

TOEGEPASTE GEOLOGIE EN HYDROGEOLOGIE

INVENTARISATIE VAN DE KENNIS VAN DE
IEPERIAANKLEI IN FUNCTIE VAN ONDERZOEK
NAAR DIEPE BERGING VAN HOGRADIOACTIEF AFVAL

- EINDRAPPORT -

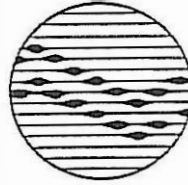
99/30



UNIVERSITEIT GENT

Laboratorium
voor
Toegepaste Geologie
en
Hydrogeologie

INVENTARISATIE VAN DE KENNIS
VAN DE IEPERIAANKLEI IN FUNCTIE
VAN ONDERZOEK NAAR DIEPE BERGING
VAN HOOG-RADIOACTIEF AFVAL
- EINDRAPPORT -



Geologisch Instituut
Krijgslaan 281, S8
B-9000 Gent

tel. 09/264 46 47
fax 09/264 49 88

Opdrachtgever

NIRAS

Leiding : Prof. Dr. W. DE BREUCK
Studie en verslag : Lic. D. DE SMET
Lic. I. OLIVIER

Projectnummer : TGO 94/30

Datum : september 1996

INHOUD

LIJST VAN FIGUREN	VIII
LIJST VAN TABELLEN	XII
INLEIDING	1
DEEL I - DE IEPER GROEP	5
I.1 Lithostratigrafie	6
I.1.1 Inleiding	6
I.1.2 Formatie van Kortrijk	6
I.1.2.1 Algemeen	6
a. Zandige klei van het Lid van Mont-Héribu	14
b. Klei van het Lid van Saint-Maur (= klei van Orchies)	14
c. Klei van het Lid van Moen (= klei van Roubaix)	14
d. Klei van het Lid van Aalbeke	18
I.1.2.2 Zonering Formatie van Kortrijk	18
I.1.2.3 Afbakening van gebieden die op basis van sedimentologie en geometrie van de kleilagen in de Formatie van Kortrijk in aanmerking komen voor verder onderzoek ...	21
a. Gebied I	21
b. Gebied II	21
c. Gebieden III, IV, V	22
d. Noordzeegebied	22
e. Ligging van de gebieden die op basis van lithologie en geometrie van de kleilagen in de Formatie van Kortrijk in aanmerking komen voor verder onderzoek	22
I.1.3 Formatie van Tielt	25
I.1.3.1 Silt van het Lid van Kortemark	25
I.1.3.2 Zand van het Lid van Egem	25
I.1.4 Formatie van Gent	25
I.2 Sedimentologie	27
I.2.1 Inleiding	27
I.2.2 Gebied I	27
I.2.3 Gebied II	27
I.2.3.1 Boring Tielt	30
a. Formatie van Kortrijk	30
a.1 Lid van Mont-Héribu	30
a.2 Lid van Saint-Maur	30
a.3 Lid van Moen	30
a.4 Lid van Aalbeke	30
b. Formatie van Tielt-Lid van Kortemark	30
I.2.3.2 Boring Kallo	30
a. Formatie van Kortrijk	30
a.1 Lid van Mont-Héribu	30
a.2 Lid van Saint-Maur	30
a.3 Lid van Moen	31

	a.4 Lid van Aalbeke	31
	b. Formatie van Tielt-Lid van Kortemark	31
I.2.4	Gebied III	31
	I.2.4.1 Formatie van Kortrijk	31
	a. Lid van Saint-Maur	31
	b. Lid van Moen	31
	c. Lid van Aalbeke	31
	I.2.4.2 Formatie van Tielt-Lid van Kortemark	31
I.2.5	Afzettingsmilieu	32
I.2.6	Besluit	32
I.3	Mineralogie	33
	I.3.1 Inleiding	33
	I.3.2 Kleimineralogie	33
	I.3.2.1 Algemeen	33
	I.3.2.2 Zonering	34
	I.3.3 Zware mineralen	37
	I.3.4 Natuurlijke radioactiviteit	39
	I.3.4.1 Kleimineralen	39
	I.3.4.2 Glimmers	39
	I.3.4.3 Veldspaten	40
	I.3.4.4 Zware mineralen	40
	I.3.5 Besluit	41
I.4	Chemische samenstelling	42
	I.4.1 Algemeen	42
	I.4.2 Organisch materiaal	44
I.5	Paleogeografie	45
	I.5.1 Inleiding	45
	I.5.2 Paleogeografie van het Eoceen	45
	I.5.3 Paleogeografie van het Ieperiaan	45
I.6	Kleitektoniek	48
	I.6.1 Algemeen	48
	I.6.1.1 Onderste structurele eenheid	48
	I.6.1.2 Middelste structurele eenheid	48
	I.6.1.3 Bovenste structurele eenheid	52
	I.6.2 Genese	52
I.7	Besluit	57
 DEEL II - GEOLOGIE VAN DE GEBIEDEN DIE OP BASIS VAN SEDIMENTOLOGIE EN GEOMETRIE VAN DE KLEILAGEN IN DE FORMATIE VAN KORTRIJK IN AANMERKING KOMEN VOOR VERDER ONDERZOEK		59
II.1	Inleiding	60
	II.1.1 Algemeen	60
	II.1.2 Gebied Knokke	68
	II.1.3 Gebied Sint-Laureins - Assenede	68
	II.1.4 Gebied Sint-Niklaas - Beveren	68
II.2	Paleozoïsche sokkel	69
	II.2.1 Algemeen	69
	II.2.2 Gebied Knokke	69
	II.2.3 Gebied Sint-Laureins - Assenede	69

II.2.4	Gebied Sint-Niklaas - Beveren	69
II.3	Krijt	70
II.3.1	Algemeen	70
II.3.2	Gebied Knokke	70
II.3.3	Gebied Sint-Laureins - Assenede	72
II.3.4	Gebied Sint-Niklaas - Beveren	72
II.4	Tertiair	74
II.4.1	Algemeen	74
II.4.2	Haine-Haspengouw Groep	74
II.4.2.1	Formatie van Houthem	74
a.	Gebied Knokke	74
b.	Gebied Sint-Laureins - Assenede	74
c.	Gebied Sint-Niklaas - Beveren	74
II.4.3	Formatie van Heers	76
II.4.3.1	Algemeen	76
II.4.3.2	Gebied Knokke	76
II.4.3.3	Gebied Sint-Laureins - Assenede	76
II.4.3.4	Gebied Sint-Niklaas - Beveren	76
II.4.4	Landen Groep	77
II.4.4.1	Algemeen	77
II.4.4.2	Formatie van Hannut	77
a.	Gebied Knokke	77
b.	Gebied Sint-Laureins - Assenede	77
c.	Gebied Sint-Niklaas - Beveren	77
II.4.4.3	Formatie van Tienen	80
a.	Gebied Knokke	80
b.	Gebied Sint-Laureins - Assenede	80
c.	Gebied Sint-Niklaas - Beveren	80
II.4.5	Ieper Groep	81
II.4.5.1	Formatie van Kortrijk	81
a.	Gebied Knokke	81
b.	Gebied Sint-Laureins - Assenede	90
c.	Gebied Sint-Niklaas - Beveren	90
II.4.5.2	Formatie van Tielt	91
a.	Lid van Kortemark	91
a.1	Gebied Knokke	91
a.2	Gebied Sint-Laureins - Assenede	91
a.3	Gebied Sint-Niklaas - Beveren	94
b.	Lid van Egem	94
b.1	Gebied Knokke	94
b.2	Gebied Sint-Laureins - Assenede	94
b.3	Gebied Sint-Niklaas - Beveren	94
II.4.5.3	Formatie van Gent	94
a.	Lid van Merelbeke	97
a.1	Gebied Knokke	97
a.2	Gebied Sint-Laureins - Assenede	97
a.3	Gebied Sint-Niklaas - Beveren	97
b.	Lid van Pittem	97
b.1	Gebied Knokke	99

b.2	Gebied Sint-Laureins - Assenede	99
b.3	Gebied Sint-Niklaas - Beveren	99
c.	Lid van Vlierzele	99
c.1	Gebied Knokke	99
c.2	Gebied Sint-Laureins - Assenede	99
c.3	Gebied Sint-Niklaas - Beveren	99
II.4.6	Zenne Groep	103
II.4.6.1	Algemeen	103
II.4.6.2	Formatie van Aalter	103
a.	Gebied Knokke	103
b.	Gebied Sint-Laureins - Assenede	103
c.	Gebied Sint-Niklaas - Beveren	103
II.4.6.3	Formatie van Brussel	103
a.	Gebied Knokke	103
b.	Gebied Sint-Laureins - Assenede	105
c.	Gebied Sint-Niklaas - Beveren	105
II.4.6.4	Formatie van Lede	105
a.	Gebied Knokke	105
b.	Gebied Sint-Laureins - Assenede	105
c.	Gebied Sint-Niklaas - Beveren	105
II.4.7	Formatie van Maldegem	106
II.4.7.1	Algemeen	106
II.4.7.2	Gebied Knokke	106
II.4.7.3	Gebied Sint-Laureins - Assenede	106
II.4.7.4	Gebied Sint-Niklaas - Beveren	108
II.4.8	Tongeren Groep	109
II.4.8.1	Formatie van Zelzate	109
a.	Gebied Knokke	109
b.	Gebied Sint-Laureins - Assenede	109
c.	Gebied Sint-Niklaas - Beveren	109
II.4.8.2	Formatie van Niel - Lid van Ruisbroek	109
a.	Gebied Knokke	109
b.	Gebied Sint-Laureins - Assenede	112
c.	Gebied Sint-Niklaas - Beveren	112
II.4.9	Rupel Groep	113
II.4.9.1	Formatie van Boom	113
a.	Algemeen	113
a.1	Lid van Belsele-Waas	113
a.2	Lid van Terhagen	113
a.3	Lid van Putte	113
b.	Gebied Knokke	115
c.	Gebied Sint-Laureins - Assenede	115
d.	Gebied Sint-Niklaas-Beveren	115
II.4.10	Neogene afzettingen	116
II.4.10.1	Algemeen	116
II.4.10.2	Gebied Knokke	116
II.4.10.3	Gebied Sint-Laureins - Assenede	116
II.4.10.4	Gebied Sint-Niklaas - Beveren	116

II.5 Kwartair	118
II.5.1 Algemeen	118
II.5.2 Gebied Knokke	118
II.5.3 Gebied Sint-Laureins - Assenede	118
II.5.4 Gebied Sint-Niklaas - Beveren	118
II.6 Besluit	120
DEEL III - HYDROGEOLOGIE	122
III.1 Inleiding	123
III.2 Watervoerende lagen	128
III.2.1 Paleozoïsche Sokkel	128
III.2.1.1 Inleiding	128
III.2.1.2 Grondwaterstroming	128
III.2.1.3 Doorlatendheid	133
III.2.1.4 Grondwaterwinningen	133
III.2.1.5 Grondwaterkwaliteit	133
a. Gebied Knokke	133
b. Gebied Sint-Laureins - Assenede	133
c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren	133
III.2.2 Landen Groep	135
III.2.2.1 Inleiding	135
a. Gebied Knokke	135
b. Gebied Sint-Laureins - Assenede	135
c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren	135
III.2.2.2 Grondwaterstroming	135
a. Gebied Knokke	138
b. Gebied Assenede - Sint-Laureins	138
c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren	138
III.2.2.3 Doorlatendheid	138
III.2.2.4 Grondwaterwinningen	141
a. Gebied Knokke	142
b. Gebied Sint-Laureins - Assenede	142
c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren	142
III.2.2.5 Grondwaterkwaliteit	142
a. Gebied Knokke	144
b. Gebied Sint-Laureins - Assenede	144
c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren	144
III.2.3 Lid van Egem	145
III.2.3.1 Inleiding	145
a. Gebied Knokke	145
b. Gebied Assenede - Sint-Laureins	145
c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren	145
III.2.3.2 Grondwaterstroming	145
a. Gebied Knokke	147
b. Gebied Assenede - Sint-Laureins	147
c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren	147
III.2.3.3 Doorlatendheid	147
III.2.3.4 Grondwaterwinningen	150
III.2.3.5 Grondwaterkwaliteit	151

III.2.4 Lid van Wemmel - Zenne Groep - Lid van Vlierzele	152
III.2.4.1 Inleiding	152
III.2.4.2 Grondwaterstroming	152
a. Gebied Knokke	152
b. Gebied Sint-Laureins - Assenede	157
c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren	157
III.2.4.3 Doorlatendheid	157
III.2.4.4 Grondwaterwinnings	157
a. Gebied Knokke	158
b. Gebied Sint-Laureins - Assenede	159
c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren	159
d. Zuid-Nederland	160
III.2.4.5 Grondwaterkwaliteit	160
a. Gebied Knokke	160
b. Gebied Sint-Laureins - Assenede	160
c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren	162
d. Zuid-Nederland	162
III.2.5 Formaties van Zelzate en Niel	163
III.2.5.1 Inleiding	163
a. Gebied Knokke	163
b. Gebied Sint-Laureins - Assenede	163
c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren	163
III.2.5.2 Grondwaterstroming	163
III.2.5.3 Doorlatendheid	163
III.2.5.4 Grondwaterwinnings	166
III.2.6 Neogene zanden	168
III.2.6.1 Inleiding	168
III.2.6.2 Grondwaterstroming	168
III.2.6.3 Doorlatendheid	168
III.2.6.4 Grondwaterwinnings	169
III.2.6.5 Grondwaterkwaliteit	170
III.2.7 Kwartair	171
III.2.7.1 Inleiding	171
a. Gebied Knokke	171
b. Gebied Sint-Laureins - Assenede	171
c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren	171
III.2.7.2 Grondwaterstroming	171
III.2.7.3 Doorlatendheid	171
a. Gebied Knokke	171
b. Gebied Sint-Laureins - Assenede	172
c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren	172
III.2.7.4 Grondwaterwinnings	172
a. Gebied Knokke	172
b. Gebied Sint-Laureins - Assenede	173
c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren	173
III.2.7.5 Grondwaterkwaliteit	174
a. Gebied Knokke	174
b. Gebied Sint-Laureins - Assenede	174
c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren	174

III.3 Verzilting	175
III.3.1 Inleiding	175
III.3.2 Gebied Knokke	175
III.3.3 Gebied Sint-Laureins - Assenede	175
III.3.4 Gebied Sint-Niklaas - Beveren	175
III.4 Besluit	177
DEEL IV - STRUCTURELE GEOLOGIE	181
IV.1 Inleiding	182
IV.2 Seismotektonische eenheden	183
IV.2.1 Inleiding	183
IV.2.2 Het Ardennen-Rijnland Massief	183
IV.2.2.1 de streek van Luik	183
IV.2.2.2 het Bekken van Bergen	183
IV.2.3 Het Massief van Brabant	186
IV.2.4 Het Bekken van Parijs	188
IV.2.5 Het Bekken van de Noordzee-Nederland-Noord-Duitsland	188
IV.2.6 De Rijngraben	189
IV.2.6.1 De Boven-Rijngraben	189
IV.2.6.2 De Graben van Hesse	189
IV.2.6.3 De Graben van Roermond (= de Onder-Rijngraben) ..	189
IV.2.7 Seismotektonische eenheden	191
IV.2.8 Vulkanische activiteit	191
IV.3. Ondiep water seismisch onderzoek	192
DEEL V - VOORSTEL VOOR TOEKOMSTIG ONDERZOEK	193
V.1 Doelstellingen	194
V.2 Terreinverkenning	195
V.2.1 Boringen	195
V.2.1.1 Uitvoering	195
V.2.1.2 Plaats	195
a. Gebied Knokke	195
b. Gebied Sint-Laureins - Assenede	195
c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren	195
V.2.1.3 Te verwachten geologische bouw	196
a. Omgeving Sint-Margriete - Waterland-Oudeman ..	196
b. Omgeving De Klinge - Meerdonk	196
c. Omgeving Doel	196
V.2.2 Geofysische boorgatmetingen	196
V.2.3 Afwerking van de peilputten	201
V.2.4 Pompproeven	201
V.3 Analysen	202
DEEL VI - SAMENVATTING EN BESLUIT	203
REFERENTIES	206

LIJST VAN FIGUREN

Figuur I.1.1. Naamsverwarring in de Ieper Groep (STEURBAUT & NOLF, 1986)	7
Figuur I.1.2. Stratigrafie van de Ieper Groep (volgens STEURBAUT & NOLF, 1986)	8
Figuur I.1.3. Overzicht van de puntgegevens die de basis van de Ieper Groep bereiken	10
Figuur I.1.4. Isohypsen van de basis van de Formatie van Kortrijk	11
Figuur I.1.5. Isohypsen van de top van de Formatie van Kortrijk	12
Figuur I.1.6. Isopachen van de Formatie van Kortrijk	13
Figuur I.1.7. Isohypsen van de top van het Lid van Saint-Maur	15
Figuur I.1.8. Isopachen van het Lid van Saint-Maur	16
Figuur I.1.9. Isopachen van het Lid van Moen	17
Figuur I.1.10. Isohypsen van de basis van het Lid van Aalbeke	19
Figuur I.1.11. Zonering Formatie van Kortrijk	20
Figuur I.1.12. Belgisch Noordzeegebied-Isohypsen van de basis van het Tertiair (naar DE BATIST, 1989)	23
Figuur I.1.13. Geografie van de gebieden Knokke, Sint-Laureins - Assenede en Sint-Niklaas - Beveren	24
Figuur I.1.14. Isohypsen van de top van het Lid van Kortemark	26
Figuur I.2.1. Correlatie van de korrelgrootten in de boringen Knokke, Tielt, Ooigem en Kallo (naar GEETS, 1988)	28
Figuur I.2.2. Korrelgrootteverdeling van de Ieper Groep in de boring Mol (naar GEETS, 1988)	29
Figuur I.3.1. Kleimineralenverdeling in de boring te Knokke (MERCIER-CASTIAUX & DUPUIS, 1986)	35
Figuur I.3.2. Correlatie van de kleimineralenverdeling in de boringen Knokke, Kallo en Mol (MERCIER-CASTIAUX & DUPUIS, 1986)	36
Figuur I.5.1. Paleogeografie van het Paleoceen - Eoceen (volgens ZIEGLER, 1982)	46
Figuur I.6.1. Voorkomen van de ontsluitingszones van de Formatie van Kortrijk (HELDENS, 1983)	49
Figuur I.6.2. De onderste structurele eenheid van de Formatie van Kortrijk (HENRIET et al., 1988)	50
Figuur I.6.3. Het onderste gedeelte van de middenste structurele van de Formatie van Kortrijk (HENRIET, et al., 1988)	51
Figuur I.6.4. Breukenpatroon in de Formatie van Kortrijk te Marke (uit HENRIET et al., 1991)	53
Figuur I.6.5. Compactiemodel van de Formatie van Kortrijk (HENRIET et al., 1988)	54
Figuur I.6.6. Modellen van een Raleigh-Taylor instabiliteit (uit HENRIET et al., 1988)	55
Figuur II.1.1. Afbakening van de gebieden Knokke, Sint-Laureins - Assenede en Sint-Niklaas - Beveren	61
Figuur II.1.2. Geografie van de gebieden Knokke, Sint-Laureins - Assenede en Sint-Niklaas - Beveren	62
Figuur II.1.3. Ligging van de referentieboringen	63
Figuur II.1.4. De geofysische boorgatmeting van de referentieboring te Knokke (uit LAGA & VANDENBERGHE, 1990)	64
Figuur II.1.5. Overzicht van de gebruikte puntgegevens	65
Figuur II.3.1. Lithologie van het Krijt in Knokke, Assenede en Kallo	71
Figuur II.4.1. Lithologie van het Paleoceen in Knokke, Assenede en Kallo	75

Figuur II.4.2. Isohypsens van de basis van de Landen Groep (licht gewijzigd naar DE GEYTER, 1980)	78
Figuur II.4.3. Isopachen van de Landen Groep (licht gewijzigd naar DE GEYTER, 1980) .	79
Figuur II.4.4. Lithologie van de Formatie van Kortrijk in Knokke, Assenede en Kallo	82
Figuur II.4.5. Isohypsens van de basis van de Formatie van Kortrijk	83
Figuur II.4.6. Isohypsens van de top van de Formatie van Kortrijk	84
Figuur II.4.7. Isopachen van de Formatie van Kortrijk	85
Figuur II.4.8. Isopachen van het Lid van Saint-Maur	86
Figuur II.4.9. Isopachen van het Lid van Moen	87
Figuur II.4.10. Isohypsens van de basis van het Lid van Moen, in de gearceerde gebieden is het Lid van Moen niet te onderscheiden	88
Figuur II.4.11. Isohypsens van de basis van het Lid van Aalbeke, in de gearceerde gebieden is het Lid van Aalbeke niet te onderscheiden	89
Figuur II.4.12. Lithologie van de Formatie van Tielt in Knokke, Assenede en Kallo	92
Figuur II.4.13. Isohypsens van de top van het Lid van Kortemark	93
Figuur II.4.14. Isohypsens van de top van het Lid van Egem	95
Figuur II.4.15. Lithologie van de Formatie van Gent in Knokke, Assenede en Kallo	96
Figuur II.4.16. Isohypsens van de basis van het Lid van Pittem	98
Figuur II.4.17. Isohypsens van de basis van het Lid van Vlierzele	100
Figuur II.4.18. Isohypsens van de top van het Lid van Vlierzele	101
Figuur II.4.19. Lithologie van de Zenne Groep in Knokke, Assenede en Kallo	104
Figuur II.4.20. Lithologie van de Formatie van Maldegem in Knokke, Assenede en Kallo .	107
Figuur II.4.21. Lithologie van de Formatie van Zelzate in Kallo - de Formatie van Zelzate komt niet voor ter hoogte van Knokke en Assenede	110
Figuur II.4.22. Lithologie van de Formatie van Niel in Kallo - de Formatie van Niel komt niet voor ter hoogte van Knokke en Assenede	111
Figuur II.4.23. Lithologie van de Formatie van Boom in Kallo - de Formatie van Boom komt niet voor ter hoogte van Knokke en Assenede	114
Figuur II.4.24. Lithologie van het Neogeen in Kallo - de neogene afzettingen komen niet voor ter hoogte van Knokke en Assenede	117
Figuur II.5.1. Lithologie van het Kwartair in Knokke, Assenede en Kallo	119
Figuur II.6.1. Lithologische doorsneden ter hoogte van Knokke, Assenede en Kallo (in Assenede is de informatie onder het Lid van Egem geïnterpoleerd)	121
Figuur III.1.1. Zones, waarin vergunde grondwaterwinningen werden opgevraagd	124
Figuur III.1.2. Doorsnede 1 - stratigrafische doorsnede van het westen tot het oosten van het land	126
Figuur III.1.3. Doorsnede 2 - stratigrafische doorsnede van het noorden tot het zuiden van het land	127
Figuur III.2.1. Stijghoogte in de paleozoïsche sokkel - natuurlijke toestand (naar LEBBE et al., 1987)	129
Figuur III.2.2. Verticale stroming tussen sokkel en Landen Groep - natuurlijke toestand (naar LEBBE et al., 1987)	130
Figuur III.2.3. Stijghoogte in de paleozoïsche sokkel - toestand met waterwinningen (naar LEBBE et al., 1987)	131
Figuur III.2.4. Verticale stroming tussen sokkel en Landen Groep - toestand met waterwinningen (naar LEBBE et al., 1987)	132
Figuur III.2.5. Voorkomen van de verschillende watertypes in de sokkel (classificatie volgens STUYFZAND, 1986) (naar WALRAEVENS et al., 1990)	134

Figuur III.2.6. Verticale stroming tussen de Landen Groep en de Formatie van Kortrijk (natuurlijke toestand) (in m ³ /ha/jaar) (naar VAN CAMP et al., 1987)	136
Figuur III.2.7. Verticale stroming tussen de Landen Groep en de Formatie van Kortrijk (toestand met waterwinningen) (in m ³ /ha/jaar) (naar VAN CAMP et al., 1987)	137
Figuur III.2.8. Stijghoogte in de zanden van de Landen Groep - toestand met grondwaterwinningen (naar LEBBE et al., 1987)	139
Figuur III.2.9. Stijghoogtepatroon in de Landen Groep in West- en Oost-Vlaanderen, natuurlijke toestand (naar WALRAEVENS et al., 1990)	140
Figuur III.2.10. Voorkomen van grondwatertypes in de Landen Groep (classificatie volgens STUYFZAND, 1986) (naar WALRAEVENS, 1989)	143
Figuur III.2.11. Stijghoogte in het Lid van Egem - natuurlijke toestand (naar WALRAEVENS, 1987)	146
Figuur III.2.12. Stijghoogte in het Lid van Egem - toestand met grondwaterwinningen (naar WALRAEVENS, 1987)	148
Figuur III.2.13. Isohypsen van de top van de watervoerende laag van het Lid van Vlierzele, de Zenne Groep en het Lid van Wemmel (naar WALRAEVENS, 1987), in het gearceerde gebied behoort deze laag tot het freatisch grondwaterreservoir	153
Figuur III.2.14. Isopachen van de watervoerende laag van het Lid van Vlierzele, de Zenne Groep en het Lid van Wemmel (naar WALRAEVENS, 1987)	154
Figuur III.2.15. Stijghoogte in de watervoerende laag van het lid van Vlierzele, de Zenne Groep en het Lid van Wemmel - natuurlijke toestand (naar WALRAEVENS, 1987)	155
Figuur III.2.16. Stijghoogte in de watervoerende laag van het Lid van Vlierzele, de Zenne Groep en het Lid van Wemmel - toestand met grondwaterwinningen (naar WALRAEVENS, 1987)	156
Figuur III.2.17. Voorkomen van de verschillende watertypes in de watervoerende laag van het Lid van Vlierzele, de Zenne Groep en het Lid van Wemmel (classificatie volgens STUYFZAND, 1987) (naar WALRAEVENS, 1987)	161
Figuur III.2.18. Stijghoogte in de watervoerende laag van de Formaties van Niel en Zelzate - natuurlijke toestand (naar WALRAEVENS, 1987)	164
Figuur III.2.19. Stijghoogte in de watervoerende laag van de Formaties van Niel en Zelzate - toestand met grondwaterwinningen (naar WALRAEVENS, 1987)	165
Figuur III.3.1. Zones met verzilt grondwater in de bovenste watervoerende laag	176
Figuur III.4.1. Hydrogeologische opbouw van het studiegebied - Verticale grondwaterstroming in natuurlijke omstandigheden	178
Figuur III.4.2. Hydrogeologische opbouw van het studiegebied - Verticale grondwaterstroming in de huidige omstandigheden met grondwaterwinningen	179
Figuur IV.2.1. Overzichtskaart van de geregistreerde aardbevingen in België (uit WOUTERS & VANDENBERGHE, 1994) (naar CAMELBEECK, 1993)	184
Figuur IV.2.2. Overzichtskaart van de in België en omgeving voorkomende breuken (gegevens TRACTIONEL, 1984)	185
Figuur IV.2.3. Geologie van de paleozoïsche sokkel in België - het Massief van Brabant (naar DE VOS et al., 1994)	187

Figuur IV.2.4. Situering en onderverdeling van de Rijnslenk - situering van vulkanische gebieden in de Eifel (uit WOUTERS & VANDENBERGHE, 1994)	190
Figuur V.2.1. Afgeleide geologische opbouw ter hoogte van Sint-Margriete (extrapolatie)	197
Figuur V.2.2. Afgeleide geologische opbouw ter hoogte van Waterland - Oudeman (extrapolatie)	198
Figuur V.2.3. Afgeleide geologische opbouw ter hoogte van De Klinge - Meerdonk (extrapolatie)	199
Figuur V.2.4. Afgeleide geologische opbouw ter hoogte van Doel (extrapolatie)	200

LIJST VAN TABELLEN

Tabel I.1.1 - Stratigrafische kolom van het paleogeen (JACOBS et al., 1995)	9
Tabel I.1.2 - Benaming van de leden van de Formatie van Kortrijk	14
Tabel I.3.1 - Kationuitwisselingscapaciteit van kleimineralen	34
Tabel I.3.2 - Zware mineralensamenstelling in de Formatie van Kortrijk. De in de tabel vermelde getallen zijn relatieve percentages	38
Tabel I.3.3 - Natuurlijke radioactiviteit in kleimineralen (SCLUMBERGER, 1986); deze waarden gelden voor het zuivere mineraal met porositeit 0 %	39
Tabel I.3.4 - Natuurlijke radioactiviteit in mica 's (SCLUMBERGER, 1986); deze waarden gelden voor het zuivere mineraal met porositeit 0 %	40
Tabel I.4.1 - Chemische samenstelling van de Formatie van Kortrijk	43
Tabel II.2.1 - Gegevens van de aangewende boringen	66
Tabel III.2.1 - Gegevens afgeleid van pompproeven uitgevoerd in de Landen Groep	141
Tabel III.2.2 - Gegevens afgeleid uit de in het Lid van Egem uitgevoerde pompproeven	150
Tabel III.2.3 - Vergunde grondwaterwinningen in het Lid van Egem in het gebied Knokke	151
Tabel III.2.4 - Vergunde debieten in de watervoerende laag gevormd door het Lid van Wommel, de Zenne Groep en het Lid van Vlierzele in West- en Oost-Vlaanderen (uit BOLLE & DE BREUCK, 1992)	158
Tabel III.2.5 - Vergunde grondwaterwinningen in de watervoerende laag gevormd door het Lid van Wommel, de Zenne Groep en het Lid van Vlierzele in het gebied Knokke	158
Tabel III.2.6 - Vergunde grondwaterwinningen in de watervoerende laag gevormd door het Lid van Wommel, de Zenne Groep en het Lid van Vlierzele in en rond het gebied Sint-Laureins - Assenede	159
Tabel III.2.7 - Vergunde grondwaterwinningen in de watervoerende laag gevormd door het Lid van Wommel, de Zenne Groep en het lid van Vlierzele in en rond het gebied Sint-Niklaas - Beveren	159
Tabel III.2.8 - Vergunde grondwaterwinningen in het Lid van Bassevelde in en rond het gebied Sint-Niklaas - Beveren	166
Tabel III.2.9 - Bij de AMINAL bekende grondwaterwinningen in het Lid van Ruisbroek in en rond het gebied Sint-Niklaas - Beveren	167
Tabel III.2.10 - Doorlatendheden van de neogene formaties en leden (m/s)	168
Tabel III.2.11 - Vergunde grondwaterwinningen in de miocene afzettingen in het gebied Sint-Niklaas - Beveren	169
Tabel III.2.12 - Vergunde grondwaterwinningen in de Formatie van Kattendijk in het gebied Sint-Niklaas - Beveren	169
Tabel III.2.13 - Vergunde grondwaterwinningen in de Formatie van Lillo in het gebied Sint-Niklaas - Beveren	170
Tabel III.2.14 - Doorlatendheden van de kwartaire afzettingen in de omgeving van het gebied Sint-Niklaas - Beveren (in m/s)	172
Tabel III.2.15 - Vergunde grondwaterwinningen in het kwartair reservoir in het gebied Knokke	173

Tabel III.2.16 - Vergunde grondwaterwinningen in het kwartair reservoir in en rond het gebied Sint-Laureins - Assenede	173
Tabel III.2.17 - Grondwaterwinningen in het kwartair reservoir in het gebied Sint-Niklaas - Beveren	174

INLEIDING

In de loop van november 1994 verzocht NIRAS het Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie van de Universiteit Gent (LTGH) een inventaris te maken van de beschikbare gegevens over het Ieperiaan in België. Dit onderzoek kadert in de aanbeveling van de commissie SAFIR om de geschiktheid van de Ieperiaanklei (of delen ervan) voor de berging van hoogradioactief afval te onderzoeken. Dit onderzoek beoogt de beschikbare informatie over het Ieperiaan samen te vatten, die relevant is voor toetsing aan geologische criteria voor het bergen van hoogradioactief afval (categorie C).

