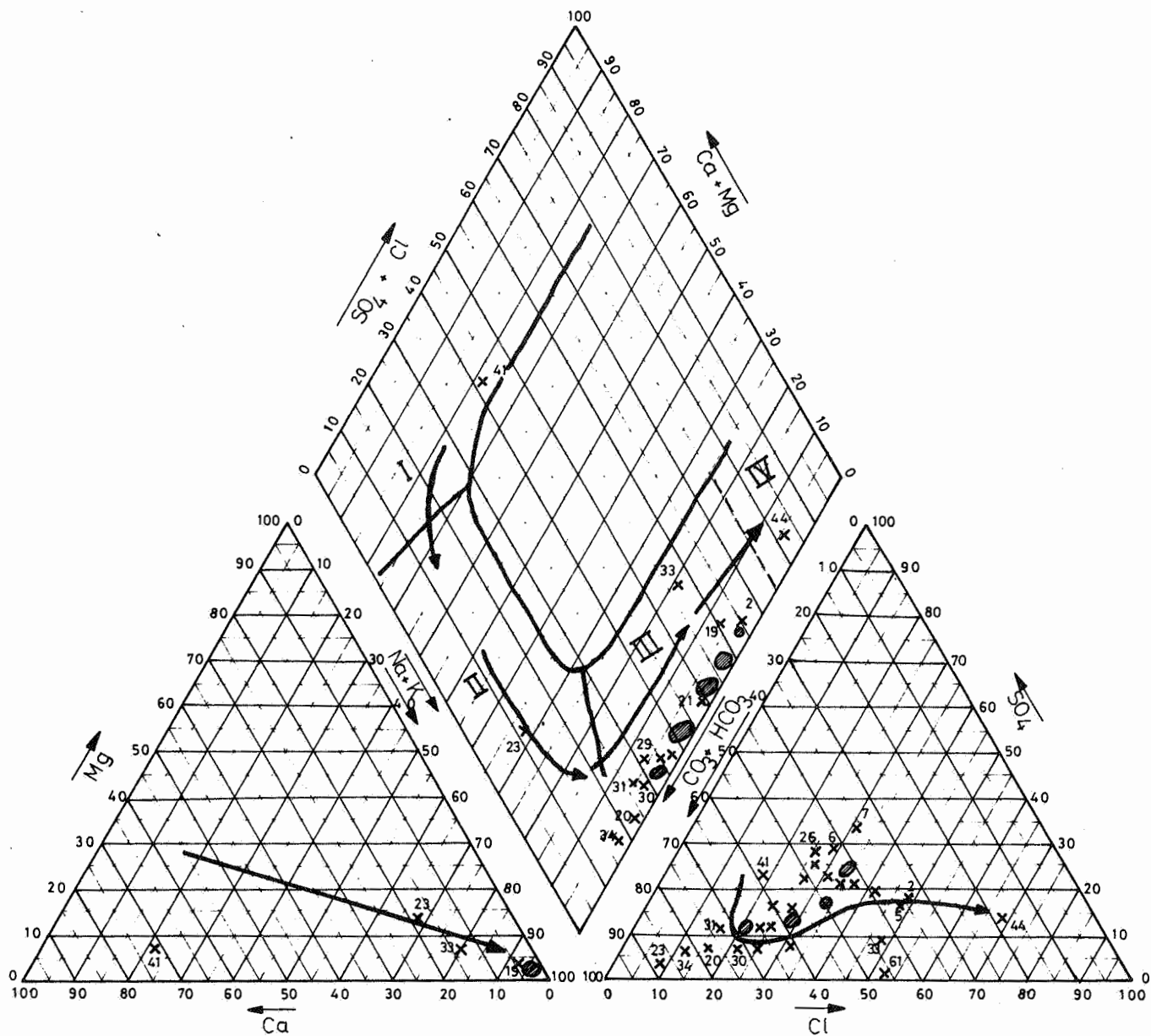


Fig.12 Evolutie van het sokkelwater aan de hand van een Piper - diagram

- × samenstelling der individuele monsters
- meerdere monsters met zelfde samenstelling