In de "European Catalogue of geological Formations having Favourable Characteristics for the disposal of solidified high-level and/or long-lived Radioactive Wastes, vol. 2 Belgium" (CEC, 1979) worden volgende geologische criteria vooropgesteld.

- De geologische eenheid dient uit eenzelfde lithologisch type te bestaan, met de hoogst mogelijke homogeniteit en met een minimale porositeit en doorlatendheid.
- Voor een kleiige eenheid dient de minimale dikte ongeveer 100 m te bedragen. Studie van de kwartaire glaciële cycli heeft uitgewezen dat een minimale diepte van 200 m aanvaardbaar is. De minimale uitbreiding dient 50 km² te bedragen.
- Enkel geologische eenheden met vlakke of licht gebogen lagen komen in aanmerking, eenheden waarbij de lagen sterk geplooid zijn of die breuken met grote spronghoogte of abrupte flexuur vertonen dienen buiten beschouwing gelaten te worden. Stratigrafische contactvlakken zijn dikwijls discontinue oppervlakken tussen opeenvolgende lagen die grondwaterstroming toelaten. De lagen dienen subhorizontaal of zeer licht hellend te zijn.
- De geologische eenheden dienen gelegen te zijn in zones die tektonisch stabiel zijn en die slechts een geringe seismiciteit vertonen.
- Een bergingsplaats nabij een belangrijk oppervlaktewater is niet aangewezen.
- De geologische eenheid mag onder geen beding watervoerend zijn. De hydrogeologische eigenschappen van de eenheid en de hydrogeologie van de omgeving van de bergplaats moeten zeer goed gekend zijn.
- De thermische conductiviteit en de calorische capaciteit van de geologische eenheid moeten zo hoog mogelijk zijn.
- De sorptiecapaciteit van de geologische eenheid zal een rol spelen in het verhogen van de beveiliging nabij de bergplaats. De invloed van ioniserende straling op deze sorptiecapaciteit dient verwaarloosbaar te zijn. Het chemisch evenwicht tussen het afval en het gesteente moet van die aard zijn dat er geen afbreuk kan gedaan worden aan de gewenste beveiliging.

De geselecteerde geologische eenheid dient op de bergingsplaats te beantwoorden aan zoveel mogelijk criteria, zonder dat zij aan allemaal dient te voldoen. De ideale geologische eenheid bestaat waarschijnlijk niet (CEC, 1979).

In deze studie wordt aandacht besteed aan de volgende aspecten:

- stratigrafie;
- paleogeografie;
- sedimentologie;
- mineralogie;
- chemische samenstelling;
- hydrogeologie;
- structuurgeologie;
- seismologie.

Voor het verzamelen van de gegevens werd een beroep gedaan op de kennis en ervaring van verscheidene specialisten en instellingen. De belangrijkste instellingen zijn:

- de Belgische Geologische Dienst (BGD);
- het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen;
- de Nationale Instelling voor Radioactief Afval en Spleitstoffen (NIRAS);
- Distrigaz;
- de Universiteit Gent (RUG);
- de Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie (ANRE);
- de Administratie Milieu-, Natuur-, Land- en Waterbeheer (AMINAL).

Per discipline werden de volgende specialisten geraadpleegd:

- stratigrafie: Dr. E. Steurbaut (Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen), Prof. Dr. P. Laga (BGD), Dr. J. Van der Sluys (BGD), Prof. Dr. S. Geets (RUG), Prof. Dr. P. Jacobs (RUG), Lic. M. De Ceukelaire (RUG);
- paleogeografie: Dr. E. Steurbaut (Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen), Dr. J. Deconinck (RUG), Prof. Dr. N. Vandenbergh (KUL);
- sedimentologie: Prof. Dr. S. Geets (RUG); Lic. L. Wouters (NIRAS);
- mineralogie: Prof. Dr. S. Geets (RUG);
- chemische samenstelling: Lic. J.-M. Linster (KORAMIC), Dr. F. Mostaert (ANRE);
- hydrogeologie: Prof. Dr. K. Walraevens (NFWO-RUG), Prof. Dr. L. Lebbe (NFWO-RUG), Prof. Dr. W. De Breuck (RUG), Lic. M. Mahauden (RUG), Lic. I. Wemaere (SCK), ir. M. Van Damme (AMINAL);
- structurele geologie: Dr. M. De Batist (NFWO-RUG);
- seismologie: Dr. M. De Batist (NFWO-RUG), Prof. Dr. J. Verniers (NFWO-RUG).

Het verslag is als volgt opgebouwd:

DEEL I: DE IEPER GROEP

Dit deel vat de relevante kennis over de Ieper Groep samen. De gebieden waarin delen van deze groep geometrisch en sedimentologisch de vereiste karakteristieken voor verder onderzoek vertonen werden geografisch afgebakend. Men onderscheidt achtereenvolgens:

Hoofdstuk 1: Lithostratigrafie;
Hoofdstuk 2: Sedimentologie;
Hoofdstuk 3: Mineralogie;
Hoofdstuk 4: Chemische samenstelling;
Hoofdstuk 5: Paleogeografie;
Hoofdstuk 6: Kleitiektoniek;
Hoofdstuk 7: Besluit.

DEEL II: GEOLOGIE VAN DE GEBIEDEN DIE OP BASIS VAN SEDIMENTOLOGIE EN GEOMETRIE VAN DELEN VAN DE FORMATIE VAN KORTRIJK IN AANMERKING KOMEN VOOR VERDER ONDERZOEK

In dit deel wordt de geologie van deze gebieden in detail besproken. Men onderscheidt de volgende hoofdstukken:

Hoofdstuk 1: Inleiding;
Hoofdstuk 2: Paleozoische sokkel;
Hoofdstuk 3: Krijt;
Hoofdstuk 4: Tertiair;
Hoofdstuk 5: Kwartair;
Hoofdstuk 6: Besluit.

DEEL III: HYDROGEOLOGIE

Een goede kennis van de plaatselijke en regionale hydrogeologie is vereist. Hierop wordt in dit hoofdstuk dieper op ingegaan. Het wordt verder als volgt ingedeeld:

Hoofdstuk 1: Inleiding;
Hoofdstuk 2: Watervoerende lagen;
Hoofdstuk 3: Verzilting;
Hoofdstuk 4: Besluit.

DEEL IV: STRUCTURELE GEOLOGIE

De relevante geologische structuren uit de omgeving zijn geïnventariseerd. Dit deel wordt als volgt ingedeeld:

Hoofdstuk 1: Inleiding;
Hoofdstuk 2: Seismotektonische eenheden;
Hoofdstuk 3: Ondiep water seismisch onderzoek.

DEEL V: VOORSTELLEN VOOR TOEKOMSTIG ONDERZOEK

Wegens het gebrek aan gegevens diende men in het bestek van dit project veel interpolaties uit te voeren. Om deze te toetsen aan de werkelijkheid zijn terrein- en laboratoriumwerk onontbeerlijk. Aan de hand van de verzamelde informatie worden plaatsen voor toekomstige verkeningsboringen voorgesteld. Deel V is als volgt opgebouwd:

Hoofdstuk 1: Doelstellingen;
Hoofdstuk 2: Terreinverkenning;
Hoofdstuk 3: Laboratoriumanalyses.

DEEL VI: SAMENVATTING EN ALGEMEEN BESLUIT

DEEL I
DE IEPER GROEP

I.1 LITHOSTRATIGRAFIE

I.1.1 Inleiding

De samenstelling van de Ieper Groep (de lithostratigrafische eenheden afgezet tijdens het Ieperiaan) is sterk plaatsafhankelijk en er werd aangetoond dat in sommige streken bepaalde sequenties verkeerd benoemd zijn (Fig. I.1.1) (STEURBAUT & NOLF, 1986; STEURBAUT, 1988). De bevindingen van het stratigrafisch onderzoek zijn samengevat op figuur I.1.2 (STEURBAUT & NOLF, 1986).

De Ieper Groep wordt voorlopig in drie formaties ingedeeld: de Formatie van Kortrijk, de Formatie van Tielt en de Formatie van Gent. Het is enkel de Formatie van Kortrijk (geheel of gedeeltelijk) die aan de vereiste lithologische en geometrische eigenschappen beantwoordt. De stratigrafische kolom van het Paleogeen, zoals weergegeven in tabel I.1.1, vermeldt naast de nieuwe termen, zoals gebruikt op de nieuwe uitgave van de Geologische Kaart, de vroegere stratigrafische benamingen.

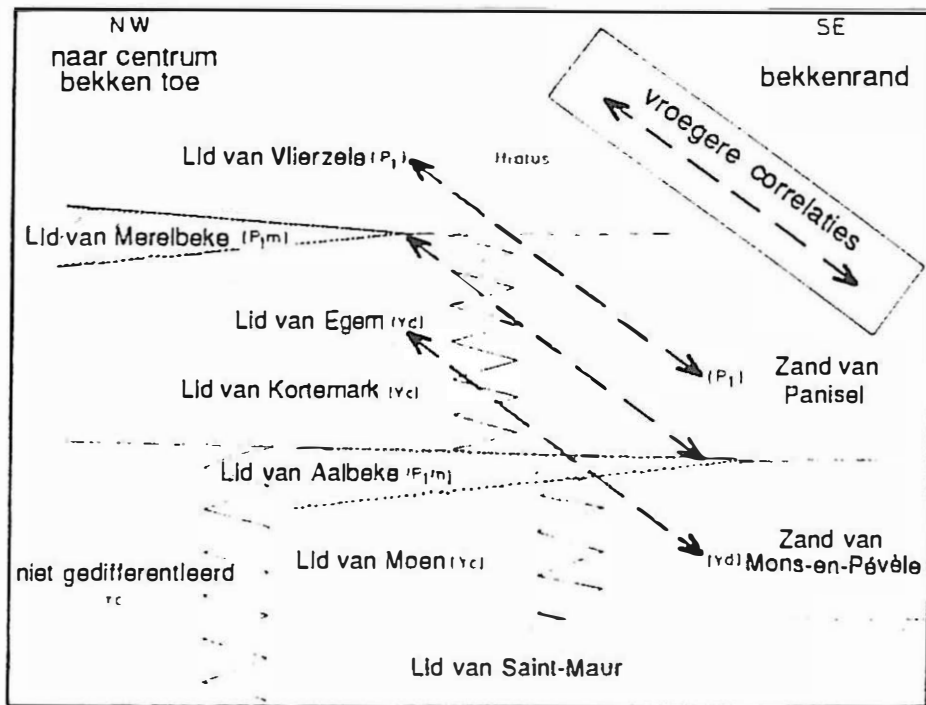
In de loop van de inventarisatie werd opgemerkt dat de verschillende auteurs sommige boringen anders interpreteren. Voor deze studie werd vooral de interpretatie van STEURBAUT & NOLF (1986) weerhouden, aangevuld met eigen interpretaties van boorgatmetingen.

I.1.2 Formatie van Kortrijk

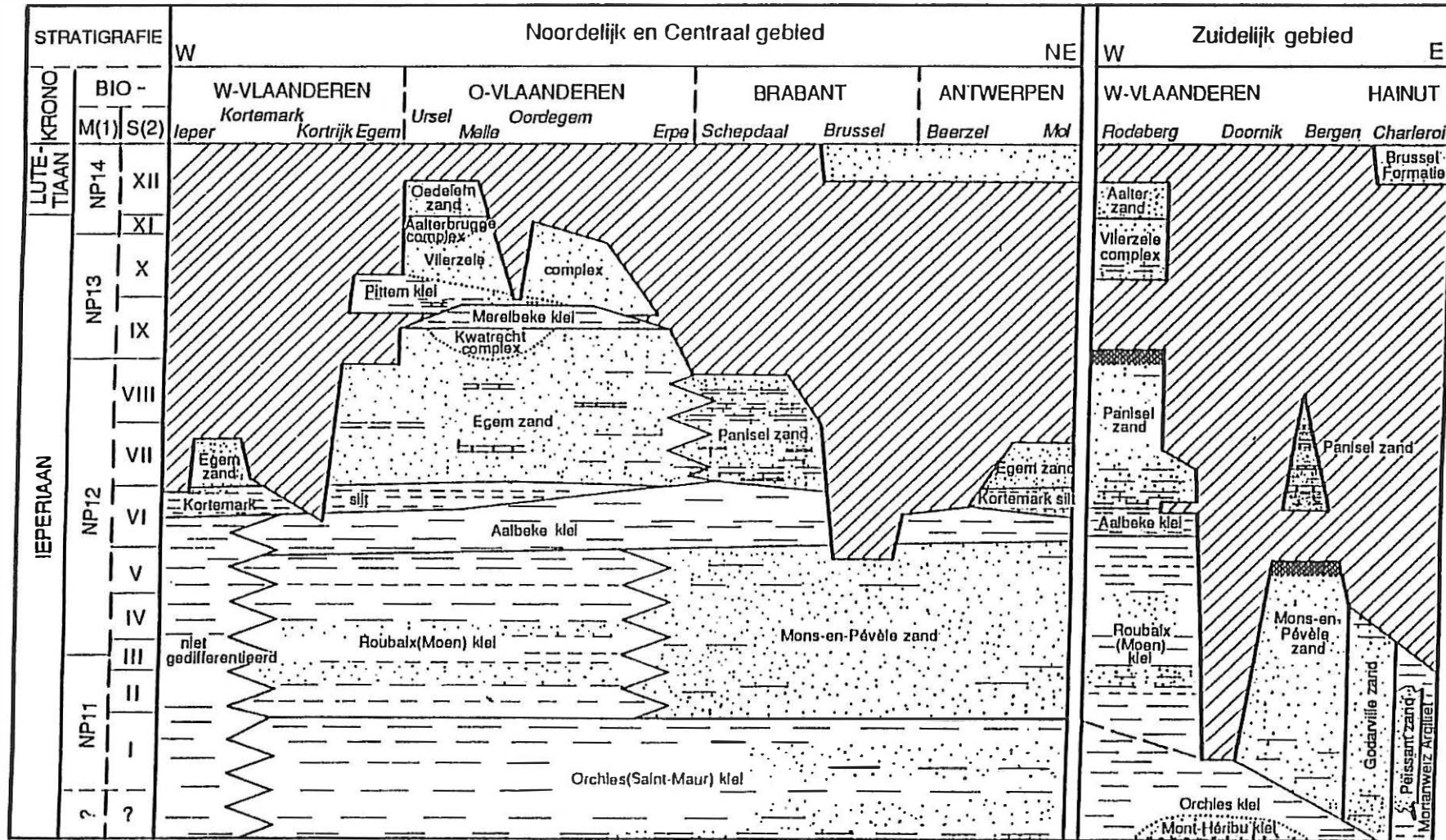
I.1.2.1 Algemeen

De gebruikte punten (ontsluitingen, groeven, boringen) met informatie over de stratigrafische gegevens tot aan de basis van de Formatie van Kortrijk zijn aangegeven op figuur I.1.3.

De afzettingen van de formatie hebben een marien karakter. De isohypsen van de basis en van de top van de Formatie van Kortrijk zijn voorgesteld respectievelijk op de figuren I.1.4 en I.1.5; de isopachen op figuur I.1.6. Men kan deze formatie in vier leden indelen. Over de naamgeving van deze leden bestaat veel verwarring. Er werd de voorkeur gegeven aan de officiële benamingen, die gebruikt worden bij het opstellen van de nieuwe Geologische Kaart. In tabel I.1.2 wordt een overzicht van de officiële en de vroegere en/of alternatieve benamingen gegeven.



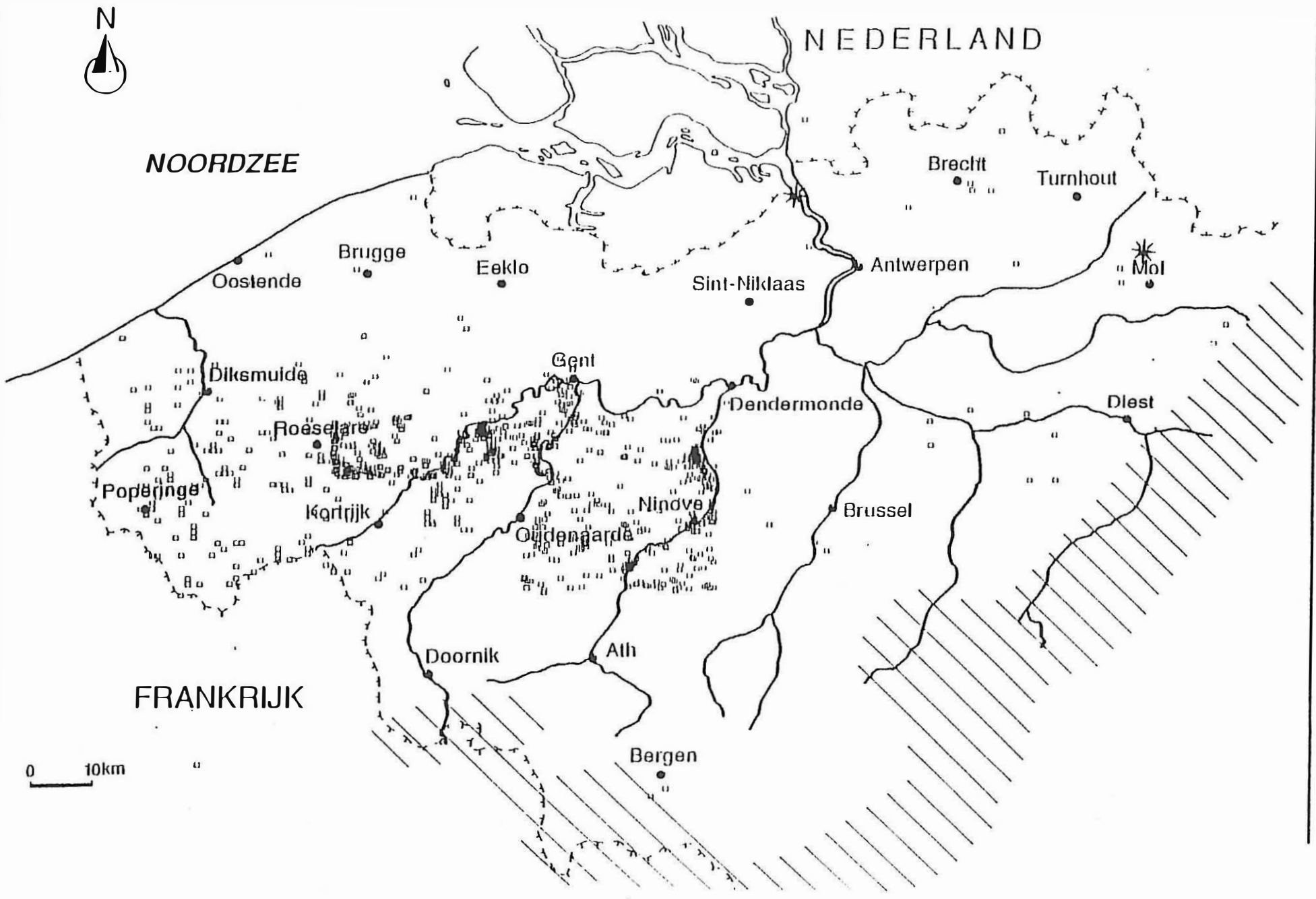
Figuur 1.1.1. Naamsverwarring in de Ieper Groep (STEURBAUT & NOLF, 1986)



Figuur 1.1.2. Stratigrafie van de leper Groep (volgens STEURBAUT & NOLF, 1986)

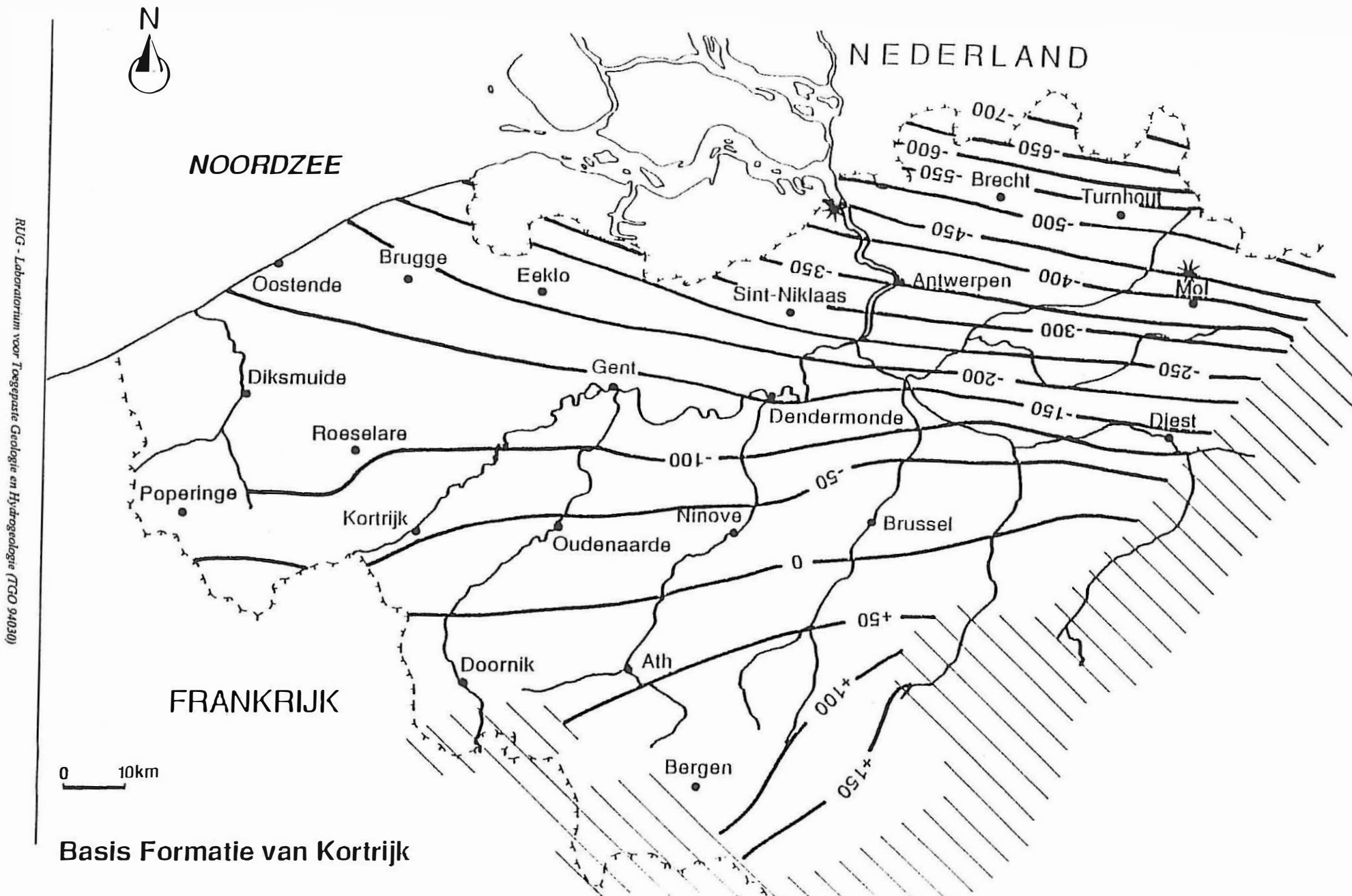
Chronostratigrafie	Lithostratigrafie					
	Groep	Formatie		Lid	Oude naam	
Laat-Oligoceen		Voort		Voort Veldhoven	Chatina	
Vroeg-Oligoceen	Rupel	Eisenbilzen			Rupeliaan	
		Boom		Putte Tertagen Belsele		
		Bilzen		Kerniel Klein-Spouwen Berg		
	Tongeren	Borgloon		Kerkom Boutersem Oude Biezen Henis	Tongeriaan	
Niel		S.H. Hem	Ruisbroek Wutham	Neerrepn		
Laatste Eoceen		Zelzate		Watervliet Bassevelde	Grimmerin- een	
Laat-Eoceen		Maldegem		Onderdijk Buisputen Zomergem Onderdale Ursel Asse Wemmel	Komplex van Kallo Bartoon Asteriaan	
Midden-Eoceen	Zenne	Lede			Lediaan Laekenaan	
		Brussel		Chaumont-Gistoux Bois de la Houssière Neerijse Diegem Archeennes	Brusseliaan	
		Aalter		Oedelem Beersem	Boven-Panisiaan	
Vroeg-Eoceen	Ieper	Gent		Vierzele Pittem Merebeke	Onder-Panisiaan	
		Tielt		Egen/Mont-Panisel Kortemark	Ieperiaan Yd	
		Kortrijk		Aalbeke Moer Saint-Maur Mont-Hérinbu	Ieperiaan Yc Yb + Yz	
Laat-Paleoceen	Landen	Tienen		Knokke Erouelimes	Loksbergen Dormaal	
		Hanout		Grandglise Cherq Halen Lincint Waterschei	Landeniaan	
		Bertal- mont	Heers		Gelinden Orp	Heersiaan
Vroeg-Paleoceen	Haine-Haspengouw	Hainin Mons	Opgla- beek		Eisden Opoeteren Maasmechelen	Montiaan
		Cipiv	Houthem			

Tabel I.1.1 - Stratigrafische kolom van het Paleogeen (JACOBS et al, 1995)



RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)

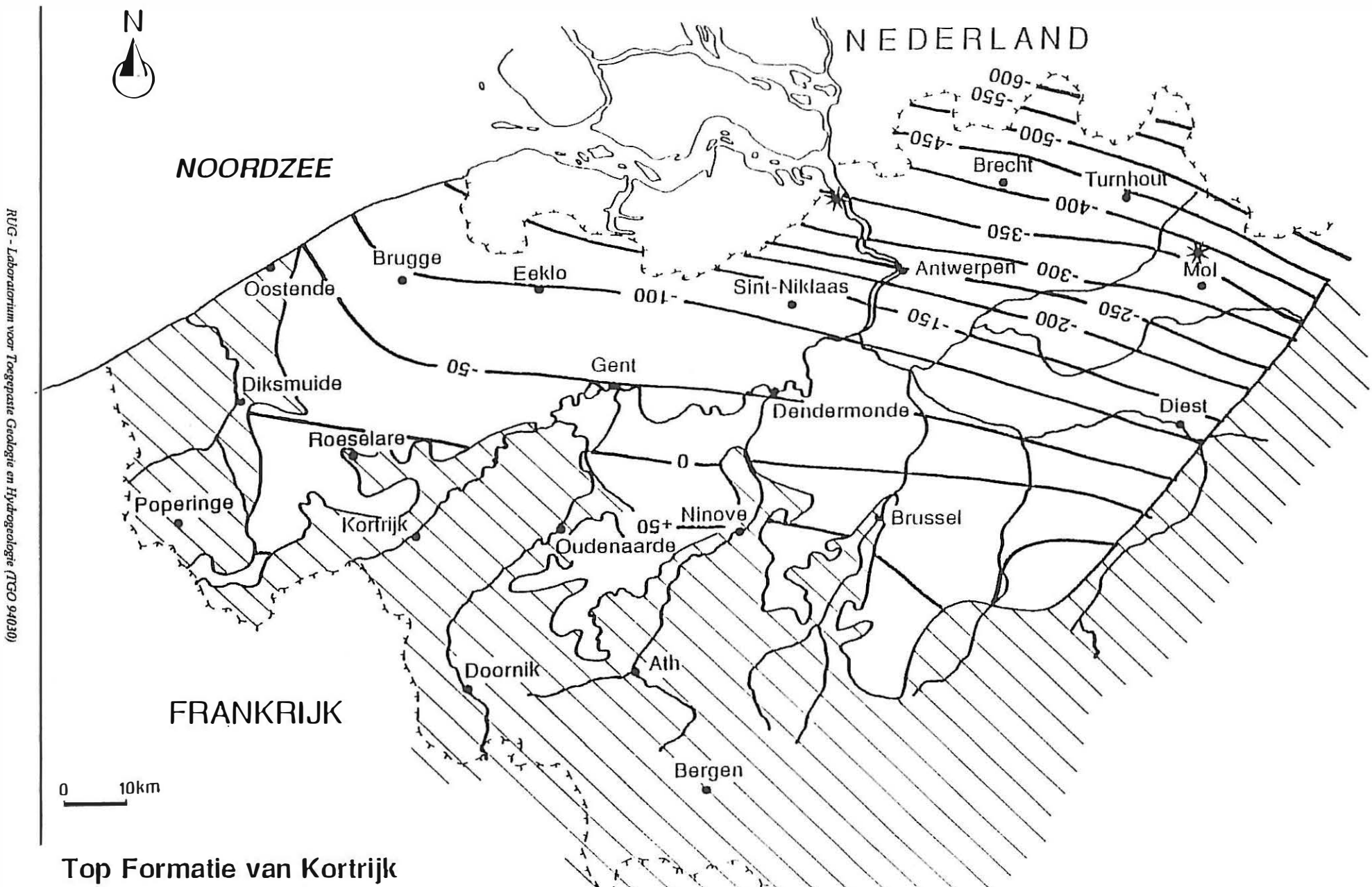
Figuur I.1.3. Overzicht van de puntgegevens die de basis van de Ieper Groep bereiken



RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)

Basis Formatie van Kortrijk

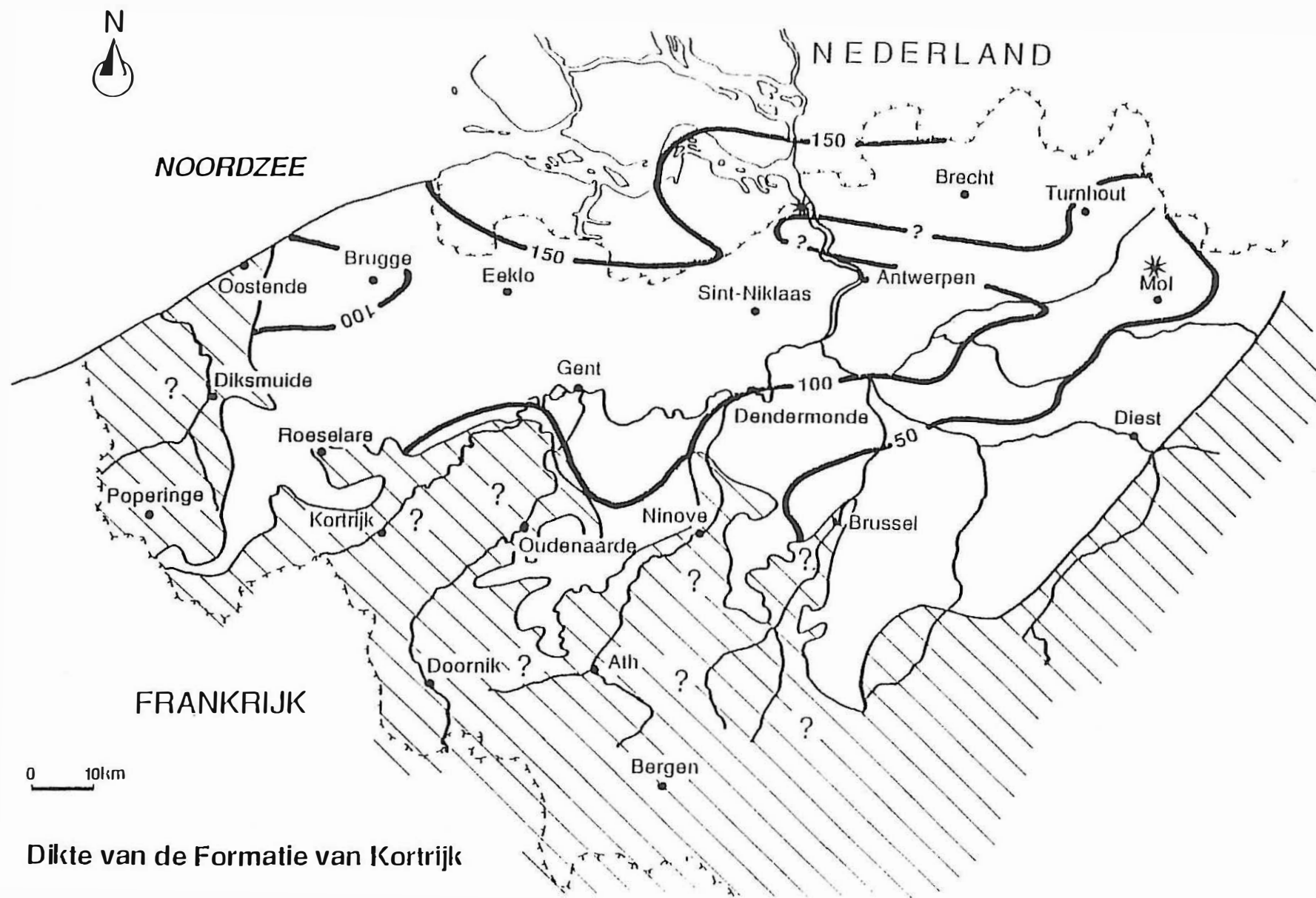
Figuur 1.1.4. Isohypsens van de basis van de Formatie van Kortrijk



RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)

Top Formatie van Kortrijk

Figuur 1.1.5. Isohypsens van de top van de Formatie van Kortrijk



RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGD 94030)

Dikte van de Formatie van Kortrijk

Figuur 1.1.6. Isochachen van de Formatie van Kortrijk

Officiële benaming	Oude en/of alternatieve benamingen	Symbool oude geologische kaarten
Lid van Aalbeke	Onder-Ieperiaan, klei van leper, klei van Vlaanderen, klei van Roncq	Yc
Lid van Moen	Onder-Ieperiaan, klei van leper, klei van Vlaanderen, klei van Roubaix	Yc
Lid van Saint-Maur	Onder-Ieperiaan, klei van leper, klei van Vlaanderen, klei van Orchies	Yc
Lid van Mont-Héribu	Onder-Ieperiaan	Ya+Yb

Tabel I.1.2 - Benaming van de leden van de Formatie van Kortrijk

a. Zandige klei van het Lid van Mont-Héribu

De zandige klei van het Lid van Mont-Héribu is een ondiepe mariene afzetting, bestaande uit een afwisseling van horizontaal gelamineerd glauconiethoudend kleiig zand of zandige klei en kompakte, siltige klei of kleiige silt. Plaatselijk zijn graafsporen aanwezig. De basis bestaat uit geoxydeerd en verhard kleiig zand met lenzen zuiver zand. Deze afzetting is heterogeen. Het Lid van Mont-Héribu is gering van dikte en dagzoomt enkel in het noorden van Henegouwen en in het zuidwesten van Brabant.

b. Klei van het Lid van Saint-Maur (= klei van Orchies)

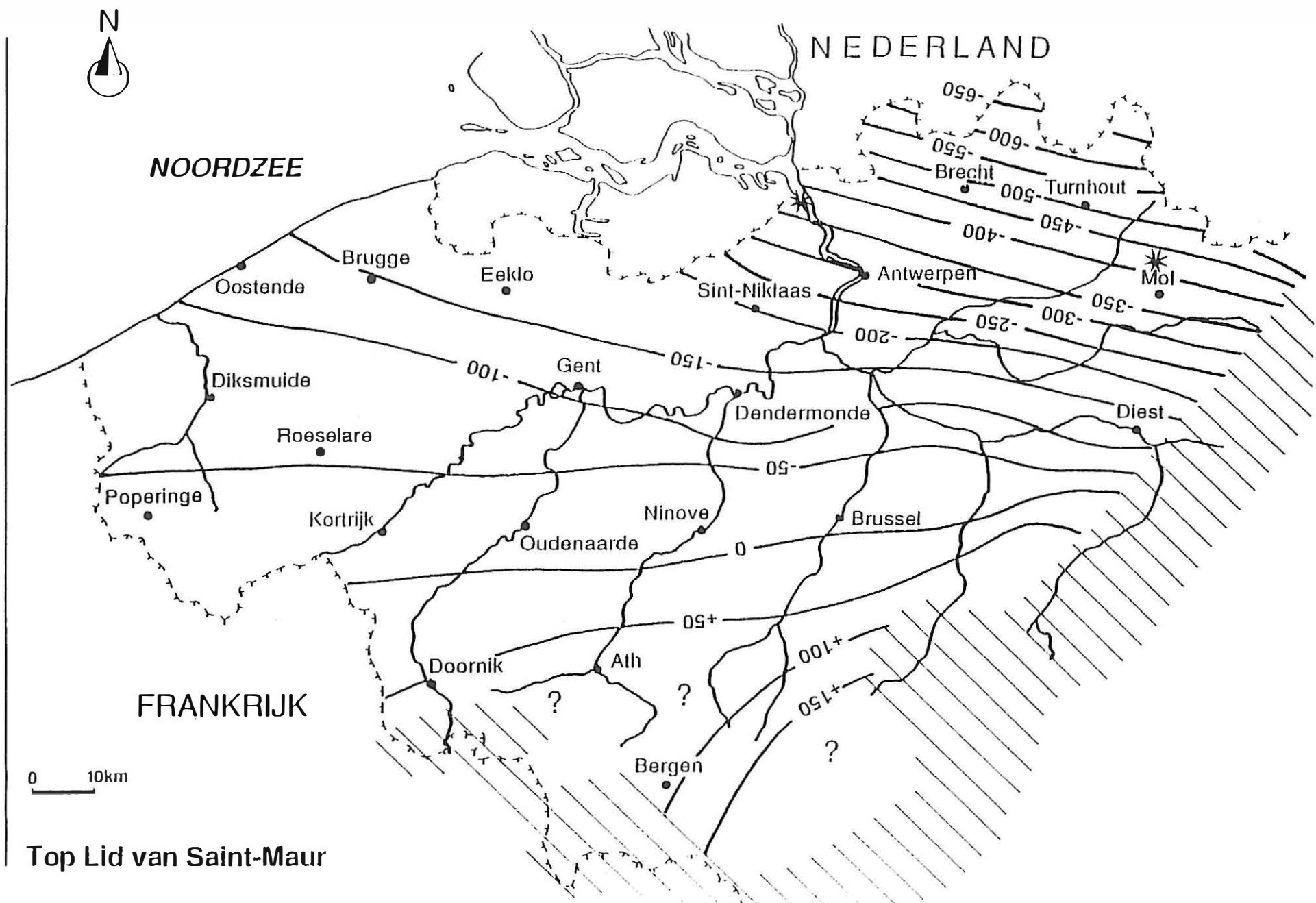
De klei van het Lid van Saint-Maur is een mariene afzetting die grotendeels bestaat uit zeer fijnsiltige klei met enkele dunne intercalaties van grofsiltige klei of kleiige zeer fijne silt. Deze afzetting is homogeen.

De klei van het Lid van Saint-Maur strekt zich uit over het noorden van Henegouwen, Oost- en West-Vlaanderen en over een deel van Brabant en Antwerpen. De isohypsen van de top van deze afzetting zijn voorgesteld op figuur I.1.7; de isopachen op figuur I.1.8.

c. Klei van het Lid van Moen (= klei van Roubaix)

De klei van het Lid van Moen is van mariene oorsprong. In het zuidelijk deel van het afzettingsgebied bestaat het uit kleiige, grove, middelmatige silt met laagjes die tot 10 % fijn en zeer fijn zand bevatten. De afzetting is heterogeen. Naar het noorden vermindert de heterogeniteit en is de gemiddelde textuur een kleiige, middelmatige silt.

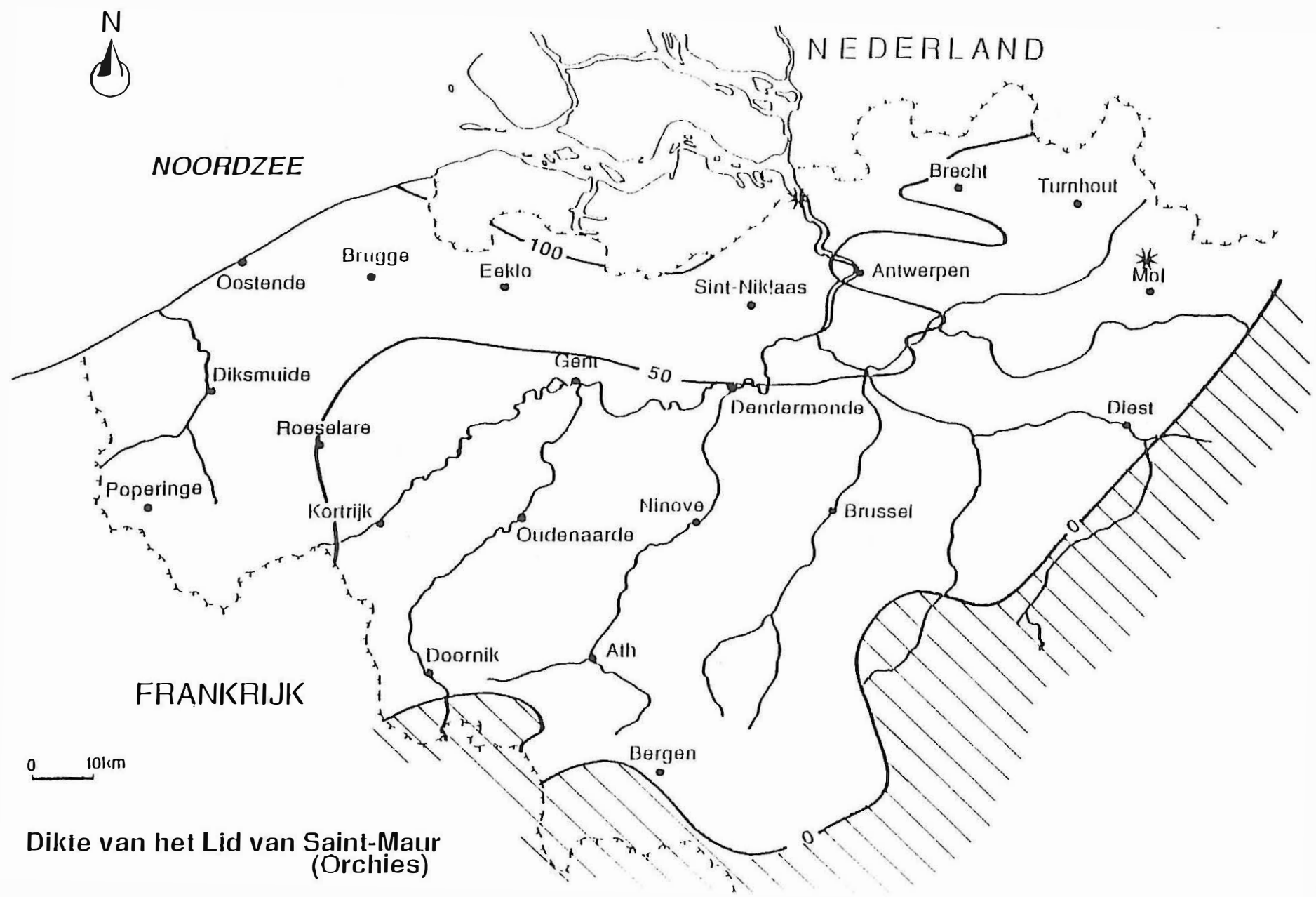
De klei van het Lid van Moen strekt zich uit over Noord-Henegouwen, Oost- en West-Vlaanderen. Lateraal naar het oosten toe gaat deze afzetting in een faciës van kleiig zand (zand van Mons-en-Pévèle) over. De isopachen van dit lid worden voorgesteld op figuur I.1.9.



RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)

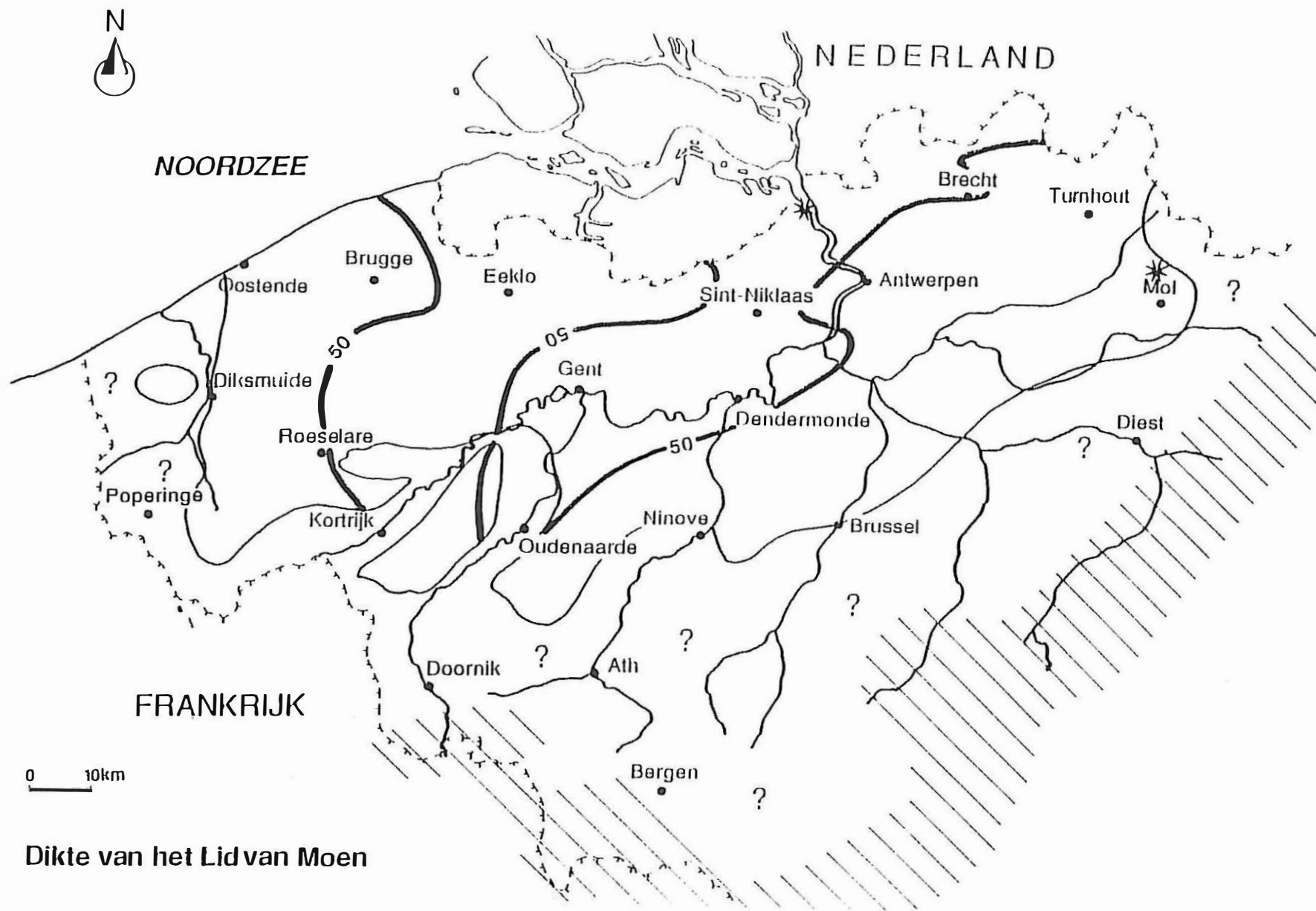
Figuur 1.1.7. Isohyphen van de top van het Lid van Saint-Maur

RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)



Dikte van het Lid van Saint-Maur (Orchies)

Figuur 1.1.8. Isopachen van het Lid van Saint-Maur



Dikte van het Lid van Moen

Figuur 1.1.9. Isopachen van het Lid van Moen

d. Klei van het Lid van Aalbeke

De klei van het Lid van Aalbeke is een homogene mariene eenheid die bijna uitsluitend uit zeer fijnsiltige klei zonder zandfractie bestaat. Ze komt voor in Oost- en West-Vlaanderen en een gedeelte van Antwerpen en Henegouwen.

Deze afzetting komt vermoedelijk overeen met de "Argile de Roncq" van de Franse auteurs. De isohypsen van de basis van deze afzettingen zijn voorgesteld op figuur I.1.10.

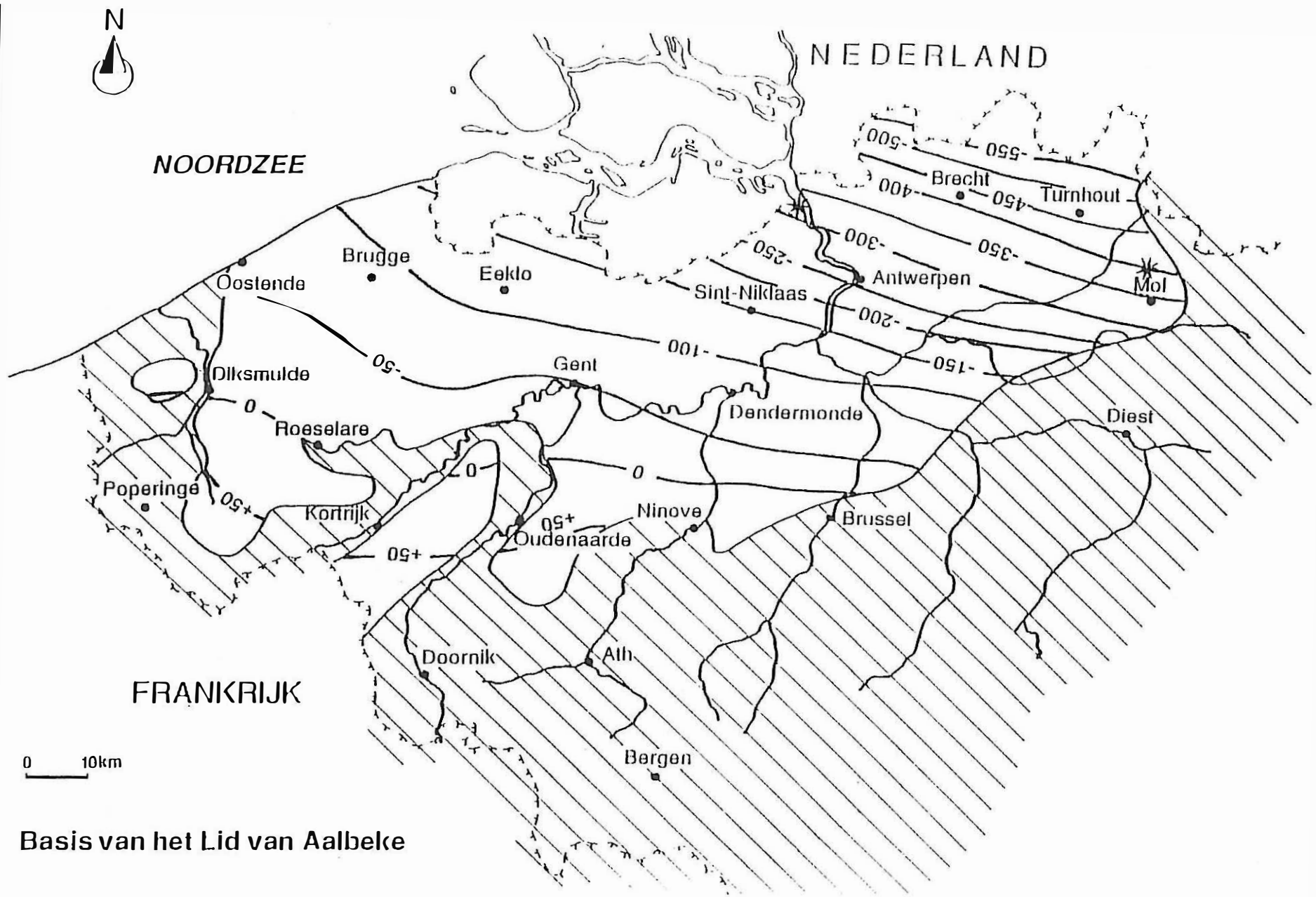
I.1.2.2 Zonering Formatie van Kortrijk

Zoals reeds eerder opgemerkt, is de bovenstaande indeling in vier leden een ideale opeenvolging. In werkelijkheid is de samenstelling van deze formatie plaatsafhankelijk. Bovendien werd enkel de klei van het Lid van Saint-Maur over het ganse bekken afgezet. Het voorkomen van het kleiig zand van het Lid van Mont-Héribu kan niet overal aangetoond worden en wordt daarom en gezien zijn geringe dikte en zandige samenstelling in de hiernavolgende bespreking buiten beschouwing gelaten.

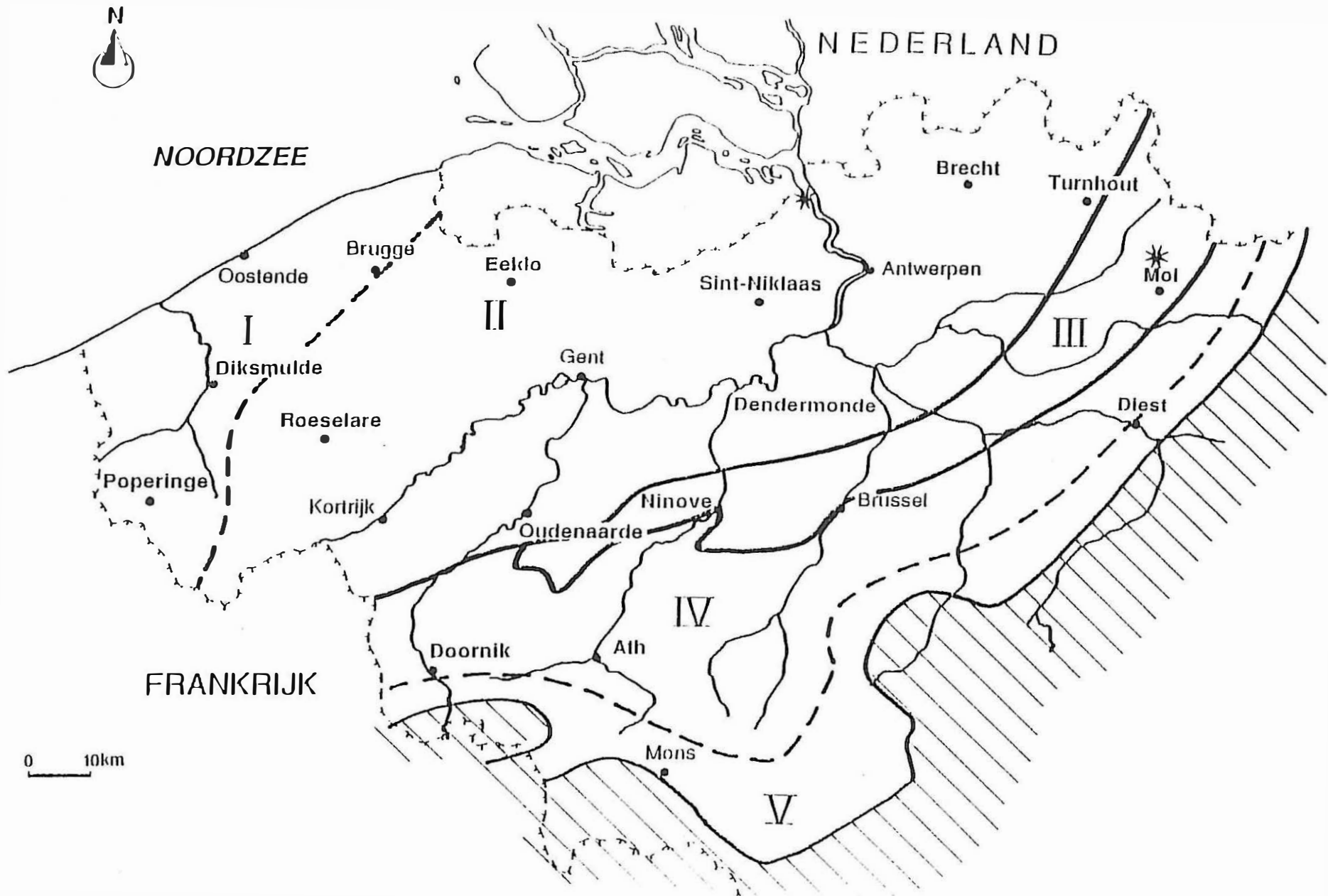
Men kan van west naar oost vijf belangrijke gebieden onderscheiden (Fig. I.1.11):

- In **GEBIED I** (in het westen) kan men geen duidelijk onderscheid tussen de verschillende leden maken en vormt de Formatie van Kortrijk een ongedifferentieerd homogeen kleicomplex. Naar het oosten toe wordt het onderscheid geleidelijk aan duidelijker.
- In **GEBIED II**, ten oosten van de lijn Nieuwkerke-Diksmuide-Brugge is het verschil tussen de leden duidelijk. Onderaan vormt de klei van het Lid van Saint-Maur (Orchies) een homogene kleilaag. Daarboven komt de meer heterogene klei van het Lid van Moen (Roubaix) met siltige en naar het oosten toe zandige laagjes voor. De klei van het Lid van Aalbeke vormt bovenaan een homogene kleilaag.
- In **GEBIED III**, ten zuidoosten van de lijn Turnhout-Aalst-Avelgem vormt het Lid van Saint-Maur (Orchies) nog steeds een homogene kleilaag. Het Lid van Moen is hier echter uitgesproken zandig, zodat men hier nog bezwaarlijk van klei van het Lid van Moen kan spreken. In de literatuur is deze eenheid ter plaatse bekend als Zand van Mons-en-Pévèle. Bovenaan vindt men nog steeds de homogene klei van het Lid van Aalbeke, doch deze wordt steeds dunner naar het zuidoosten.
- In **GEBIED IV**, ten zuidoosten van de lijn Balen-Brussel-Ronse-Doornik treft men de homogene kleilaag van het Lid van Saint-Maur aan, met daarbovenop het Zand van Mons-en-Pévèle, dat het lateraal zandig equivalent van de klei van het Lid van Moen (Roubaix) is. Het Lid van Aalbeke ontbreekt hier.

RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)



Figuur 1.1.10. Isohypsens van de basis van het Lid van Aalbeke



Figuur 1.1.11. Zonering Formatie van Kortrijk

- In **GEBIED V**, aan de randen van het afzettingsbekken (de juiste grens kon niet bepaald worden), komt enkel nog de klei van het Lid van Saint-Maur (Orchies) als een dunne kleiige laag voor.

Volledigheidshalve kan men ook het Zand van Godarville, het Zand van Peissant en de Argiliet van Morlanwelz vermelden; deze zijn gekend in de streek tussen Bergen en Charleroi en zijn laterale equivalenten van het Lid van Moen (Zand van Mons-en-Pévèle).

Hierbij dient opgemerkt dat in het gebied waar de Formatie van Kortrijk dagzoomt onder de kwartaire afzettingen grote delen ervan kunnen ontbreken (sterk plaatsgebonden). Hiermee werd in het bestek van deze studie weinig rekening gehouden gezien dit gebied niet in aanmerking komt voor verdere studie.

I.1.2.3 Afbakening van gebieden die op basis van sedimentologie en geometrie van de kleilagen in de Formatie van Kortrijk in aanmerking komen voor verder onderzoek

a. Gebied I

De Formatie van Kortrijk vormt in gebied I in zijn geheel een zeer homogene kleilaag, waarin het onderscheid tussen de leden niet duidelijk te bepalen is; zelfs het bovenliggende Lid van Kortemark is niet duidelijk te onderscheiden, ook niet in boorgatmetingen.

Rekening houdend met de minimale dikte (100 m) kan in gebied I de zone ten noorden en ten oosten van Brugge weerhouden worden (Fig. I.1.6). De formatie bereikt echter enkel in het meest noordelijke gedeelte een aannemelijke diepte.

Wanneer men het onderste meest kleiige gedeelte (klei van het Lid van Saint-Maur?) afzonderlijk beschouwt, stelt men vast dat dit te Knokke, nabij de Nederlandse grens, meer dan 100 m dik is (Fig. I.1.8); bovendien is deze laag er voldoende diep gelegen (de basis bevindt zich op een diepte van ongeveer 285 m).

b. Gebied II

De lithologische geschiktheid van de Formatie van Kortrijk in gebied II neemt af van west naar oost en wordt bepaald door het middelste Lid van Moen waarvan de korrelgrootte toeneemt naar het oosten toe. De grens van de lithologische geschiktheid is moeilijk te bepalen.

Ten noorden van de lijn Torhout-Deinze-Zottegem-Dendermonde-Mechelen voldoet de formatie aan de voorwaarde voor minimale dikte (Fig. I.1.6). Enkel in een smalle W-E-gerichte strook tussen Kallo en Lille (Kempen) kan de dikte iets minder dan 100 m bedragen (ongeveer 97 m te Kallo). Ten noorden van de lijn Stekene-Hoboken bevindt de basis van de formatie zich op een voldoende diepte (300 m of meer).

Ten noorden van de lijn Sint-Laureins-Assenede en in de buurt van Stekene (noorden) en De Klinge nabij de Nederlandse grens wordt de onderste homogene kleilaag (Lid van Saint-Maur - Orchies) wellicht 100 m dik (Fig. I.1.8). Hier bevindt de laag zich eveneens op een voldoende grote diepte (basis op ongeveer 300 m).

c. Gebieden III, IV, V

In de gebieden III, IV en V is de lithologische geschiktheid van de Formatie van Kortrijk veel minder wegens het zandige karakter van het middelste lid (Zand van Mons-en-Pévèle).

d. Noordzeegebied

In het bestek van deze studie werd de lithologische en geometrische geschiktheid onder de Noordzee enkel nagegaan door extrapolatie van de gegevens op het vasteland. Indien men dit in de toekomst werkelijk nader wil bestuderen, is een meer diepgaande studie, gebaseerd op seismische gegevens en boringen in dit kader vereist. Figuur I.1.12 toont het Belgische grondgebied op het continentaal plat in de Noordzee. Op dezelfde figuur staan de isohypsen van de basis van het Tertiair voorgesteld (DE BATIST, 1989). Hieruit blijkt dat de strekking van het Tertiair in de zuidelijke Bocht van de Noordzee NW-SE is gericht, op het vasteland eerder NWW-SEE. Deze verandering in de richting van de strekking manifesteert zich reeds op het Belgische continent. Ook de strekking van de Formatie van Kortrijk vertoont reeds op het vasteland een richtingsverandering. Door extrapolatie leidt men af dat de top van de Formatie van Kortrijk zich aan de grens tussen het Belgische en het Nederlandse Noordzeegebied waarschijnlijk tussen de peilen -150 en -200 bevindt. De top van het Lid van Saint-Maur bevindt zich op dezelfde plaats waarschijnlijk op een peil van -200 tot -250. Er kan worden verondersteld dat beide diepten groter zijn in het uiterste noorden van het Belgische Noordzeegebied. De isopachen van het Lid van Saint-Maur geven een dikte van meer dan 100 m aan waardoor de dikte van de volledige Formatie van Kortrijk duidelijk veel groter is dan 100 m.

Aan de hand van de sedimentologische kenmerken in de verschillende delen van het afzettingsbekken kan men, rekening houdend met de paleogeografie van het Ieperiaan, veronderstellen dat de heterogeniteit van het Lid van Moen afneemt naar het centrum van het bekken toe.

I.1.2.4 Ligging van de gebieden die op basis van lithologie en geometrie van de kleilagen in de Formatie van Kortrijk in aanmerking komen voor verder onderzoek

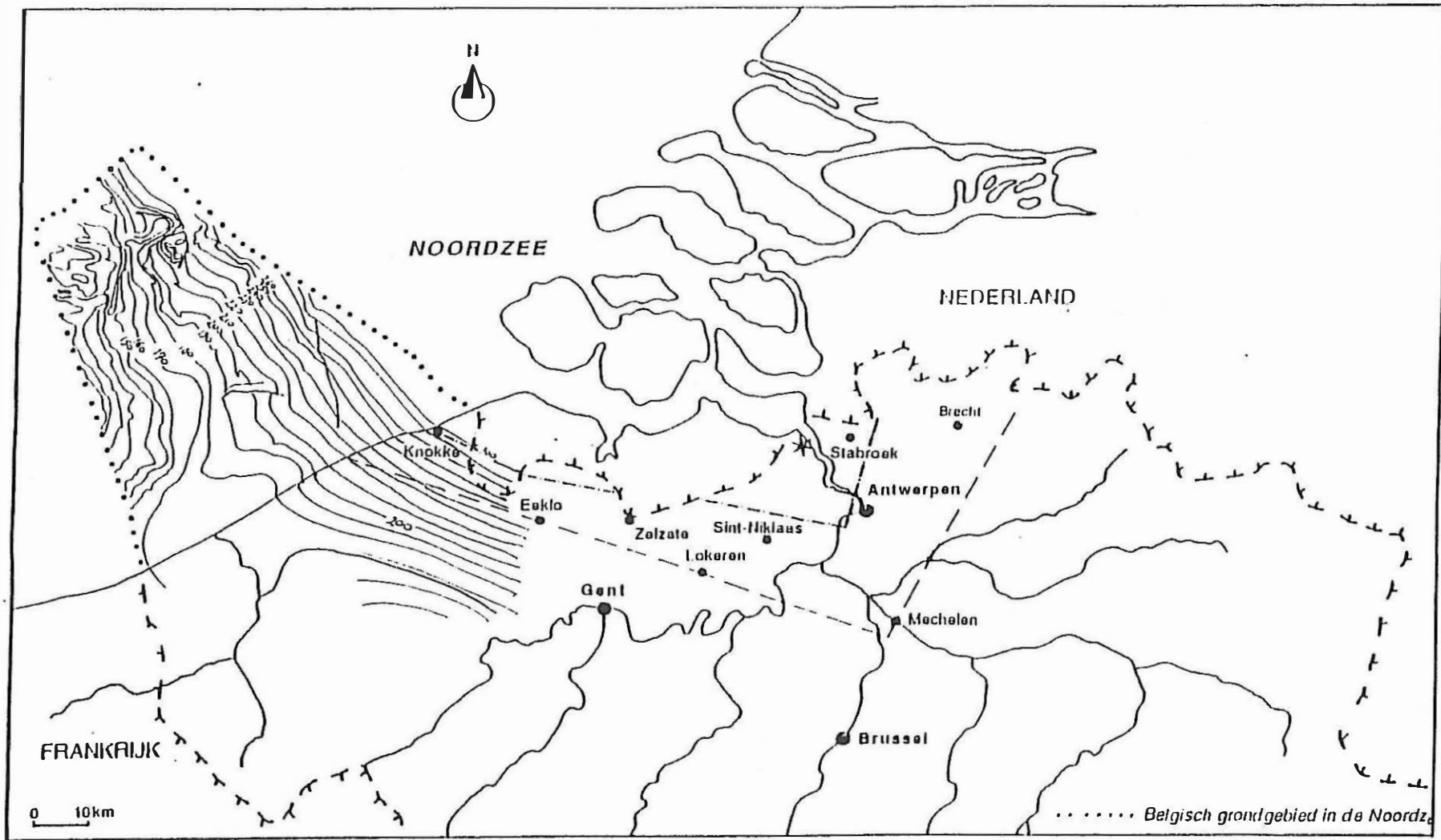
De ligging van de 3 gebieden wordt voorgesteld op figuur I.1.13.

Het betreft in het westen het Gebied Knokke, waar de dikte van het homogene Lid van Saint-Maur voldoende groot is om het apart te beschouwen. Vanzelfsprekend sluit dit niet uit dat de volledige formatie in aanmerking kan genomen worden. Het onderscheid tussen de verschillende leden is hier moeilijk te maken, gezien de gehele formatie een homogeen kleilig karakter heeft.

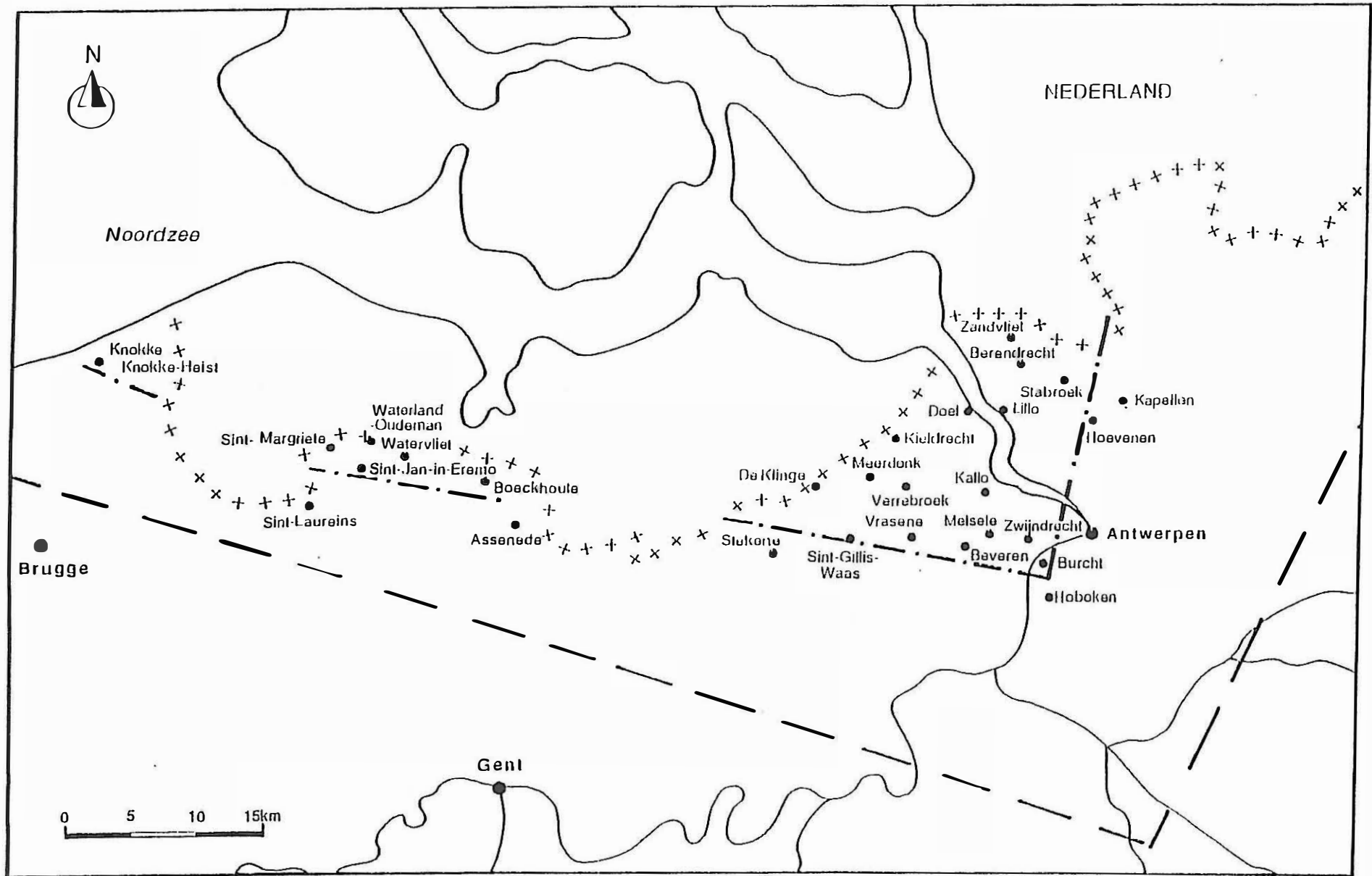
Meer naar het oosten, in het gebied Sint-Laureins - Assenede, waar de dikte van het homogene Lid van Saint-Maur voldoende groot is om het apart te beschouwen. De volledige formatie komt vanzelfsprekend eveneens in aanmerking. Het is hier waarschijnlijk mogelijk om onderscheid te maken tussen de leden.

In het meest oostelijke gelegen gebied, het gebied Sint-Niklaas - Beveren, kan men waarschijnlijk enkel in het meest westelijke gedeelte het Lid van Saint-Maur apart beschouwen, meer naar het oosten dient men wegens de dikteafname van dit lid, de volledige formatie in aanmerking te nemen.

RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)



Figuur I.1.12. Belgisch Noordzeegebied - Isohypsens van de basis van het Tertiair (naar DE BATIST, 1989)



Figuur I.1.13. Geografie van de gebieden Knokke, Sint-Laureins - Assenede en Sint-Niklaas - Beveren

I.1.3 Formatie van Tielt

De Formatie van Tielt is van mariene oorsprong en wordt ingedeeld in twee leden: het Lid van Kortemark en het Lid van Egem. Naar het zuiden toe staan deze sedimenten bekend onder de naam "zanden van de Mont-Panisel".

I.1.3.1 Silt van het Lid van Kortemark

Deze mariene eenheid bestaat onderaan uit een compacte kleiige fijne tot zeer fijne silt met soms dikke kleilenzen. Ze gaat naar boven toe over in een zeer fijnzandige grove silt, met zandige intercalaties.

Het lid komt voor ten noorden van de lijn Ieper-Kortrijk-Ninove-Mechelen-Overpelt. De isohypsen van de top van deze afzetting zijn voorgesteld op figuur I.1.14.

I.1.3.2 Zand van het Lid van Egem

Deze mariene eenheid bestaat uit een glimmer- en glauconiethoudend zeer fijn zand met dunne kleilaagjes. Kalksteenbankjes en fossielhoudende lagen kunnen erin voorkomen.

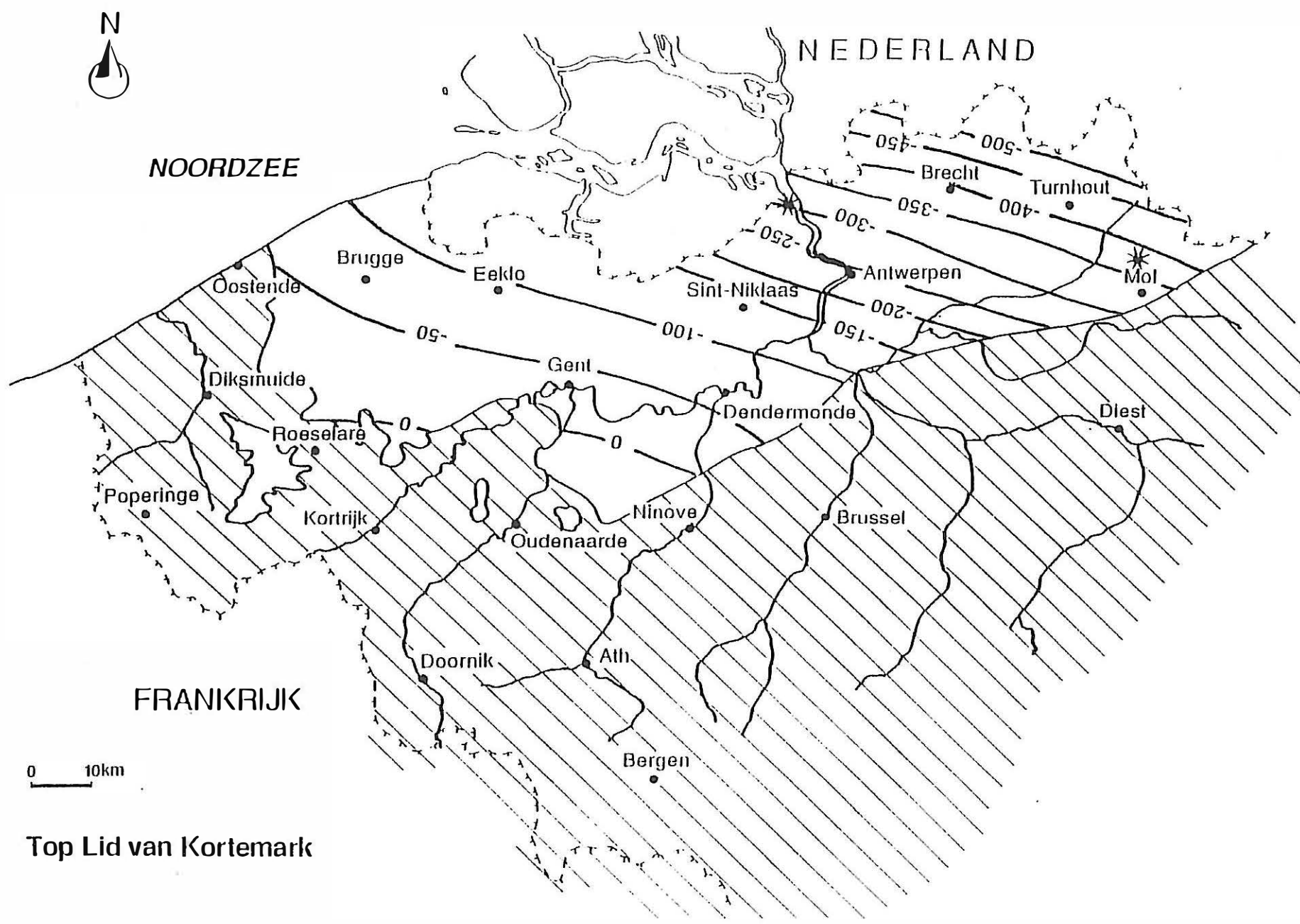
Het lid komt voor ten noorden van de lijn Kortemark-Kruishoutem-Oudenaarde-Mechelen-Overpelt.

Het lateraal equivalent van het Lid van Egem, het Lid van de Mont-Panisel, komt voor in het zuiden van het afzettingsbekken. Het bestaat uit kleiig zand met zandsteenlagen (STEURBAUT & NOLF, 1986).

I.1.4 Formatie van Gent

De Formatie van Gent is een hoofdzakelijk mariene eenheid die onderaan bestaat uit een laag klei van het Lid van Merelbeke, bedekt door de grovere zandige klei van het Lid van Pittem, op zijn beurt bedekt wordt door het zandige Lid van Vlierzele (de basis van het Lid van Vlierzele is een erosieoppervlak).

RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 940301)



Figuur 1.1.14. Isohypsen van de top van het Lid van Kortemark

I.2 SEDIMENTOLOGIE

I.2.1 Inleiding

De korrelgrootteverdeling is een zeer belangrijke factor die mee de doorlatendheid van het sediment bepaalt.

In het bestek van dit onderzoek wordt enkel de Formatie van Kortrijk en het Lid van Kortemark van de Formatie van Tielt voor de gebieden I, II en III van de Formatie van Kortrijk (zie I.1.2.2) in beschouwing genomen. In figuur I.2.1 en figuur I.2.2 zijn de korrelgrootteverdeling van de Formatie van Kortrijk in verschillende boringen weergegeven. De nummers geven vier grote sedimentologische eenheden aan (GEETS, 1988).

I.2.2 Gebied I

Als referentie voor Gebied I wordt een boring te Knokke (GEETS, 1988) beschouwd (Fig. I.2.1).

De Formatie van Kortrijk en het Lid van Kortemark van de Formatie van Tielt bestaan hier uit een 145 m dik pakket overwegend ongedifferentieerde klei.

Onderaan treft men een kleiige, zeer fijnzandige grove silt aan (Lid van Mont-Héribu).

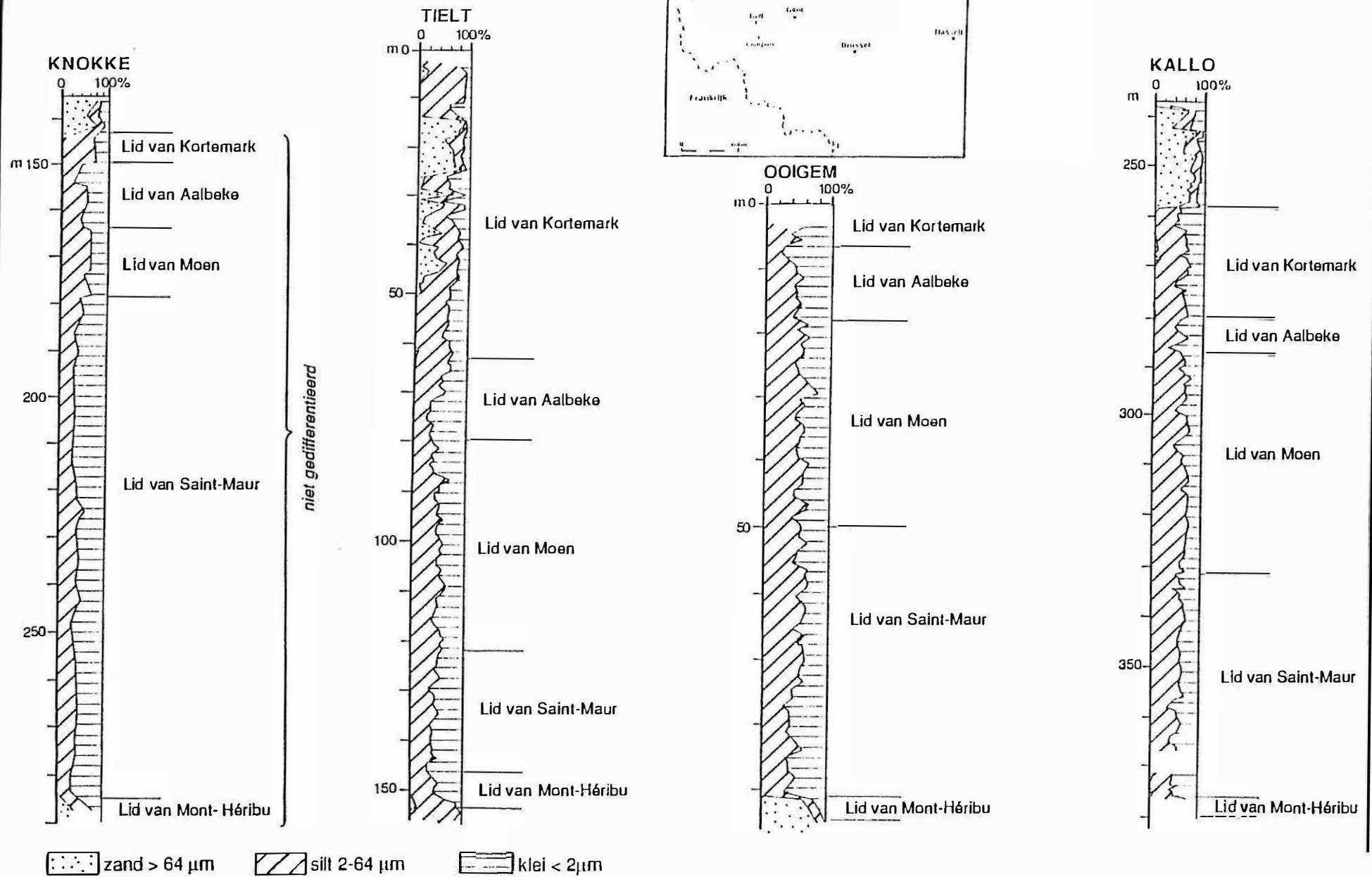
Daarop ligt een 106 m dik zeer homogeen pakket van zeer fijnsiltige klei, met enkele weinig belangrijke intercalaties van grofsiltige klei of kleiige, zeer fijne silt.

Hier bovenop ligt er een 14 m dik pakket kleiige, zeer fijne tot fijne silt, vermengd met zeer fijnsiltige klei.

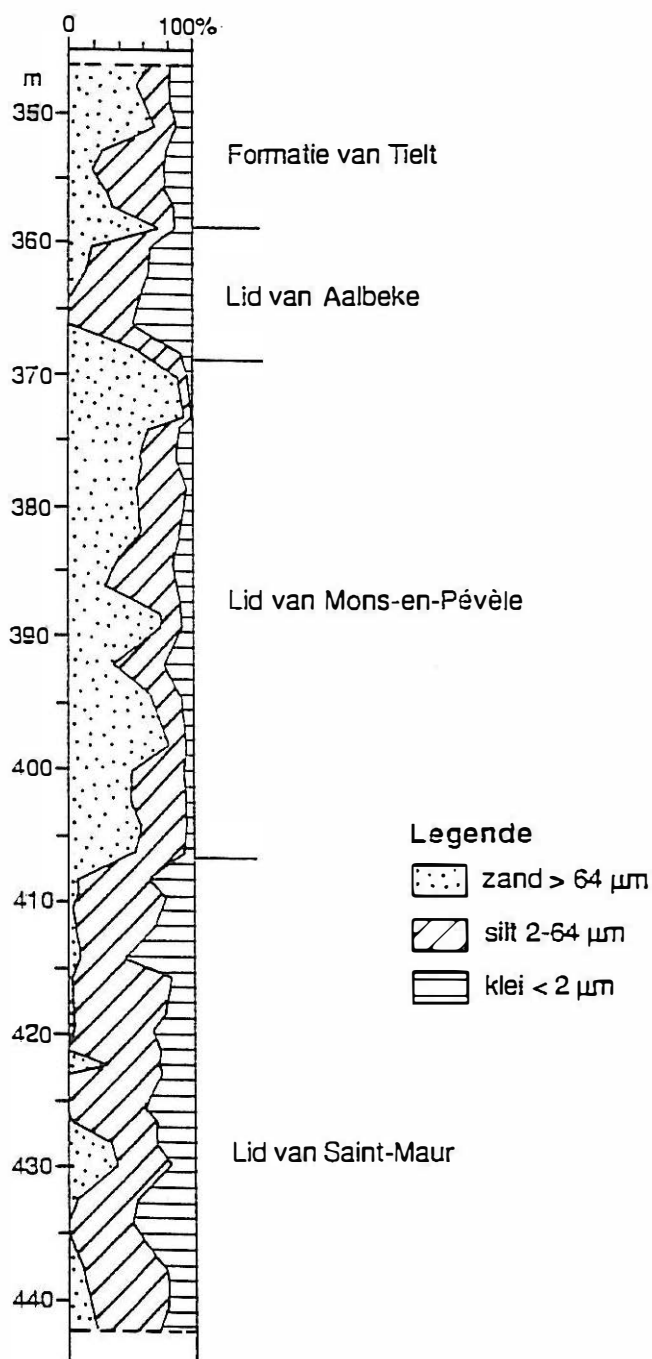
De top laag bestaat uit een 21 m dik zeer homogeen pakket fijnsiltige klei.

I.2.3 Gebied II

In Gebied II werden twee referentieborings beschouwd, één in het westen (Tielt) en één in het oosten (Kallo) (Fig. I.2.1).



Figuur 1.2.1. Correlatie van de korrelgrootten in de boringen Knokke, Tielt, Ooigem en Kallo (naar GEETS, 1988)



Figuur 1.2.2. Korrelgrootteverdeling van de Ieper Groep in de boring Mol (naar GEETS, 1988)

I.2.3.1 Boring Tielt

a. Formatie van Kortrijk

De Formatie van Kortrijk bestaat uit een 85 m dik pakket waarin men vier leden kan onderscheiden.

a.1 Lid van Mont-Héribu

Het Lid van Mont-Héribu bestaat uit een 4 m dik pakket zeer fijnzandige grove silt tot grofsiltig fijn zand.

a.2 Lid van Saint-Maur

Het Lid van Saint-Maur bestaat uit een 24 m dik zeer homogeen pakket zeer fijnsiltige klei, met enkele weinig belangrijke intercalaties van grofsiltige klei of kleiige zeer fijne silt.

a.3 Lid van Moen

Het Lid van Moen omvat een 41 m dik pakket van kleiige fijne tot zeer fijne silt.

a.4 Lid van Aalbeke

Het Lid van Aalbeke bestaat uit een 16 m dik pakket homogene zeer fijnsiltige klei.

b. Formatie van Tielt-Lid van Kortemark

Het Lid van Kortemark bestaat uit een 25 m dik pakket heterogene afzettingen. Het gaat van basis naar top over van kleiige grove silt naar zeer fijnzandige grove silt met een geleidelijke toename van de zandfractie.

I.2.3.2 Boring Kallo

a. Formatie van Kortrijk

De Formatie van Kortrijk bestaat uit een 97 m dik pakket waarin men ook hier vier leden kan onderscheiden.

a.1 Lid van Mont-Héribu

Het Lid van Mont-Héribu is hier gereduceerd tot 1 m. Het bestaat uit een kleiig, grof- of fijnsiltig, fijn of zeer fijn zand.

a.2 Lid van Saint-Maur

Het Lid van Saint-Maur bestaat uit een 43 m dik pakket vrij homogene afzettingen. Onderaan heeft men een 20 m dikke laag zeer fijnsiltige klei, met enkele intercalaties van grofsiltige klei of kleiige, zeer fijne silt. Daarboven ligt 23 m kleiige middelmatige silt.

a.3 Lid van Moen

Het Lid van Moen bestaat uit een 45 m dik pakket heterogene afzettingen. Men merkt een vergroving van het faciës naar boven toe, gaande van een kleiige, middelmatige silt onderaan tot een kleiige grove silt bovenaan.

a.4 Lid van Aalbeke

Het Lid van Aalbeke bestaat uit een 6 m dikke homogene afzetting van zeer fjnsiltige klei.

b. Formatie van Tielt-Lid van Kortemark

Het Lid van Kortemark van de Formatie van Tielt bestaat uit een 23 m dik pakket heterogene afzettingen. Onderaan bevindt zich een kleiige grove silt, met zandige intercalaties en bovenaan een zeer fijnzandige grove silt. De zandfractie neemt toe naar boven.

I.2.4 Gebied III

De boring Mol (Fig. I.2.2) geldt als referentie voor dit gebied.

I.2.4.1 Formatie van Kortrijk

De Formatie van Kortrijk is hier 84 m dik en kan in drie leden onderverdeeld worden.

a. Lid van Saint-Maur

Het Lid van Saint-Maur is een 36 m dik pakket van grotendeels kleiige grove silt, met belangrijke intercalaties van kleiige zeer fijnzandige grove silt.

b. Lid van Moen

Het faciës dat aangetroffen wordt in Mol is beter bekend onder de naam Zand van Mons-en-Pévèle. Het bestaat hier uit een 38 m dik pakket zeer fijn- of grofsiltig zeer fijn zand, met enkele dunne intercalaties van zeer fijnzandige grove silt of grofsiltige klei.

c. Lid van Aalbeke

Het Lid van Aalbeke is een 10 m dik pakket kleiige grove silt.

I.2.4.2 Formatie van Tielt-Lid van Kortemark

Het Lid van Kortemark van de Formatie van Tielt bestaat uit een 9 m dik pakket grofsiltig zeer fijn zand.

I.2.5 Afzettingmilieu

Volgens GEETS (1988) ontstonden de afzettingen in een hoofdzakelijk marien milieu.

- Het Lid van Mont-Héribu werd in een rustige kustomgeving afgezet. Bepaalde kenmerken wijzen op afzetting in de overgangszone tussen het continentaal plat en de kustzone; de afwisseling van zand- en sliklaminae suggereren enige getijde-invloed.

- In de gebieden I en II kan men in de bovenste drie leden van de Formatie van Kortrijk en het Lid van Kortemark sedimentologisch vier afzettingmilieus onderscheiden. De indeling in afzettingmilieus is verschillend van de lithostratigrafische indeling.

Onderaan vindt men het faciës van een slik shelf. Dit faciës is 106 m dik te Knokke. De dikte vermindert naar het oosten toe: 24 m te Tielt en 20 m te Kallo.

Hierboven vindt men sedimenten van de top van een slik shelf, afgezet tijdens een korte regressieperiode. De dikte vermeerderd naar het oosten toe: 15 m in Knokke, 41 m in Tielt en 94 m in Kallo. Zandige intercalaties aan de rand van gebied II wijzen samen met grove glauconiethoudende lagen op stormperioden.

Hierboven vindt men sedimenten die getuigen van de herinstallatie van de slik shelfsedimentatie. Deze transgressieve periode was echter niet zo uitgebreid dan de eerste, aangezien men naar het oosten toe geen sporen van deze afzettingen meer vindt. De afzettingen zijn het dikst in Knokke (waarschijnlijk bijna 20 m). In Tielt bereiken ze een dikte van 16 m en in Kallo zijn ze maar 4 m dik.

De sedimenten aan de top geven een geleidelijke overgang naar kustsedimentatie aan. Dit pakket is dun in de boringen Knokke en Kallo en bereikt een dikte van 25 m in de omgeving van Tielt.

- In gebied III heeft er waarschijnlijk gedurende gans de Ieperiaanperiode enkel kustsedimentatie plaats gehad.

I.2.6 Besluit

Met betrekking tot de sedimentologische kenmerken komt de Formatie van Kortrijk vooral in het westen van Noord-België voor verder onderzoek in aanmerking. In de formatie komen enkele meer siltige intercalaties voor, die belangrijker worden naar het oosten toe. De toename van het zandaandeel naar het oosten en het zuiden van het land toe, maakt dat de Formatie van Kortrijk in die landsdelen niet beantwoordt aan de vereiste sedimentologische kenmerken om voor verder onderzoek in aanmerking te komen. De oostelijke grens is niet precies te bepalen.

I.3 MINERALOGIE

I.3.1 Inleiding

Gegevens over de globale mineralogische samenstelling van de Formatie van Kortrijk werden niet teruggevonden. Frequent wordt de aanwezigheid van bepaalde mineralen in publicaties vermeld, echter zelden vergezeld van percentages.

In de klei van de Formatie van Kortrijk komen lensvormige zandige en meer plastische zones voor. De zandige zones bevatten glimmers en zijn vaak glauconiethoudend. In de plastische zones vindt men dikwijls kleine septaria, pyrietknollen en gipskristallen van sterk wisselende grootte (CAMERMAN, 1939).

Het Lid van Mont-Héribu bevat veel glauconiet, een autigeen gevormd mineraal dat typisch is voor mariene afzettingen. Het Lid van Saint-Maur bevat plaatselijk pyriethoudende vlekken en gepyritiseerde foraminiferen. Soms bevat het kleine septaria. Ook fosfaatconcreties komen erin voor. Het Lid van Moen bevat laagjes met veel grove glauconietkorrels en soms fosfaatconcreties. Het Lid van Aalbeke is gewoonlijk glimmerhoudend; gipskristallen kunnen eveneens voorkomen (GEETS, 1988).

In de kleifractie van de Formatie van Kortrijk treft men, geassocieerd met de kleimineralen, bijna altijd kwarts en veldspaat aan. Soms vindt men eveneens goethiet, hematiet, opaal-CT en clinoptilotiet terug (MERCIER-CASTIAUX & DUPUIS, 1988).

Door LINSTER (1975) werd de kwalitatieve mineralogische samenstelling van het Lid van Aalbeke ten zuiden van Kortrijk onderzocht. Door middel van X-straaldiffractie werd bepaald dat de siltfractie vooral glimmers, kwarts, veldspaten, chloriet en kaoliniet bevat. De kleifractie heeft een verschillende mineralogische samenstelling. Ze is vooral opgebouwd uit kwarts, glimmers, kaoliniet, smectiet (zwellende kleien) en chloriet.

Het kwartsgehalte varieert tussen 20 en 50 % en bedraagt te Kallo meestal meer dan 30 % (MERCIER-CASTIAUX, 1982).

I.3.2 Kleimineralogie

I.3.2.1 Algemeen

De mineralen in de kleien van de Formatie van Kortrijk zijn meestal afkomstig van de continentale randen. In de omgeving van het Belgisch bekken liggen volgende paleozoïsche massieven die als leveranciers van de mineralen optraden: het Ardennen-Rijnland Massief in het zuidoosten, het Armoricaans Massief in het zuidwesten en Cornwall in het westen.

In de Formatie van Kortrijk worden de volgende kleimineralen aangetroffen (MERCIER-CASTIAUX & DUPUIS, 1988):

- de primaire mineralen chloriet en illiet;
- onregelmatig geïnterstratificeerde mineralen;
- smectieten;

- kaoliniet;
- vezelige kleimineralen.

De meeste kleimineralen worden gekenmerkt door hun hoge kationuitwisselingscapaciteit of CEC (tabel I.3.1). Smectiet heeft de hoogste kationuitwisselingscapaciteit (CEC): 80 tot 150 meq/100 g (SCHLUMBERGER, 1986). De kationuitwisselingscapaciteit van smectiet vermindert bij het opwarmen van de klei (DE PUTTER & CHARLET, 1994).

	Chloriet	Illiet	Kaoliniet	Smectiet
CEC (meq/100 g)	10-40	10-40	3-25	80-150

Tabel I.3.1 - Kationuitwisselingscapaciteit van kleimineralen (SCHLUMBERGER, 1986)

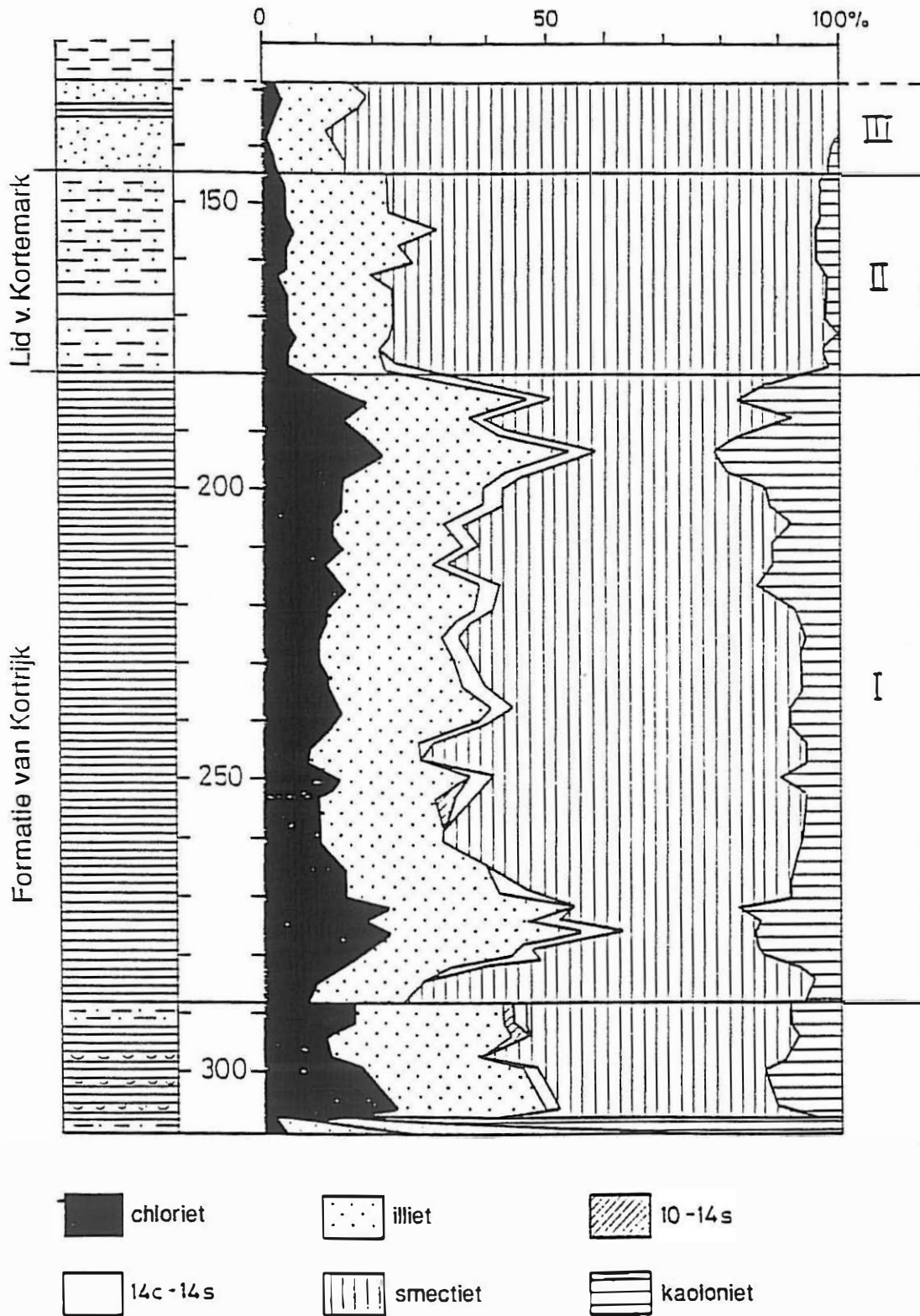
De percentages van de kleimineralen variëren sterk doorheen de stratigrafische kolom, maar ook regionaal. Algemeen kan men stellen dat de primaire mineralen en kaoliniet van de basis naar de top schijnen af te nemen ten voordele van smectieten. De geïnterstratificeerde mineralen zijn enkel aanwezig in spoorhoeveelheden. Vezelige mineralen (sepioliet) komen voor in het oosten van het bekken en in de zandige klei van het Lid van Mont-Héribu. Diagenese van de mineralen schijnt na de afzetting van weinig of geen belang te zijn geweest. Wellicht is dit gelegen aan de relatief geringe dikte van de tertiaire afzettingen in het bekken gecombineerd met gematigde tektonische spanningen en een kleine geothermische gradiënt. In die omstandigheden hebben er geen belangrijke thermodynamische veranderingen plaatsgehad.

I.3.2.2 Zonering

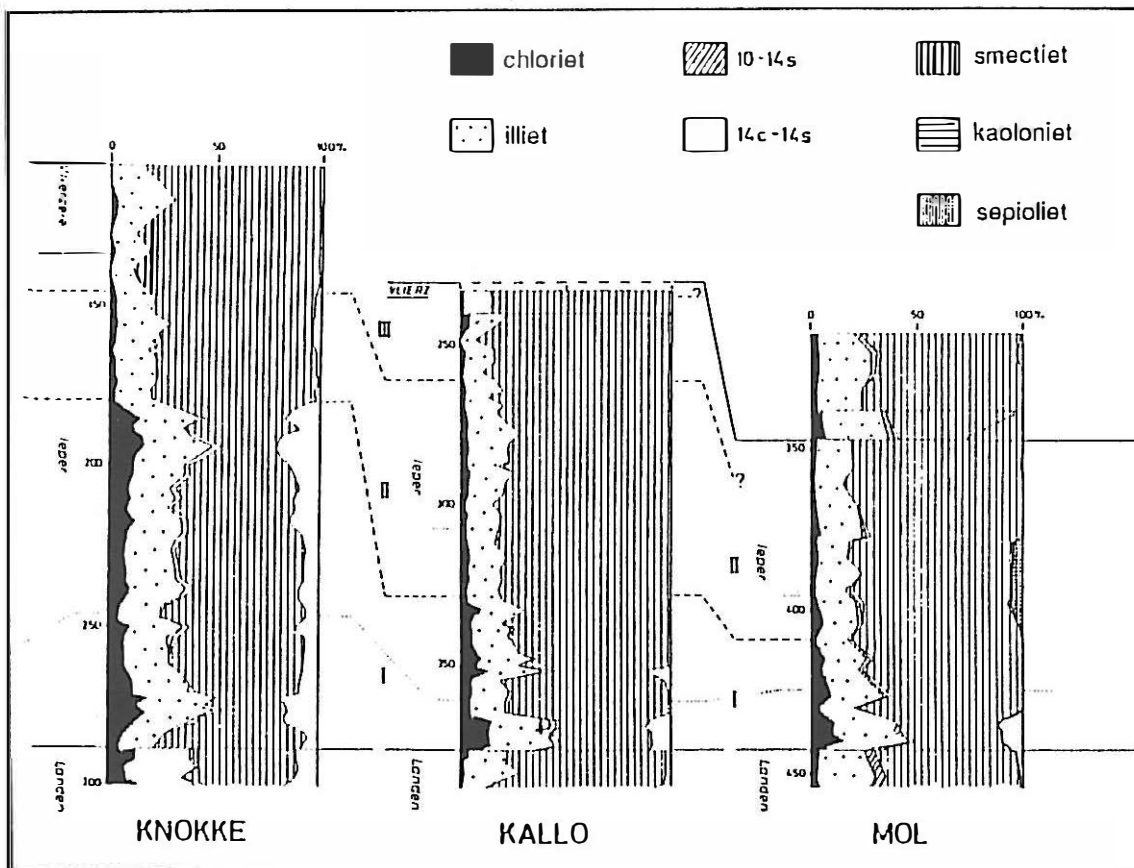
In de referentiedoorsnede (Fig. I.3.1) te Knokke (gebied I) kan men duidelijk drie zones afbakenen, die gekarakteriseerd worden door een vermindering van het gehalte chloriet, illiet en kaoliniet.

- Zone I vertoont een sterke overeenkomst met de gehalten die ook in paleocene sedimenten teruggevonden worden. Aan de top en de basis van de zone is het gehalte aan chloriet, illiet en kaoliniet groter terwijl vooral het smectietgehalte kleiner is.
- Zone II wordt gekenmerkt door een afname van het gehalte aan chloriet, illiet en kaoliniet ten voordele van smectieten.
- Zone III wordt gekenmerkt door een laag gehalte aan chloriet en illiet; er is geen kaoliniet. Het smectietgehalte is hoog.

Te Kallo (referentiedoorsnede gebied II) stelt men een gelijkaardige mineralenverdeling vast, zij het minder uitgesproken (Fig. I.3.2). Te Mol (referentiesectie gebied III) kan men zone III niet onderscheiden; in zone II komen vezelige mineralen (sepioliet) voor (Fig. I.3.2).



Figuur I.3.1. Kleimineralenverdeling in de boring te Knokke (MERCIER-CASTIAUX & DUPUIS, 1986)



Figuur 1.3.2. Correlatie van de kleimineralenverdeling in de boringen Knokke, Kallo en Mol (MERCIER-CASTIAUX & DUPUIS, 1986)

De correlatie van de kleimineralogie van de Ieper Groep tussen de verschillende gebieden wordt gegeven in figuur I.3.2.

Zone I komt overeen met de Formatie van Kortrijk te Knokke; te Kallo komt ze overeen met het onderste Lid van Saint-Maur (Orchies) van de Formatie van Kortrijk. Zone II komt te Knokke overeen met het Lid van Kortemark en zone III met het Lid van Egem en de Formatie van Gent.

Naar het oosten toe neemt het gehalte aan primaire mineralen en kaoliniet af en verschijnen vezelige mineralen (sepioliet) in zone II. Het meest constante en meest opvallende verschijnsel is de toename van het kaolinietgehalte en het gehalte aan primaire mineralen (illiet, chloriet) aan de basis van zone I (basis Formatie van Kortrijk).

De kleimineralenassociaties en de samenstelling van de smectieten, die in heel de sequentie en soms in zeer belangrijke mate voorkomen, zijn het gevolg van een in een vochtig en warm klimaat optredende verwerking. De opvallende stijging van het gehalte aan illiet, chloriet en kaoliniet worden in verband gebracht met de meest belangrijke transgressie van het Ieperiaan in België. Deze transgressie die overeenkomt met de afzetting van de klei van het Lid van Saint-Maur (=klei van Orchies) schijnt niet constant te zijn verlopen (pieken in de gehalten aan primaire mineralen en kaoliniet). Dit kan het gevolg zijn van pulsen van de mariene transgressie of van tektonische instabiliteit. De afname van het gehalte aan primaire mineralen en van het kaolinietgehalte dat parallel verloopt met het toenemende zandgehalte kan het gevolg zijn van de toename van de stromingsintensiteit nabij de kust.

De toename van het gehalte aan primaire mineralen en kaoliniet naar de westelijke zijde van het bekken toe wijst op een mogelijk westelijke afkomst van de mineralen. Het meest waarschijnlijke brongebied hiervoor is Cornwall. De laterale mineralogische veranderingen zijn mogelijk te wijten aan een betere stabiliteit van het Ardennen Massief in vergelijking met meer westelijk gelegen massieven zoals Cornwall of een verschil in flora (met verschillende geschiktheid om een bodem vast te houden) tussen de verschillende massieven.

Voor wat betreft het bovenliggende Lid van Kortemark kan eveneens een hoog smectietgehalte aangehaald worden.

I.3.3 Zware mineralen

In het bestek van dit verslag wordt ook aandacht besteed aan de zware mineralen van de Formatie van Kortrijk. De gegevens berusten telkens op onderzoek van de totale zandfractie. Omdat zowel het Lid van Aalbeke als het Lid van Saint-Maur slechts een zeer kleine hoeveelheid zand bevatten, is het zeer moeilijk om de kleine hoeveelheid zware mineralen ervan te onderzoeken en bestaan er hieromtrent geen gegevens (GEETS, persoonlijke mededeling).

De zware mineralen werden vooral door GEETS en DE BREUCK (1982) en GEETS (1993a en 1993b) onderzocht. De samenstelling van de zware mineralen wordt in verband gebracht met de afzettingsomstandigheden. De voornaamste resultaten van deze onderzoeken worden vermeld in tabel I.3.2. Het Lid van Mont-Héribu heeft in de boringen van Knokke, Kallo, Mol en Overijse en in de ontsluitingen te Lessen, Quenast en Bierges een andere zware-mineralen-

samenstelling (noordostrand in tabel I.3.2).

	Lid van Moen	Lid v. Mont-Héribu	Lid v. Mont-Héribu	Noordoost-rand	Zand van Peissant
zirkoon	38	47	29	47	32
Ti-mineralen	> 14	16	12	11	12
toermalijn	11	> 9	8	9	21
anataas	*	-	-	3	3
distheen	4	4	5	5	16
andaloesiet	-	2	*	*	6
sillimaniet	-	1	*	-	-
stauroliet	3	4	5	5	8
granaat	16	?	> 20	11	**
epidoot	7	5	12	5	**
amfibolen	**	-	-	-	-
pyroxenen	**	-	5	-	-

Tabel I.3.2 - Zware mineralensamenstelling in de Formatie van Kortrijk. De in de tabel vermelde getallen zijn relatieve percentages.

symbolen : * = weinig
 ** = zeer weinig

LINSTER (1975) onderzocht de zware mineraleninhoud van o.a. het Lid van Aalbeke en van het Lid van Moen, ten zuiden van Kortrijk. Het gehalte zware mineralen, afgescheiden uit de zandfractie van de monsters, was zeer gering: 1,59 % uit een monster van een zwak zandig laagje uit het Lid van Aalbeke en 0,94 % uit een monster van het Lid van Moen.

Ten zuiden van Kortrijk bleek de niet-opake zware mineralenfractie van het Lid van Aalbeke vooral uit granaat (25 %), zirkoon (15 %), epidoot (12 %) en alteriet (10 %) te bestaan. De niet-opake zware mineralen van het Lid van Moen bevatten ter plaatse evenveel zirkoon als granaat (25 %). Daarnaast komt eveneens alteriet (12 %) en epidoot (9 %) voor. Het hoge gehalte alteriet heeft waarschijnlijk te maken met de aard van de monsternamen: de monsters werden op kleine diepten en langs wanden genomen (LINSTER, 1984). Eveneens ten zuiden van Kortrijk onderzocht GEETS (1969) de zware mineralen uit het Lid van Aalbeke. Gemiddeld vindt hij ook vooral granaat (22 tot 42 %), zirkoon (13 tot 20 %), toermalijn (11 tot 34 %) en epidoot (5 tot 30 %).

Volgende trends kunnen worden opgemerkt.

- De Ieper Groep bevat veel ubiquisten, met maxima in het Lid van Mont-Héribu en in het Lid van Pittem. In het algemeen is zirkoon het belangrijkste mineraal in deze groep; zijn gehalte

neemt af naar de top van de groep toe. Het percentage toermalijn neemt in dezelfde zin toe en is in het Lid van Vlierzele zelfs het belangrijkste mineraal. Rutiel komt in deze afzettingen zeer gelijkmatig voor, terwijl anataas naar de top in belang afneemt.

- De Leden van Aalbeke, van Moen en van Saint-Maur bevatten het hoogste percentage aan granaat en epidoot. De amfibolen komen alleen in de zandige afzettingen in relatief belangrijke hoeveelheden voor.

- Het gehalte aan parametamorfe mineralen neemt naar boven geleidelijk toe. Stauroliet en distheen komen aan de basis in gelijke mate voor maar het distheengehalte neemt vlugger toe dan dat van stauroliet.

- Voor het Lid van Mont-Héribu kan worden opgemerkt dat er op verschillende plaatsen pyroxenen, vermoedelijk van vulkanische oorsprong, werden gedetermineerd: ze verschijnen in lagen enkele meters boven het contact met het onderliggende gesteente en hun percentage vermindert naar de zuidrand van het bekken.

I.3.4 Natuurlijke radioactiviteit

I.3.4.1 Kleimineralen

Bepaalde kleimineralen beïnvloeden sterk de signatuur van de natuurlijke gamma-log. Dit laatste is vooral afhankelijk van de hoeveelheid K^{40} , U^{238} en Th^{232} -isotopen in de kleimineralen (SCHLUMBERGER, 1986). De hoeveelheid van deze isotopen in verschillende kleimineralen en het aandeel in de natuurlijke radioactiviteit (de invloed op de natuurlijke gamma-log of GR) wordt gegeven in tabel I.3.3. Deze waarden gelden wanneer de porositeit 0 is. In het geval van normale natuurlijke porositeit bedraagt de natuurlijke radioactiviteit 60 API voor chloriet, 115 voor illiet, 70 voor kaoliniet en 70 voor smectiet (TNO).

	Chloriet	Illiet	Kaoliniet	Smectiet
Th^{232} (ppm)	0-8	10-25	6-19	14-25
U^{238} (ppm)	17-36	9-12	4,5-7	4,3-7,7
K^{40} (gew %)	0-0,03	3,5-8,5	0-0,5	0-1,5
GR(API)	180-250	250-300	80-130	150-200

Tabel I.3.3 - Natuurlijke radioactiviteit in kleimineralen (SCHLUMBERGER, 1986); deze waarden gelden voor het zuivere mineraal met porositeit 0 %

I.3.4.2 Glimmers

In tabel I.3.4 wordt het gehalte van de belangrijkste radioactieve elementen en de natuurlijke radioactiviteit van de glimmers, die in mindere mate voorkomen in de Formatie van Kortrijk, gegeven. SCHLUMBERGER (1986) maakt geen melding van de invloed van glauconiet op de natuurlijke gamma-log. Volgens TNO bedraagt deze, wanneer rekening wordt gehouden

met een natuurlijke porositeit, 155 API-eenheden. Kalium, een belangrijk bestanddeel van glauconiet, draagt bij hoge gehalten van het mineraal zeker bij tot de natuurlijke radioactiviteit.

	Glauconiet	Muscoviet	Biotiet
Th ²³² (ppm)	2-4	20-26	20-25
U ²³⁸ (ppm)	-	2-8	2-8
K ⁴⁰ (gew %)	3.2-6.8	7,8-9,8	6-50
GR (API)	-	~270	200-350

Tabel I.3.4 - Natuurlijke radioactiviteit in mica's (SCHLUMBERGER, 1986); deze waarden gelden voor het zuivere mineraal met porositeit 0 %

I.3.4.3 Veldspaten

Veldspaten bevatten gemiddeld 8 tot 12 ppm thorium en 10,5 tot 16 gew% kalium en beïnvloeden de natuurlijke gamma-log. In de Formatie van Kortrijk komen ze echter maar in geringe hoeveelheden voor.

I.3.4.4 Zware mineralen

Gezien het geringe percentage zware mineralen in de Formatie van Kortrijk, beïnvloeden deze de natuurlijke radioactiviteit zeer weinig. Hier toch enkele cijfers ter informatie.

Het meest voorkomende zware mineraal in de Formatie van Kortrijk is zirkoon (30 tot 40 % van de zware mineralen). Zirkoon heeft een thoriumgehalte dat varieert van 50 tot 4.000 ppm en een uraniumgehalte gelegen tussen 300 en 3.000 ppm.

Ook granaat (10 tot meer dan 30 % van de zware mineralen) komt in relatief grote hoeveelheden in de Formatie van Kortrijk voor. Granaat vertoont echter weinig of geen natuurlijke radioactiviteit; hetzelfde geldt voor rutiel en toermalijn.

I.3.5 Besluit

Er zijn geen absolute gegevens over de kwantitatieve mineralogische samenstelling van de Formatie van Kortrijk bekend. Smectiet en in mindere mate illiet zijn de belangrijkste kleimineralen. Deze kleimineralen hebben een hoge kationuitwisselingscapaciteit. De Formatie van Kortrijk bestaat uit mineralen die van nature een niet onbelangrijke radioactiviteit vertonen (vooral kleimineralen).

I.4 CHEMISCHE SAMENSTELLING

I.4.1 Algemeen

De chemische samenstelling van een kleisediment is afhankelijk van de aanwezige kleimineralen, de hoeveelheid vrij silicium en de aanwezigheid van pyriet, calciet, gips, sideriet, enz. De hoeveelheid SiO_2 wordt bepaald door het silicium dat aanwezig is als kwartskorrels, amorf silicium en door silicium, voorkomend in kleimineralen (VANDENBERGHE, 1978)

Informatie over de chemische samenstelling van de Formatie van Kortrijk is enkel aanwezig voor de gebieden waar deze kleilaag wordt ontgonnen voor o.a. baksteen- en dakpannenindustrie (vooral in het zuiden en het centrum van West-Vlaanderen).

Algemeen kan men stellen dat het Lid van Moen een zeer magere klei is met CO_2 -gehalte van 1 tot 6,4 %, SiO_2 -gehalte van ongeveer 78 % en Al_2O_3 -gehalte van ongeveer 10 % is. Het Lid van Aalbeke is een zeer zware klei met SiO_2 -gehalte tussen 70 en 57 % en Al_2O_3 -gehalte tussen 12,3 en 17,7 % (MOSTAERT, 1988).

BRYSSSE (1984) onderzocht de chemische samenstelling van 53 monsters van de Formatie van Kortrijk, ten zuiden van Kortrijk. De gemiddelde samenstelling wordt vermeld in tabel I.4.1. Deze tabel bevat tevens analyseresultaten van DECLEER et al. (1981) en van CAMERMAN (1939). CAMERMAN (1939) onderzocht 4 stalen van de Formatie van Kortrijk uit de omgeving van Kortrijk en 5 uit de omgeving van Ieper. Van beide reeksen wordt het gemiddelde in tabel I.4.1 vermeld.

	1	2	3	4		1	2	3	4
SiO ₂ (gew. %)	60,32	63,30	66,54	62,62	CO ₂ (%)	-	n.b.	n.b.	n.b.
Al ₂ O ₃ (gew. %)	14,91	13,90	16,29	17,51	SO ₄ ²⁻ (ppm)	14	n.b.	n.b.	n.b.
totaal Fe ₂ O ₃ (gew. %)	6,05	6,70	4,46	6,01	Co (ppm)	24	n.b.	n.b.	n.b.
FeO (gew. %)	1,46	n.b.	n.b.	n.b.	Cr (ppm)	118	n.b.	n.b.	n.b.
MnO (gew. %)	0,03	n.b.	n.b.	n.b.	Cu (ppm)	20	n.b.	n.b.	n.b.
CaO (gew. %)	0,96	0,90	1,45	0,90	Li (ppm)	60	n.b.	n.b.	n.b.
MgO (gew. %)	2,15	1,40	0,78	0,69	Ni (ppm)	54	n.b.	n.b.	n.b.
Na ₂ O (gew. %)	0,39	0,60	n.b.	n.b.	Rb (ppm)	122	n.b.	n.b.	n.b.
K ₂ O (gew. %)	2,96	n.b.	n.b.	n.b.	Sr (ppm)	114	n.b.	n.b.	n.b.
TiO ₂ (gew. %)	0,66	n.b.	n.b.	n.b.	Zn (ppm)	93	n.b.	n.b.	n.b.
T.C. (gew. %)	0,86	n.b.	n.b.	n.b.	pH	6,14-8,29	n.b.	n.b.	n.b.
O.C. (gew. %)	0,39	0,50	n.b.	n.b.	n.d. (%)	6,63-14,85	n.b.	n.b.	n.

T.C. = totaal koolstofgehalte, O.C. = organisch koolstofgehalte, n.d. = de som van H₂O, gloeiverlies en P₂O₅

Tabel I.4.1 - Chemische samenstelling van de Formatie van Kortrijk (1 = BRY SSE (1984); 2 = DECLEER et al. (1981); 3 = CAMERMAN (1939), omgeving Kortrijk; 4 = CAMERMAN (1939), omgeving Ieper)

Van de monsters uit de diepe boring van Tielt werd het CO₂-gehalte bepaald. Het varieert tussen 0,09 en 2,12 %. Omdat het CO₂-gehalte in relatie staat met het carbonaatgehalte kan hierin een aanwijzing voor het bestaan van kalkarme en kalkrijke zones worden gevonden. Volgens MERCIER-CASTIAUX (1982) is calciumcarbonaat enkel in bepaalde, eerder zeldzame lagen aanwezig. Het percentage loopt zelden op tot meer dan 5 %. Volgens GEETS (1988) is het Lid van Saint-Maur plaatselijk kalkhoudend. In het Lid van Moen komen regelmatig schelpfragmenten (o.a. Turitella) voor. Volgens CAMERMAN (1939) bevat het soms aanzienlijke hoeveelheden FeCO₃. Het Lid van Aalbeke bevat eerder weinig schelpfragmenten.

Omdat de door BRY SSE (1984) onderzochte 53 monsters een sterk wisselende chemische samenstelling vertonen, kon de correlatie tussen de chemische veranderlijken afgeleid worden. SiO₂ verhoudt zich omgekeerd tot al de andere chemische bestanddelen. Al₂O₃ correleert sterk met het totaal Fe₂O₃-gehalte. Overige correlaties tussen de hoofdelementen wijzen op de aanwezigheid van een aantal zware mineralen (rutiel, amfibolen), veldspaten, smectieten en illiet. De goede correlatie van Li en Rb met K wijst op het voorkomen van K-veldspaat in het sediment (BRY SSE, 1984).

Sporenelementen komen voornamelijk als bestanddeel van de in het sediment aanwezige mineralen voor (BRY SSE, 1984).

Men kan besluiten dat de meest voorkomende chemische elementen in de Formatie van Kortrijk Si, Al, Fe en O zijn.

I.4.2 Organisch materiaal

De 53 door BRYSSSE (1984) onderzochte monsters ten zuiden van Kortrijk bevatten gemiddeld 0,39 % organische koolstof. Analyses van DECLEER et al. (1981) gaven een gehalte van 0,50 % aan. Dit wijst op een relatief laag gehalte organisch materiaal.

Organisch materiaal kan gemobiliseerd uranium vastleggen. Zowel recent gevormd organisch materiaal (veen) als fossiel organisch materiaal (bitumen) vertoont deze eigenschap (DE PUTTER & CHARLET, 1994).

I.5 PALEOGEOGRAFIE

I.5.1 Inleiding

De afzettingen van de Ieper Groep kwamen tot stand tijdens het Ieperiaan, de vroegste periode van het Eoceen in België, dat op zijn beurt een onderdeel is van de geologische periode die men Tertiair noemt. Het Tertiair begon ongeveer 65 miljoen jaar geleden en eindigde 1,6 miljoen jaar geleden.

I.5.2 Paleogeografie van het Eoceen

Volgens ZIEGLER (1982) bevond België zich in het begin van het Tertiair (Paleoceen-Eoceen) aan de zuidoostelijke rand van het Noordzeebekken (Fig. I.5.1). Ten oosten van het Belgisch Bekken bevond zich het Ardennen-Rijnland Massief; in het zuiden begon een opwaartse beweging ter hoogte van de as van Artesië. Ten oosten van het Ardennen-Rijnland Massief vormde zich de Rijngraben ten gevolge van spanningen die gepaard gingen met de Alpijnse orogenese. Aan de randen van de grabenstructuur kwam vulkanische activiteit voor.

I.5.3 Paleogeografie van het Ieperiaan

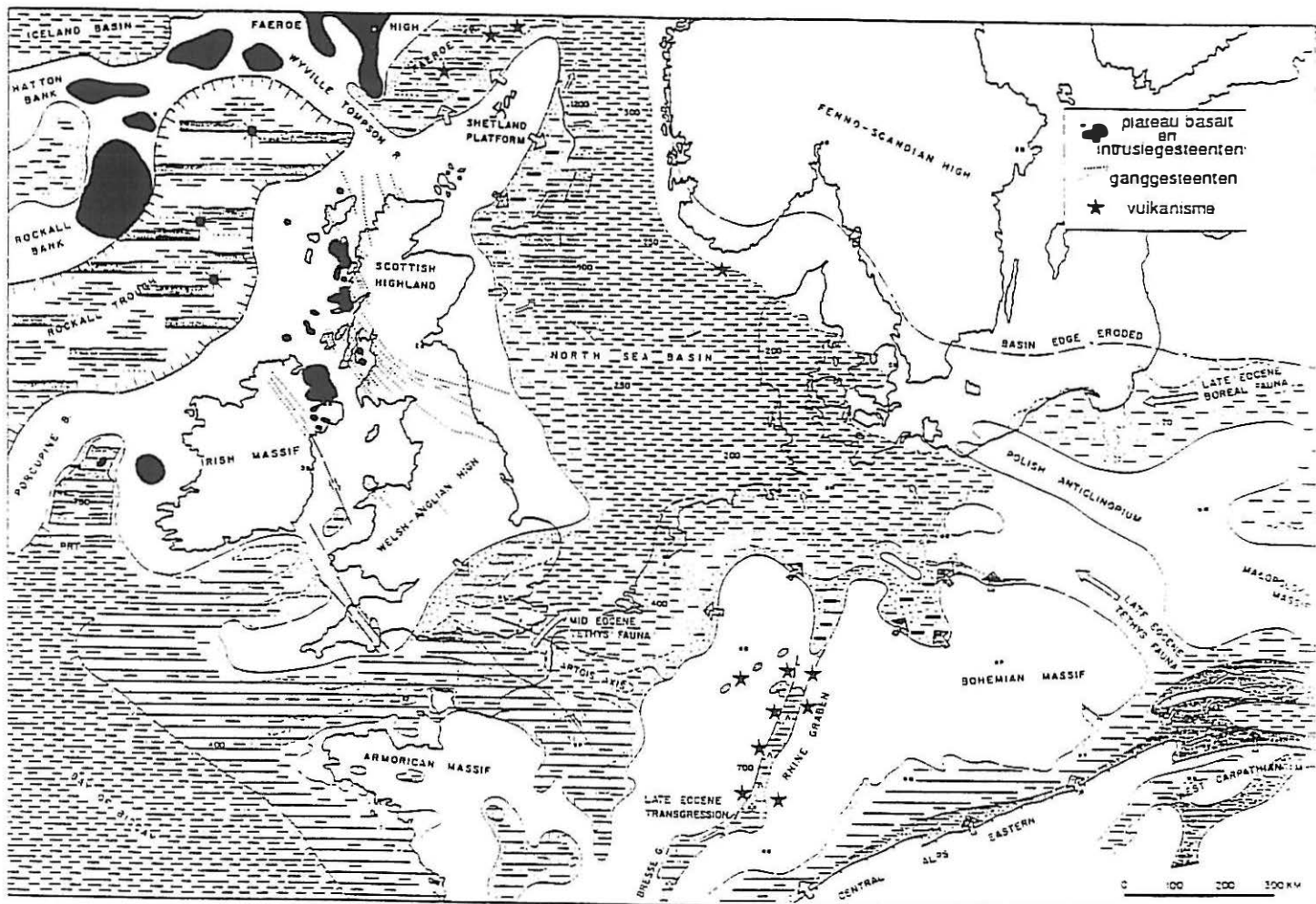
De bespreking van de paleogeografie van het Ieperiaan werd ontleend aan STEURBAUT (1988) en VANDENBERGHE et al. (in druk).

Op het einde van het Thanetiaan (periode voorafgaand aan het Ieperiaan) bevond het grootste gedeelte van het Belgisch Bekken zich boven de zeespiegel als gevolg van een tektonische opwaartse beweging. De Ieperiaantransgressie begon ongeveer 54 miljoen jaar geleden en verplaatste zich snel van het noordwesten naar het zuidoosten. De Ieperiaanzee overspoelde de sedimenten afgezet tijdens het Thanetiaan, die inmiddels reeds gedeeltelijk geërodeerd waren. Het begin van deze transgressie schijnt gebonden te zijn aan belangrijke eustatische bewegingen. Ook lokale tektoniek zou een rol kunnen gespeeld hebben. Aan de hand van de interpretatie van geofysische boorgatmetingen kan men vier opwaarts verfijning-vergroving cycli (die meestal het sedimentologische gevolg zijn van transgressie-regressie cycli) in de Formatie van Kortrijk onderscheiden.

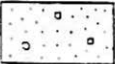
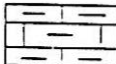

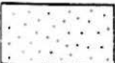
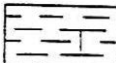
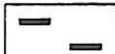
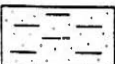
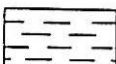

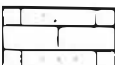
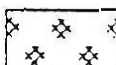
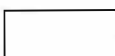
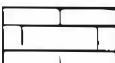
Een eerste cyclus komt overeen met de afzetting van de zandige klei van het Lid van Mont-Héribu.

Tijdens de afzetting van het Lid van Saint-Maur bereikte de zee haar maximale uitbreiding; er werd klei over gans het bekken afgezet. De afzetting van deze klei komt overeen met de tweede cyclus.


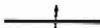



Later werden in het oosten van het bekken door een combinatie van lokale tektonische activiteit en kleine zeespiegelveranderingen zandige sedimenten afgezet (zand van Mons-en-Pévèle). Meer naar het westen komt de regressieve tendens tot uiting door de afzetting van grovere lagen in de klei (Lid van Moen of Roubaix). De grofste lagen zijn waarschijnlijk tijdens stor-





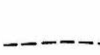
Lithologische symbolen

	zand en conglomeraat		carbonaat en klei		sulfaat
	zand		klei, weinig carbonaat		kool
	zand en klei		klei		vulkanische activiteit
	carbonaat en zand		haliet		gebieden zonder afzetting
	carbonaat				

Tektonische symbolen

	normale breuk		plooias
	horizontale verschuiving		continentale helling
	vervormingsfront van plooingsgordel		

Speciale symbolen

	richting van de klastische input
	uitbreiding van de mariene invloed
	grens met gebied waar erosie is opgetreden
300	dikte van het sedimentpakket (m)

Figuur 1.5.1. Paleogeografie van het Paleoceen - Eoceen (volgens ZIEGLER, 1982)

men afgezet. Alleen in het uiterste westen bleef de kleisedimentatie praktisch onveranderd doorgaan. Het onderste gedeelte van het Lid van Moen komt overeen met de derde cyclus, het bovenste gedeelte komt overeen met het naar boven toe verfijnd gedeelte van de vierde cyclus (VANDENBERGHE et al, in druk).

De basis van de klei van het Lid van Aalbeke vertegenwoordigt de hoogste zeespiegelstand van de vierde cyclus. Aan de randen van het bekken is deze klei nooit afgezet. De top van deze vierde cyclus vormt de top van de Formatie van Kortrijk.

De afzettingen van het Lid van Kortemark komen overeen met een volgende cyclus.

Ten noorden van de grens Westouter-Kortrijk-Mater-Beersel heeft er bijna ononderbroken afzetting tussen de basis van de klei van het Lid van Aalbeke en de top van het zand van het Lid van Egem plaatsgehad. Meer naar het zuiden heeft men aan de top van de klei van het Lid van Aalbeke een fase met zeer trage sedimentatie en erosie-intervallen.

Het zand van het Lid van Egem wordt duidelijk grover naar boven toe. De variatie in dikte gecombineerd met een sterke variatie in korrelgrootte wijst op de opvulling van een wijde baai.

Het zand van de Lid van de Mont-Panisel, een lateraal equivalent van het zand van het Lid van Egem, komt voor in het zuiden van het afzettingbekken, waar het rust op de klei van het Lid van Aalbeke of in het uiterste zuiden rechtstreeks op het zand van het Lid van Mons-en-Pévèle. Het komt waarschijnlijk niet voor ten noorden van de Dijle.

De klei van het Lid van Merelbeke verfijnt naar boven toe. Naar de top toe wordt het sediment echter grover naar boven en deze trend zet zich door in de klei van het Lid van Pittem. De top van het Lid van Pittem vormt de erosieve basis waarop het zand van het Lid van Vlierzele rust, dat naar boven toe grover wordt. In dit zand komen talrijke ligniethorizonten voor.

Daarna is er waarschijnlijk een belangrijke sedimentatiestop tussen de afzetting van het Lid van Vlierzele en de afzetting van de Formatie van Aalter opgetreden. In het noordwesten ging de sedimentatie iets langer door. De regressiefase, vertegenwoordigd door de ligniethorizont van Aalterbrugge, betekent het einde van het Ieperiaan in België. In het oostelijk gedeelte van het bekken werd het grotendeels of volledig geërodeerd door zeer sterke getijdestromingen tijdens de Brusseliaantransgressie. Het Ieperiaantijdperk eindigt ongeveer 49 miljoen jaar geleden.

I.6 KLEITEKTONIEK

I.6.1 Algemeen

De Formatie van Kortrijk werd tijdens de hoogste zeespiegelstand van het Ieperiaan in de Zuidelijke Bocht van de Noordzee afgezet (Fig. I.6.1). De afzettingen liggen op het Massief van Londen/Brabant, bekend om zijn relatieve stabiliteit gedurende de laatste 400 miljoen jaar (VERSCHUREN, 1992).

Aan de hand van reflectie-seismiek met hoge resolutie in de zuidelijke Bocht van de Noordzee (HELDENS, 1983; HENRIET et al., 1988) werden inwendige vervormingen in de Formatie van Kortrijk waargenomen. Deze vervormingen werden uitgebreid bestudeerd volgens een ZW-NO gericht profiel, dat nagenoeg loodrecht op de lokale strekking van de Formatie van Kortrijk staat. Hieruit werd afgeleid dat de Formatie van Kortrijk in drie structurele eenheden, elk met verschillende vervormingen, kan opgesplitst worden (HELDENS, 1983).

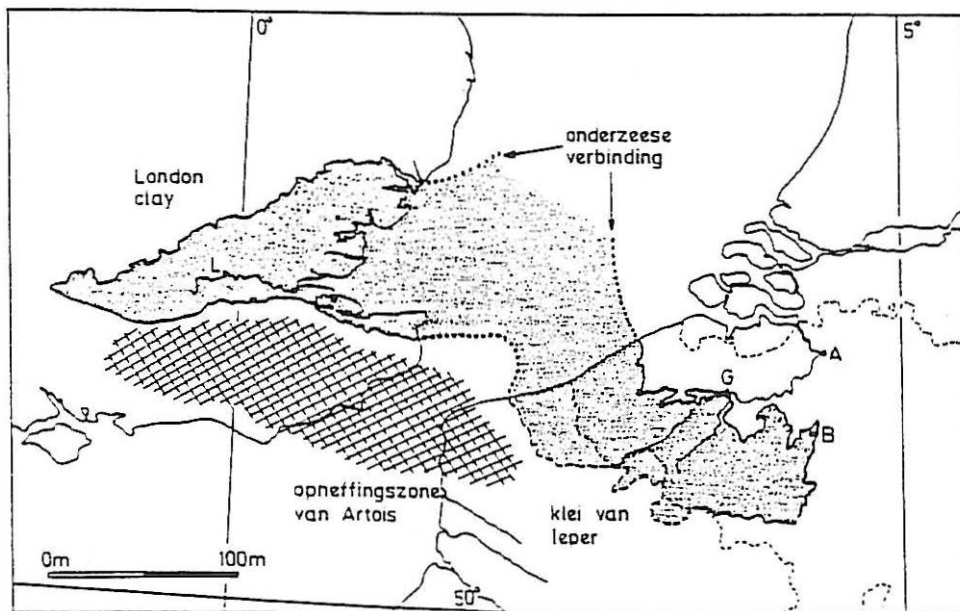
I.6.1.1 Onderste structurele eenheid

In de studiezone valt deze eenheid samen met de onderste 25 m van de Formatie van Kortrijk. Ze wordt gekenmerkt door een reeks opgeheven en ingezakte "blokken" die van elkaar gescheiden zijn door breukvlakken zonder een voorkeursoriëntatie en met spronghoogten van ten hoogste 3 m (Fig. I.6.2). Naarmate de afstand t.o.v. de basis toeneemt, wordt de breukfrequentie per niveau groter. De amplitude van de structurele vervormingen neemt toe op plaatsen waar het substraat van de Formatie van Kortrijk zelf welvingen, verzakkingen en/of breuken vertoont (HELDENS, 1983).

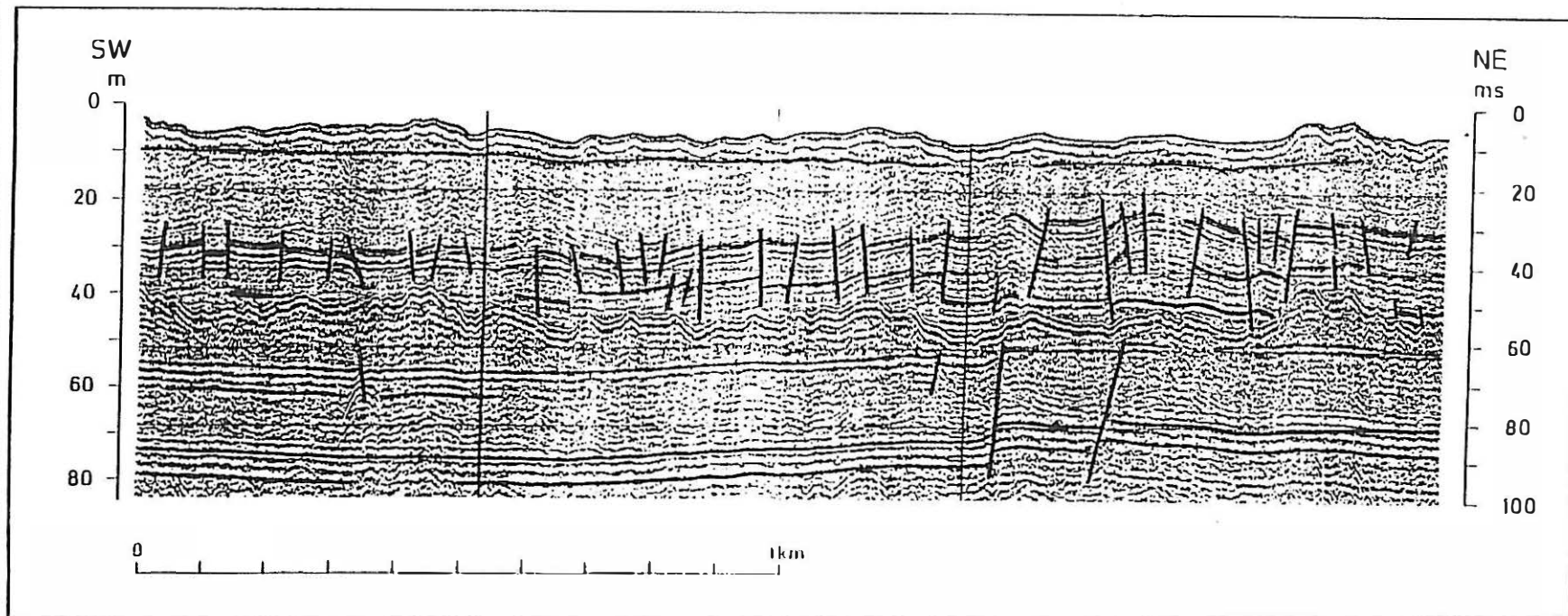
I.6.1.2 Middelste structurele eenheid

Het onderste deel van deze eenheid is 33 m dik en is gekenmerkt door een duidelijke versterking van de amplitude van de vervormingen. Dit resulteert uiteindelijk in brede synforme en scherpe antifforme welvingen die zich in de nabijheid van de zeebodem of onder paleovalleien, opgevuld met recente sedimenten, dikwijls ontwikkelen tot diapyrchtige relaxatiezones (HELDENS, 1983). De golflengte van deze structuur varieert langs het profiel tussen 200 en 300 m, de amplitude van de kleigolven tussen 2 en 10 m (HENRIET et al., 1988).

Het bovenste gedeelte van de eenheid is 25 m dik. In deze zone was het reflectiebeeld vrij diffuus en bijgevolg moeilijk interpreteerbaar. Dit is vermoedelijk te wijten aan de toenemende intensiteit van de vervormingen, waardoor de afzonderlijke blokken seismisch bijna niet meer tot uiting komen. Bovenaan vindt men een patroon van naar het noordoosten afgezakte hellende blokken (Fig. I.6.3) (HELDENS, 1983).

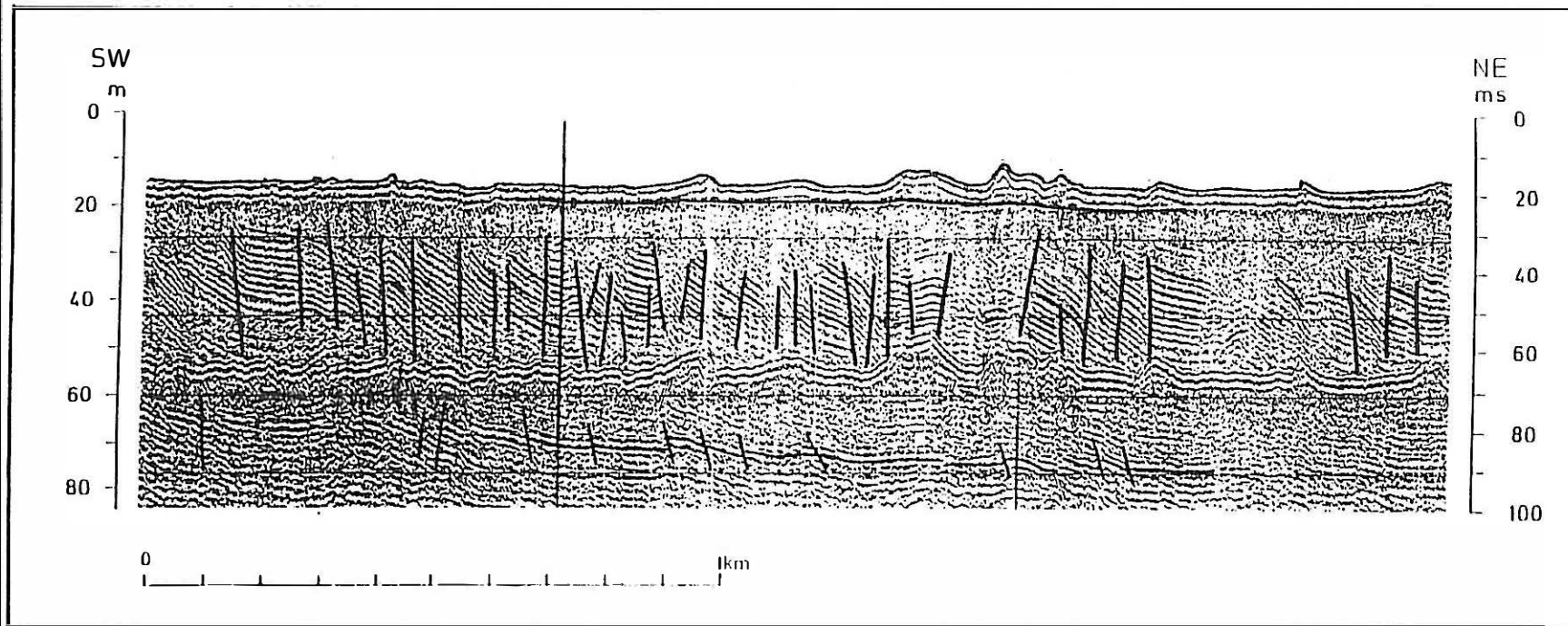


Figuur 1.6.1. Voorkomen van de ontsluitingszones van de Formatie van Kortrijk (HELDENS, 1983)



RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)

Figuur 1.6.2. De onderste structurele eenheid van de Formatie van Kortrijk (HENRIET et al., 1988)



Figuur 1.6.3. Het bovenste gedeelte van de middenste structurele eenheid van de Formatie van Kortrijk (HENRIET et al., 1988)

I.6.1.3 Bovenste structurele eenheid

In deze ongeveer 30 m dikke eenheid vindt men eveneens een patroon van hellende blokken. Naarmate de topsequentie van de klei bereikt wordt, krijgt het blokpatroon een merkwaardig allure: aan de breukvlakken zijn de reflectiesegmenten hellingopwaarts opgeheven en hellingafwaarts ingezakt, terwijl het gedeelte tussenin bijna niet vervormd is. Dit verschijnsel treft men aan tot in de Formatie van Tielt; het verdwijnt in het Lid van Merelbeke (HELDENS, 1983).

Klastische aders doorkruisen de Formatie van Kortrijk. Hun vervorming wijst erop dat ze vóór de breuken zijn ontstaan. Ze zijn gevuld met zwart breccie-achtig materiaal. Dinoflagellaten wijzen erop dat dit materiaal van 30 tot 50 m onder het stratigrafisch niveau van de omliggende klei afkomstig is (VERSCHUREN, 1992).

Op het land werden eveneens vervormingen in de Formatie van Kortrijk waargenomen. In België kan men ze te Kortrijk, te Marke, te Aalbeke en te Zonnebeke aantreffen; ze komen er vooral in het bovenste gedeelte van het Lid van Moen en in het onderste deel van het Lid van Aalbeke voor. Ze zouden correleerbaar zijn met waarnemingen in Engeland (HENRIET et al., 1988).

In de groeve van Koekelberg te Marke kan men drie groepen van breuken onderscheiden (Fig. I.6.4) (HENRIET et al., 1991):

- 1) breuken met een spronghoogte van verschillende meters en een helling tussen 80 en 45 graden;
- 2) breuken die worden gekenmerkt door relatieve verplaatsingen in de grootte-orde van decimeters; deze bevinden zich dicht op elkaar;
- 3) enkele breuken die waarschijnlijk door kwartaire periglaciaire fenomenen werden gereactiveerd, bevinden zich aan de top van de groeve.

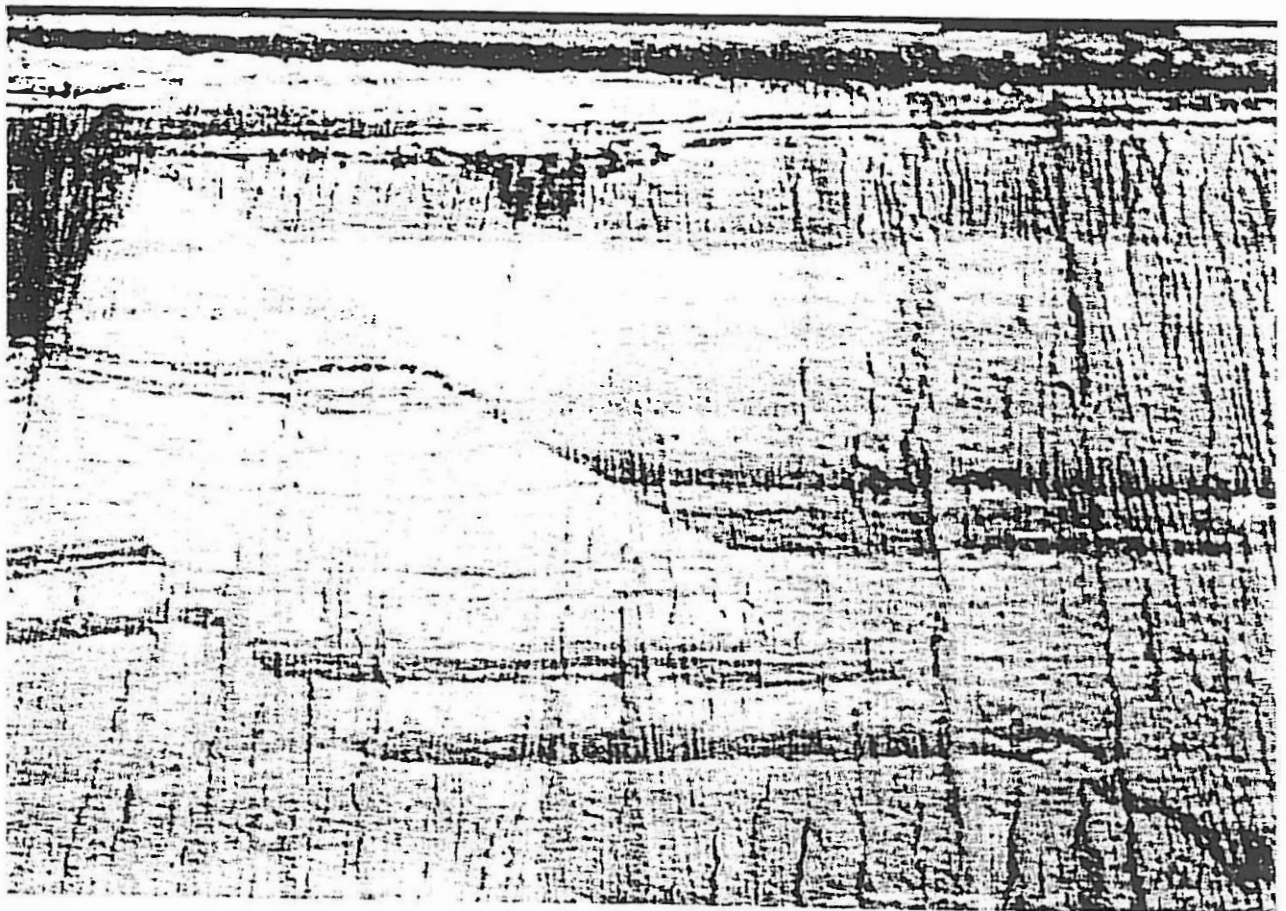
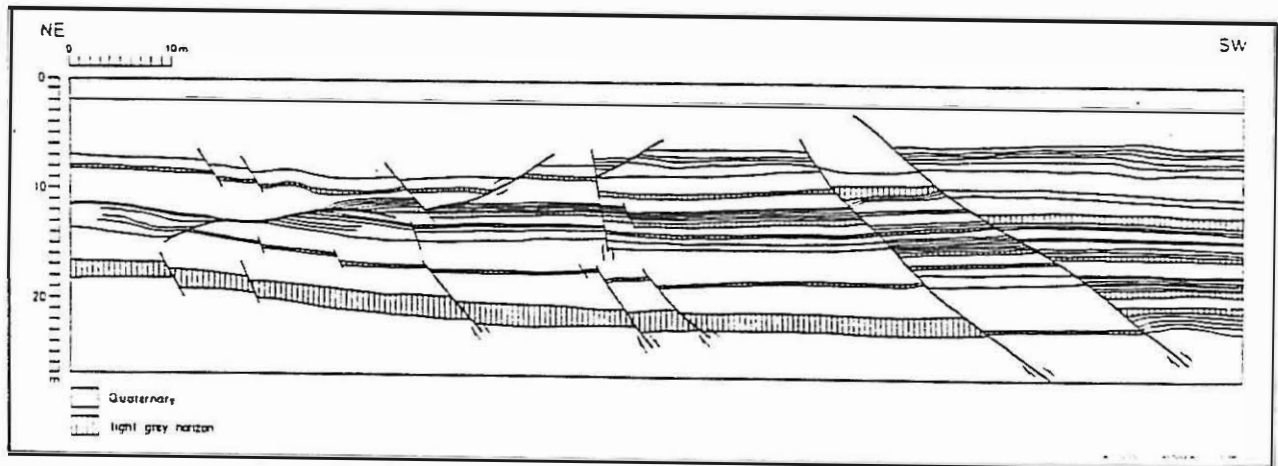
Er is weinig bekend over de invloed van de kleitektonische vervormingen op de doorlatendheid van de formatie. Volgens VERSCHUREN (1992) zouden de breukvlakken opgevuld zijn met klei en een kleine verticale doorlatendheid hebben.

I.6.2 Genese

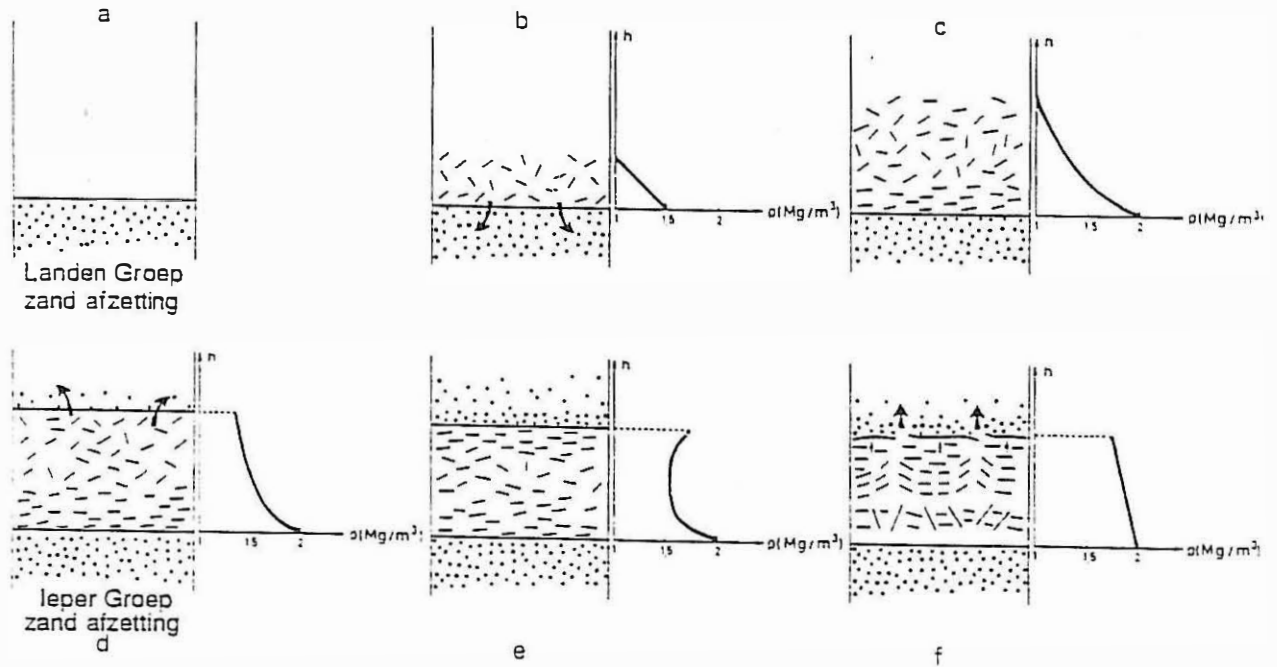
Het ontstaan van de structurele vervormingen is waarschijnlijk gebonden aan de afzettingsgeschiedenis van de klei (Fig. I.6.5). Het fenomeen kan worden samengevat als een gravitationele ineenstorting van golvingen te wijten aan een Rayleigh-Taylor instabiliteit (Fig. I.6.6.), met snel vloeistoftransport langs klastische aders die zich gedeeltelijk tot normale breuken ontwikkelen (HELDENS, 1983; HENRIET et al., 1988; HENRIET et al., 1991; VERSCHUREN, 1992).

Deze hypothese wordt hieronder samengevat.

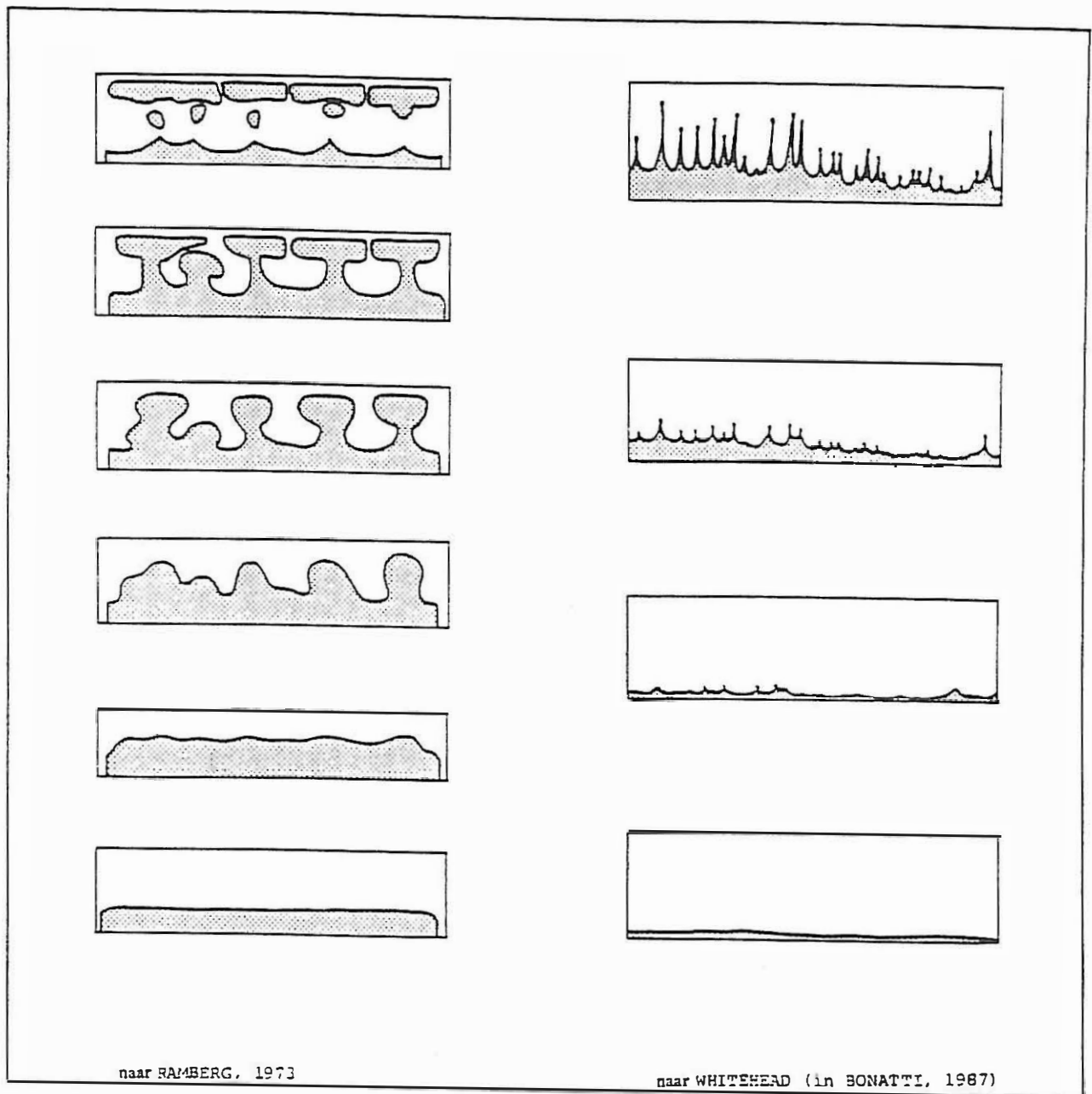
De Formatie van Kortrijk werd als een los slik met een grote porositeit en een groot watergehalte afgezet. Door toenemende sedimentatie trad graduele compactie van dit slik op. Door de aanwezigheid van het doorlatend zandsubstraat van de Landen Groep werd het poriënwater aan de basis van het kleipakket uitgeperst. Hierdoor vormden de basale kleilagen een barrière



*Figuur I.6.4. Breukenpatroon in de Formatie van Kortrijk te Marke
(uit HENRIET et al., 1991)*



Figuur I. 6.5. Compactiemodel van de Formatie van Kortrijk (HENRIET et al., 1988)



Figuur 1.6.6. Modellen van een Rayleigh-Taylor instabiliteit (uit HENRIET et al., 1988)

die verdere wateruitpersing langs de Landen Groep belette. Daar de compactiegraad toenam met de diepte ontstond er een dichtheidsgradiënt. Een gelijkaardig wateruitpersingsfenomeen deed zich voor aan de door zanden bedekte top van het kleipakket. Deze situatie leidde echter tot ondercompactie en dichtheidsinversie, waardoor een onstabiele toestand ontstond.

Bij verdere sedimentatie worden vooral in fijnkorrelige, losse afzettingen de omstandigheden voor het ontstaan van bewegingen in de sedimentmassa gunstig. Er ontstonden golvingen in de ondergecompacteerde laag en opwelvingen van deze laag in het gecompacteerd dak tot dit laatste het door breukvorming begaf. Het overtollige poriënwater kan dan langs de spleten en breuken zijn omhoog gespoten waardoor er zetting van het centrale gedeelte en ineenstorting van het dak optrad. Een groot gedeelte van de overdruk kan verdwenen zijn langs microbreukjes. In het totaal zou deze onstabiele toestand ongeveer 2 miljoen jaar geduurd hebben.

Deze vervorming werd waarschijnlijk aan de gang gebracht door een vroeg-oligocene O-W gerichte rek. Nadat de kleüige formatie terug normaal gecompacteerd was, werd ze waarschijnlijk nog verstoord door een miocene ZW-NO gerichte samendrukking.

Sommige vervormingen in de Formatie van Kortrijk kunnen tijdens het Kwartair gereactiveerd geweest zijn. Dit blijkt uit de waarnemingen van kleidiapyren die in de kwartaire opvulling van paleovalleien dringen en van breuken die gedurende een zekere periode in het Kwartair doorgewerkt hebben.

De breuken werden tot nu toe enkel waargenomen in het westen van het land en in het Noordzeebekken, daar waar de homogeniteit van de Formatie van Kortrijk het grootst is. Er wordt verondersteld dat deze verschijnselen gebonden zijn aan uiterst slecht-doorlatende lagen.

I.7 BESLUIT

De Ieper-Groep (lithostratigrafische eenheden afgezet tijdens het Ieperiaan) bestaat uit drie formaties: van onderen naar boven (van oud naar jong) gaat het om de Formatie van Kortrijk, de Formatie van Tielt en de Formatie van Gent. Voor verder onderzoek komt enkel de Formatie van Kortrijk in aanmerking.

De Formatie van Kortrijk kan op zijn beurt worden ingedeeld in vier leden:

- de zandige klei van het Lid van Mont-Héribu is heterogeen, de dikte bedraagt enkele meters;
- de klei van het Lid van Saint-Maur is homogeen en bestaat voornamelijk uit fijnsiltige klei, de dikte bedraagt gemiddeld ongeveer 50 m, maar kan tot meer dan 100 m bedragen in het noordwesten van België;
- de klei van het Lid van Moen is heterogeen, in het noordwesten van België betreft het een homogene kleiige silt, meer naar het oosten en het zuiden wordt de zand- en de grove siltfractie geleidelijk belangrijker; de dikte van deze afzetting bedraagt ongeveer 50 m;
- de klei van het Lid van Aalbeke, een homogene fijnsiltige klei van enkele meters tot 10 meter dikte.

Op basis van lithostratigrafische kenmerken (diepte, dikte, sedimentologie) kunnen er 3 gebieden in België in overweging genomen worden voor verder onderzoek: het betreft Knokke in het uiterste noordwesten, de streek van Sint-Laureins-Assenede in het noordwesten en de streek Sint-Niklaas-Beveren in het noorden. In de eerste twee gebieden is het individuele Lid van Saint-Maur het meest geschikt voor verdere studie (de volledige formatie eveneens in aanmerking), in het laatste gebied dient men, met uitzondering van een klein deelgebiedje in het westen, de volledige Formatie van Kortrijk voor verdere studie in aanmerking te nemen.

Een gedeelte van het Noordzeegebied komt theoretisch ook in aanmerking. In het bestek van deze studie werd hier niet op ingegaan.

Het kleigehalte in de homogene Leden van Aalbeke en van Saint-Maur varieert tussen de 50 en 75 %; de zandfractie ontbreekt meestal. Het kleigehalte in het heterogene Lid van Moen bedraagt gewoonlijk minder dan 50 %; de zandfractie (<10 % in het noordwesten) wordt belangrijker naar het oosten en het zuiden (tot 20 %) toe.

De kleimineralen bestaan voor meer dan 50 % uit smectieten met hoge kationuitwisselingscapaciteit. De zware mineralen, die slechts in zeer geringe mate voorkomen, bestaan voornamelijk uit granaat, zirkoon, epidoot, toermalijn en alteriet. Men kan opmerken dat de voorkomende kleimineralen, de mica 's en zirkoon een relatief hoge natuurlijke radioactiviteit kunnen vertonen. De Formatie van Kortrijk bestaat in hoofdzaak uit SiO_2 en Al_2O_3 en in mindere mate uit Fe_2O_3 . Het gehalte aan organisch materiaal is laag.

Op de Noordzee werden door middel van reflectiesismiek belangrijke kleitektonische vervormingen in de Formatie van Kortrijk aangetoond. Breuken worden ook opgemerkt in groeven op het land. De aanwezigheid van deze vervormingen in het studiegebied zijn tot nu toe niet

aangetoond. Over hun oorsprong is er nog geen duidelijke verklaring. Ze hebben wellicht te maken met de gebrekkige ontwatering van deze zeer slecht-doorlatende lagen tijdens de compactiefase. Over hun invloed op de doorlatendheid is zo goed als niets bekend.

DEEL II

GEOLOGIE VAN DE

GEBIEDEN DIE OP BASIS VAN

SEDIMENTOLOGIE EN GEOMETRIE

VAN DE KLEILAGEN

IN DE FORMATIE VAN KORTRIJK

IN AANMERKING

KOMEN VOOR VERDER ONDERZOEK

II.1 INLEIDING

II.1.1 Algemeen

In het vorige deel werden 3 gebieden afgebakend die op basis van lithostratigrafische kenmerken in aanmerking komen voor verder onderzoek (I.1.2.4). Hierbij werd geen rekening gehouden met de eigenschappen van de lagen onder en boven de Formatie van Kortrijk (uitgezonderd voor het Lid van Kortemark en het Lid van Egem die ook tot de Ieper Groep behoren). De aard van het gestelde probleem vereist een zo gedetailleerd mogelijke kennis van de plaatselijke geologie. In deel II wordt hierop dieper ingegaan.

Het betreft de gebieden: Knokke, Sint-Laureins - Assenede en Sint-Niklaas - Beveren (Fig. II.1.1). Op figuur II.1.2 worden de centra in en nabij deze gebieden weergegeven. De geologie van de drie gebieden kan afgeleid worden uit diepe boringen. Als referentieboringen werden Knokke (LAGA & VANDENBERGHE, 1990), Assenede (LAGA, 1990), Kallo (GULINCK, 1969) en Woensdrecht (TESCH, 1912; WATERSCHOOT VAN DER GRACHT et al., 1913) gekozen (Fig. II.1.3).

In Knokke (Fig. II.1.4) werden volgende boorgatmetingen uitgevoerd: spontane potentiaal, gammastraling, diameter en elektrische weerstand. In Assenede werden dezelfde boorgatmetingen uitgevoerd.

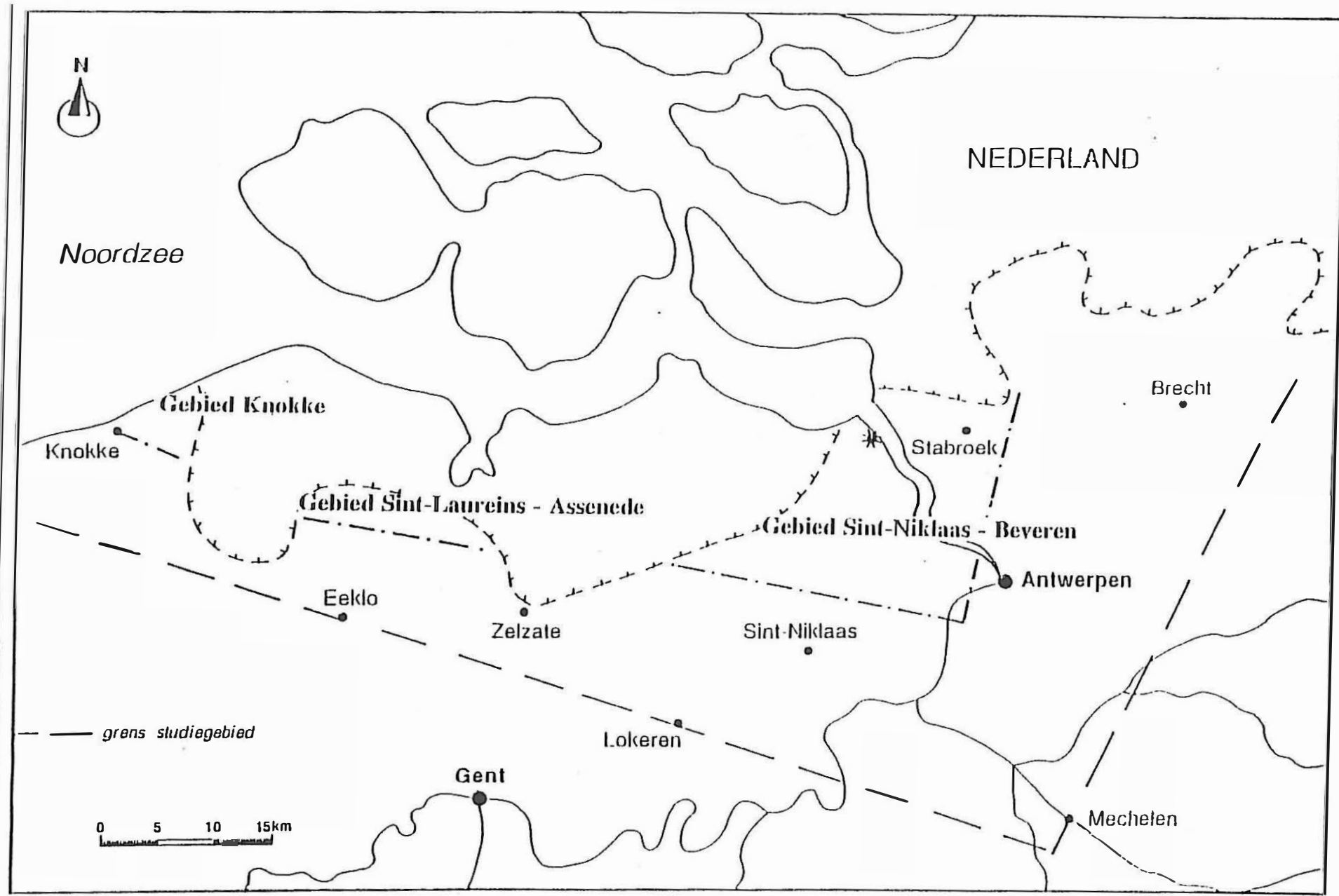
Er kan worden opgemerkt dat de strekking van het Tertiair ongeveer evenwijdig loopt met de lijn Knokke - Assenede. Waarschijnlijk is de geologische opbouw van het Tertiair in de gebieden Knokke en Sint-Laureins - Assenede hierdoor vrij gelijkaardig.

Gezien het gering aantal waarnemingen op grote diepte in deze 3 gebieden werd het studiegebied ruimer opgevat, namelijk ten noorden van een WNW-ESE gerichte lijn die loopt van De Haan, over Eeklo en Lokeren tot Mechelen en ten westen van een SW-NE gerichte lijn die loopt van Mechelen naar Hoogstraten. Dit gebied zal in het vervolg van deze studie het studiegebied genoemd worden (Fig. II.1.1). Op uitzondering van de boring van Woensdrecht (NL) werden enkel puntwaarnemingen op Belgisch grondgebied gebruikt.

Een overzicht van de gebruikte puntgegevens wordt gegeven op figuur II.1.5. De technische gegevens van de geraadpleegde boringen zijn vermeld in tabel II.1.1.

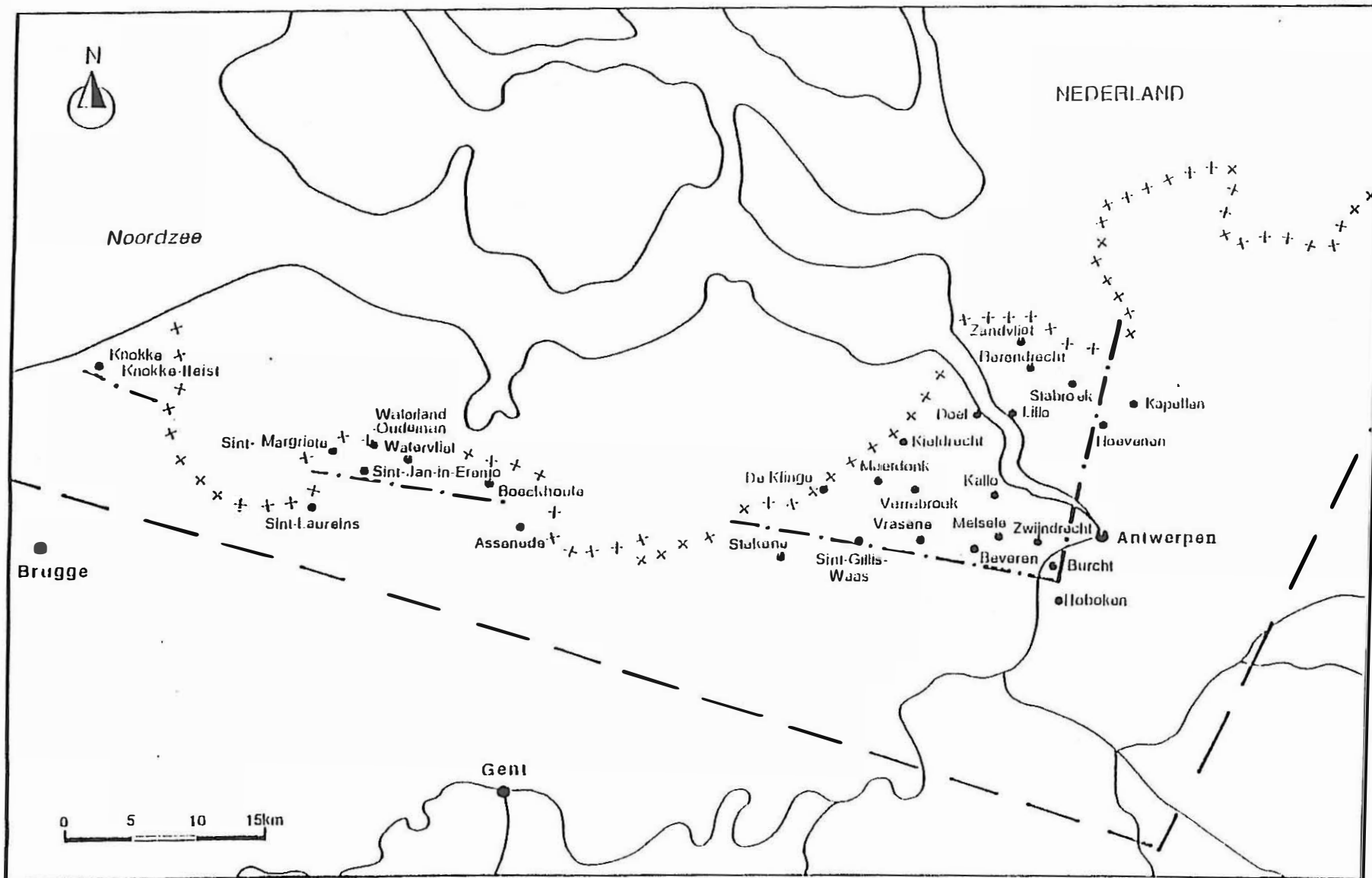
Op basis van de puntgegevens werden verschillende isohypsen- en isopachenkaarten gemaakt. Hierbij werden de verschillende lagen van de Ieper Groep uitgebreid behandeld. Ook van de onderliggende Landen Groep werden isohypsen- en isopachenkaarten gemaakt (naar DE GEYTER, 1980).

De informatie over de geologie in de drie gebieden is relatief beperkt (Fig. II.1.5). Enkel de boring te Knokke, de boring te Kallo en de boring te Woensdrecht bereiken de basis van de Ieper Groep. De kaarten met isohypsen en isopachen zijn gebaseerd op de beschikbare gegevens in het volledige studiegebied. De gegevens in de gebieden Knokke, Sint-Laureins - Assenede en Sint-Niklaas - Beveren werden voor een groot deel door extrapolatie bekomen. De boring te Assenede in het gebied Sint-Laureins - Assenede reikt tot in het Lid van Egem.



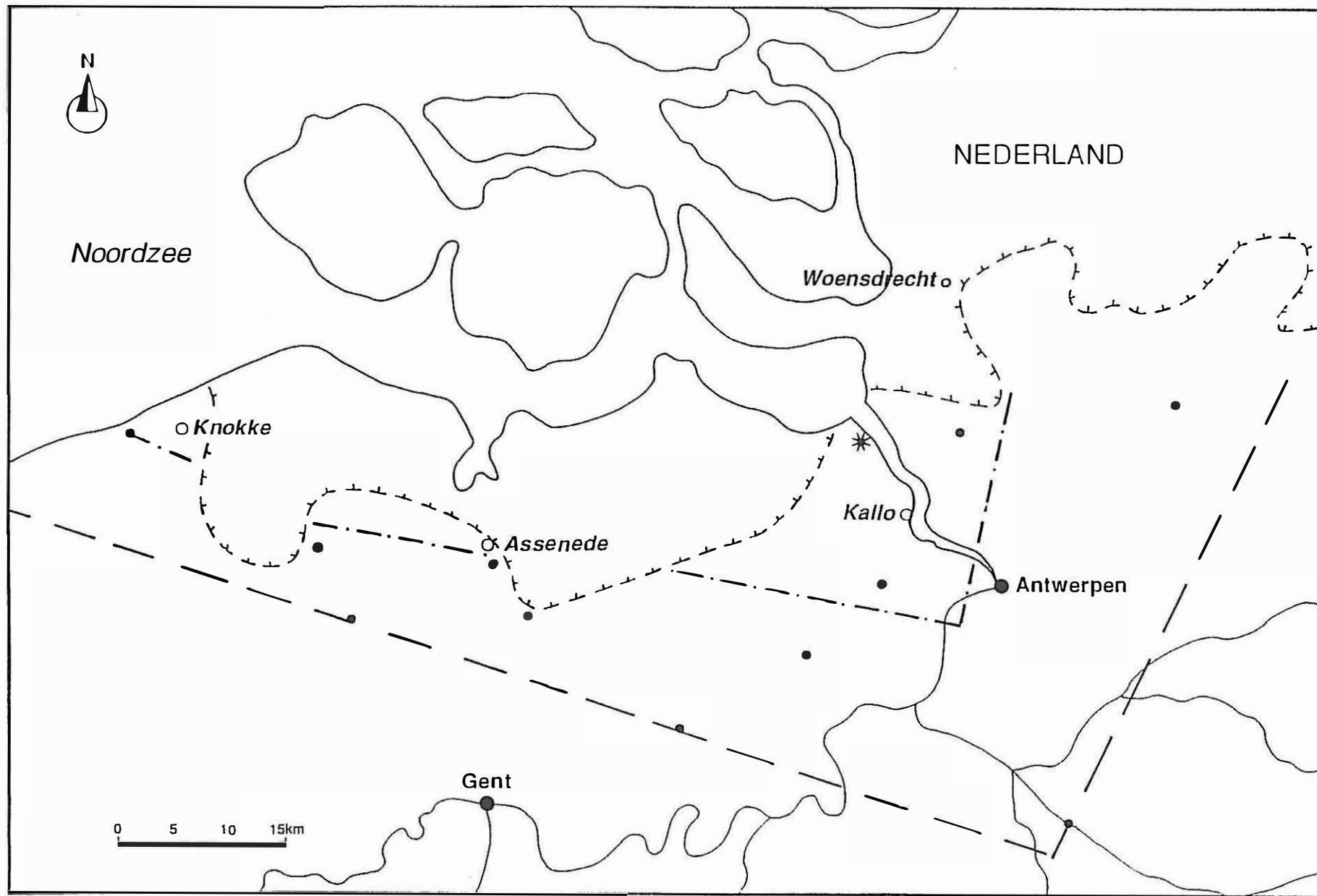
RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)

Figuur II.1.1. Afbakening van de gebieden Knokke, Sint-Laureins - Assenede, Sint-Niklaas - Beveren en van het studiegebied

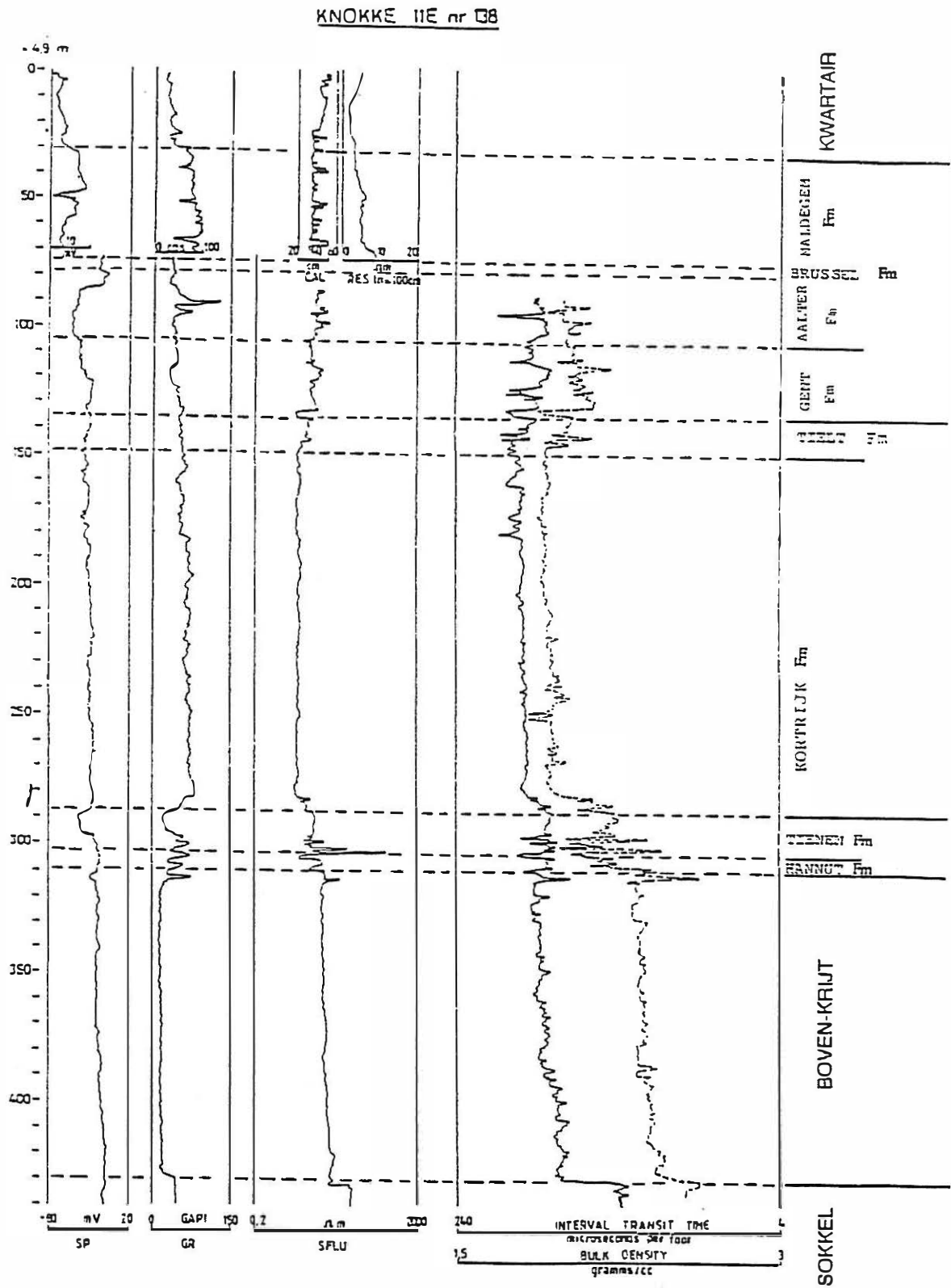


RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)

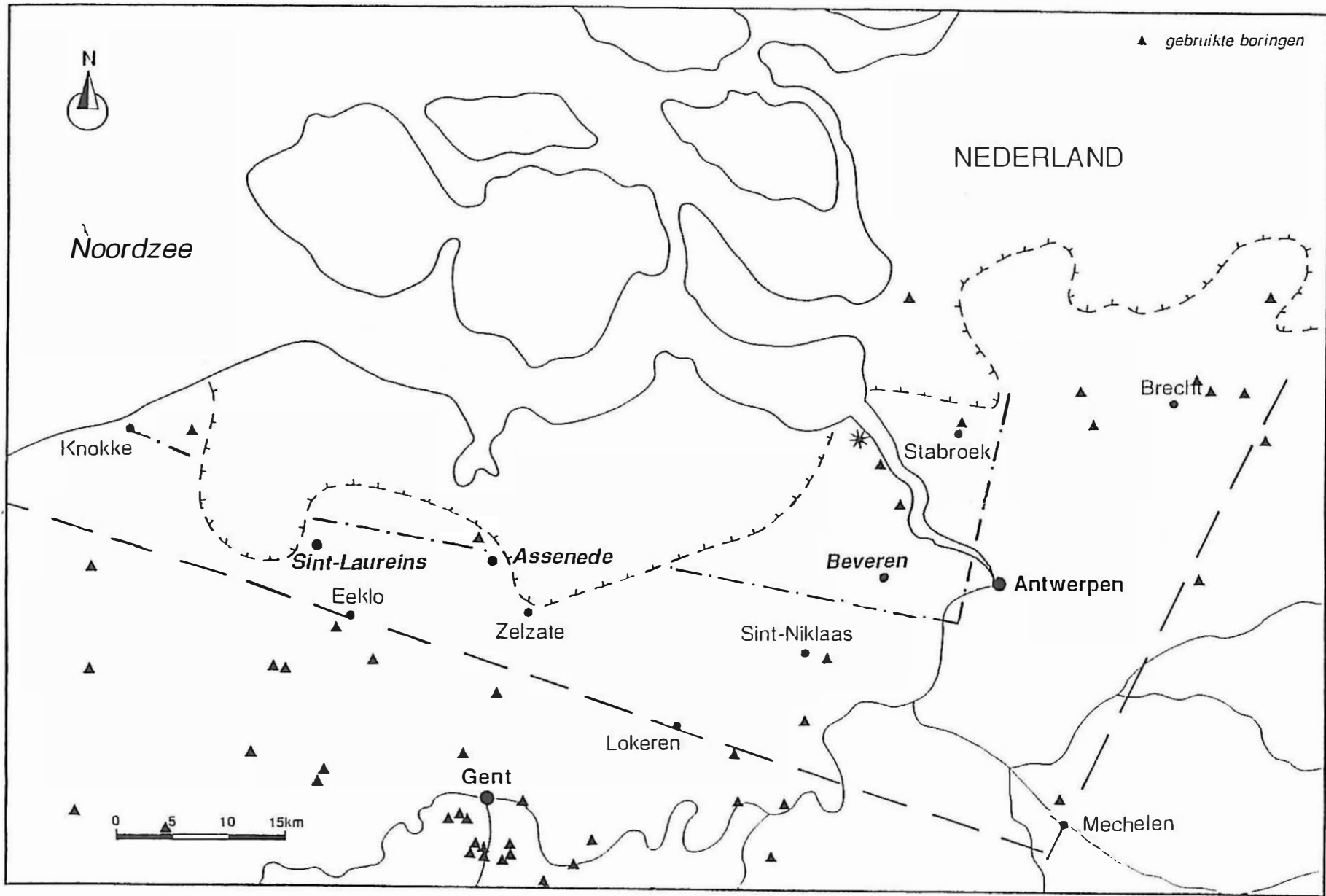
Figuur II.1.2. Geografie van de gebieden Knokke, Sint-Laureins - Assenede en Sint-Niklaas - Beveren



Figuur II.1.3. Ligging van de referentieboringen



Figuur II.1.4. De geofysische boorgatmeting van de referentiebooring te Knokke (uit LAGA & VANDENBERGHE, 1990)



Figuur II.1.5. Overzicht van de gebruikte puntgegevens

Plaats	X	Y	Z	Archief	TGO	Nr.
Pittem	70 440	188 940	+ 35,50	BGD		53W73
Merelbeke	105 480	188 200	+ 8,85	LTGH	86073	M15F1
Zwijnaarde	105 760	188 560	+ 7,13	LTGH	86073	B21F1
Merelbeke	105 460	188 140	+ 8,65	LTGH	86073	O14F1
Zwijnaarde	105 540	188 380	+ 6,86	LTGH	86073	Yd4
Zwijnaarde	105 460	188 680	+ 7,20	LTGH	86073	R15F1
Zwijnaarde	105 950	188 280	+ 7,96	LTGH	86073	G25F1
Zwijnaarde	106 130	188 040	+ 7,83	LTGH	86073	L30F1
Wieze	130 300	185 720	+ 10,00	BGD		71E116
Oosterzele	110 560	182 320	+ 57,00	BGD		70E237
Dendermonde	131 600	190 800	+ 5,00	BGD		56E231
Destelbergen	109 690	193 130	+ 4,50	LTGH	87095	SB
Oostkamp	70 700	203 000	+ 12,25	LTGH	88049	
Vlierzele	116 900	180 720	+ 40,00	BGD		71W251
Aalter	85 000	196 900	+ 20,00	BGD		54W84
Eke	99 320	184 620	+ 10,00	BGD		70W752
Gent	103 855	190 735	+ 10,47	BGD		55W1020
Gent	105 263	190 807	+ 10,00	BGD		55W1241
Melle	111 125	187 425	+ 12,00	BGD		70E183
Bavegem	115 430	180 931	+ 30,23	LTGH	89041	PB3
Dendermonde	127 369	190 475	+ 4,96	LTGH	91021	SB2
Dendermonde	127 458	190 948	+ 3,45	LTGH	91021	PB6
Wippelgem	105 385	203 240	+ 6,50	LTGH	92009	
Gent	104 867	190 696	+ 10,50	BGD		55W1021
Volkegem	99 040	169 180	+ 89,19	LTGH	92024	
Oostduinkerke	30 500	202 625	+ 7,00	BGD		35E142
Kortemark	56 775	190 400	+ 16,00	Desimpel		
Merelbeke	107 701	187 666	+ 10,00	LTGH	89061	
Torhout	58 300	197 550	+ 26,70	BGD		52E195
Nevele	91 440	195 165	+ 10,00	BGD		54E196
Wetteren	114 460	188 520	+ 5,00	LTGH	90004	P1
Wetteren	112 905	186 805	+ 15,00	LTGH	89009	
Tielt	78 490	188 422	+ 42,50	BGD		68E169
Knokke	78 776	226 370	+ 4,90	BGD		11E138
De Haan	54 582	216 649	+ 5,02	BGD		22W276
Brugge	69 380	214 080	+ 3,50	BGD		23W375
Zandvoorde	51 865	211 860	+ 2,50	BGD		22W279
Ursel	87 925	204 328	+ 31,82	BGD		39W212
Maldegem	86 825	205 875	+ 21,33	BGD		39W213
Assenede	107 615	215 180	+ 3,48	BGD		25E123
Rijkevorsel	175 610	227 356	+ 27,80	Distrigaz		DZH 14
Sint-Lenaarts	172 063	228 544	+ 23,60	Distrigaz		DZH 16
Wuustvezel	172 405	227 419	+ 25,70	Distrigaz		DZH 19
Wuustvezel	160 165	227 770	+ 25,00	BGD		15E298
Brasschaat	161 725	224 550	+ 24,61	BGD		15E267
Meer	177 378	237 303	+ 13,22	BGD		7E205
Meer	175 725	236 845	+ 15,87	BGD		7E195
Woensdrecht	145 000	237 000	+ 4,08	artikel: Tesch, 1912		
Zandhoven	169 920	211625	+ 10,30	BGD		29E144
Waarschoot	97 250	205 400	+ 8,00	BGD		39E48
Sint-Niklaas	136 110	204 060	+ 26,00	BGD		42W226

Tabel II.1.1 - Gegevens van de aangewende boringen

Plaats	X	Y	Z	Archief	TGO	Nr.
Hamme	133 390	198 820	+ 5,00	BGD		42W155
Zele	125 930	195 130	+ 27,00	BGD		56E6
Oostende	47 000	213 420	+ 0,00	BGD		21E129
Eeklo	93 880	208 225	+ 9,00	BGD		24E50
Doel	142 500	224 445	+ 8,00	BGD		14E118
Kallo	144 860	217 840	+ 2,00	BGD		27E148
Kruishoutem	90 600	177 350	+ 45,00	BGD		84E1362(I)
Erpe	123 050	179 700	+ 42,00	BGD		71E34
Mere	121 925	176 555	+ 21,00	BGD		71E202
Egem	70 150	190 150	+ 45,00	Groeve Ampe		
Meulebeke	77 100	182 000	+ 27,00	BGD		86E200
Oordegem	117 350	182 675	+ 46,00	BGD		71W33
Hooglede	62 015	188 145	+ 30,00	BGD		67E178
Ooigem	75 958	177 130	+ 19,00	BGD		83E407
Gent	105 220	198 550	+ 5,00	BGD		40W303
Gent	108 054	202 838	+ 5,00	BGD		40E170
Oostmalle	177 010	222 800	+ 25,00	Distrigaz		DZH 26

Tabel II.1.1 - vervolg

II.1.2 Gebied Knokke

Het gebied Knokke is gelegen op de topografische kaartbladen 5/2 (Het Zwin), 5/5 (Heist) en 5/6 (Westkapelle) van het Nationaal Geografisch Instituut. Het gebied wordt in het oosten begrensd door de Belgisch - Nederlandse grens, in het noordwesten door de Noordzeekust en in het zuidwesten door een lijn die ongeveer van Heist over Westkapelle naar Sluis loopt. Deze zone behoort volledig tot het gebied van de gemeente Knokke-Heist (Fig. II.1.2). De belangrijkste centra in en rond het gebied zijn Knokke, Heist, Westkapelle en Ramskapelle. Iets verderop bevindt zich Zeebrugge.

II.1.3 Gebied Sint-Laureins - Assenede

Het gebied Sint-Laureins - Assenede is gelegen op de topografische kaartbladen 5/8 (Sint-Margriete), 6/5 (Watervliet), 13/4 (Eeklo), 14/1 (Bassevelde) en 14/2 (Zelzate) van het Nationaal Geografisch Instituut. Het gebied Sint-Laureins - Assenede wordt in het noorden, het westen en het oosten begrensd door de Belgisch - Nederlandse grens en in het zuiden door een lijn die van Sint-Jan-in-Eremo naar Assenede loopt. Deze zone ligt op het grondgebied van de gemeenten Sint-Laureins en Assenede (Fig. II.1.2). De belangrijkste centra zijn Sint-Margriete, Waterland-Oudeman, Watervliet, Sint-Jan-in-Eremo, Boekhoute en Assenede.

II.1.4 Gebied Sint-Niklaas - Beveren

Het gebied Sint-Niklaas - Beveren is gelegen op de kaartbladen 7/2 (Noordhoek), 7/3 (Kalmthoutse Hoek), 7/5 (Kieldrecht), 7/6 (Lillo), 7/7 (Ekeren), 14/4 (Stekene), 15/1 (Sint-Gillis-Waas), 15/2 (Beveren) en 15/3 (Antwerpen) van het Nationaal Geografisch Instituut.

Het gebied wordt in het noorden en het westen begrensd door de Belgisch - Nederlandse grens, in het oosten door een lijn die van Hoevenen naar Hoboken loopt en in het zuiden door de lijn Stekene - Hoboken. Deze zone omvat gebied van de gemeenten Stekene, Sint-Gillis-Waas, Beveren, Zwijndrecht, Stabroek en Kapellen en van de stad Antwerpen (Fig. II.1.2). De belangrijkste centra zijn De Klinge, Meerdonk, Sint-Gillis-Waas, Kieldrecht, Verrebroek, Vrasene, Doel, Kallo, Melsele, Beveren, Zandvliet, Berendrecht, Lillo, Stabroek, Hoevenen, Zwijndrecht, Burcht en Hoboken.

II.2 PALEOZOÏSCHE SOKKEL

II.2.1 Algemeen

De Paleozoïsche Sokkel, behorend tot het Massief van Brabant, bestaat in de drie gebieden voornamelijk uit gesteenten uit het Siluur en in mindere mate uit het Ordovicium (DE VOS et al., 1993).

In het totale studiegebied komen er ook nog gesteenten uit het Cambrium, Devoon en Carboon voor. Een groot deel van de paleozoïsche sokkel bestaat uit leistenen, fylleten en schisten. In West- en Oost-Vlaanderen bestaat de sokkel hoofdzakelijk uit kwartsiet en leistenen. Naar het noordoosten toe komt het Massief van Brabant op steeds grotere diepte voor. De top van de sokkel vormt, omwille van de aanwezigheid van spleten, een watervoerende laag, waar in de gebieden Knokke, Sint-Laureins-Assenede en Sint-Niklaas-Beveren geen water uit wordt gewonnen.

II.2.2 Gebied Knokke

In het gebied Knokke bestaat de top van de sokkel uit gespleten leistenen, waarschijnlijk van Ordovicium/Siluurouderdom.

II.2.3 Gebied Sint-Laureins - Assenede

In het gebied Sint-Laureins - Assenede bestaat het Massief van Brabant waarschijnlijk uit gesteenten van Ordovicium/Siluurouderdom. Gegevens over het Massief van