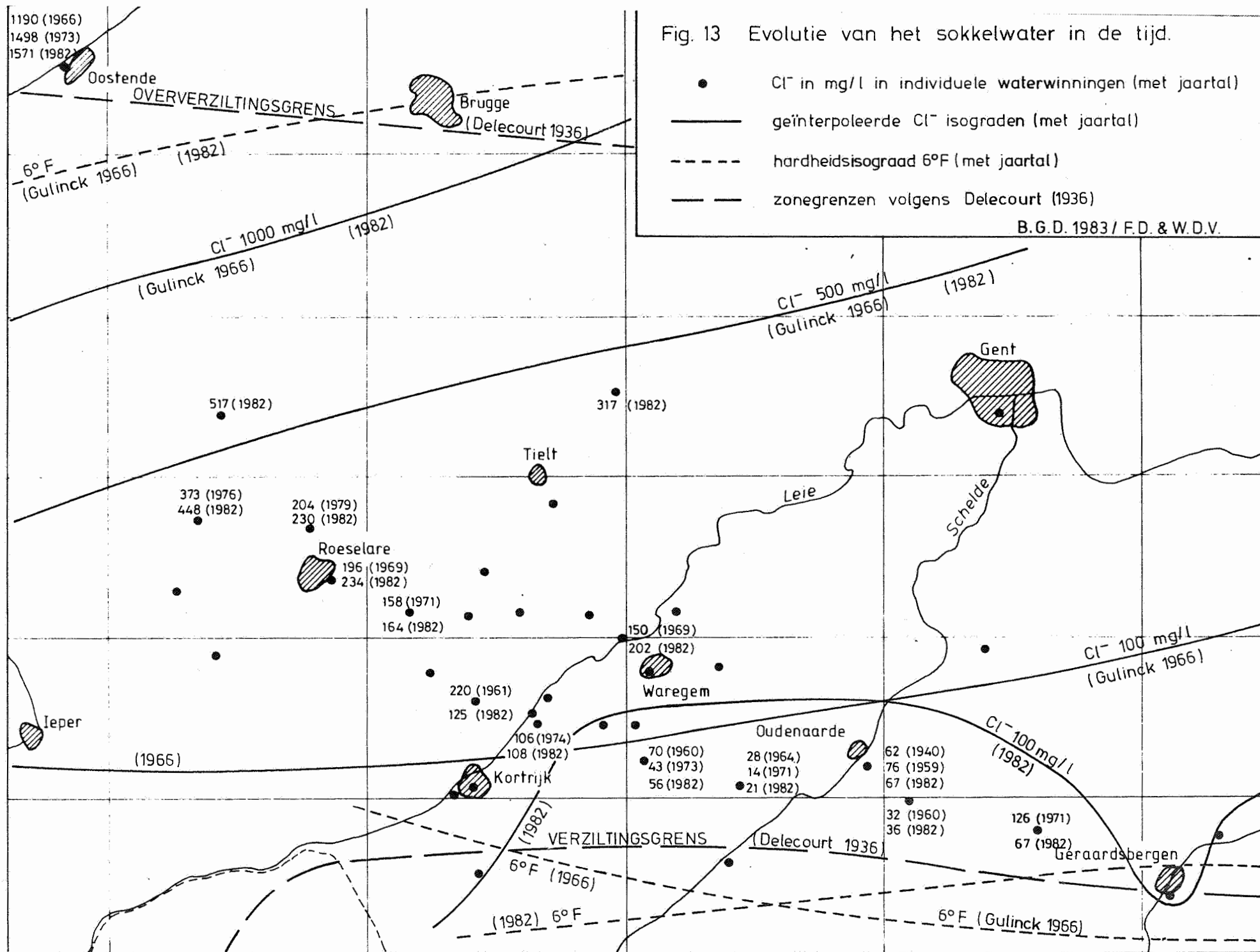


Fig. 14 Geologisch Profiel Knokke-Blandain (Doornikse)

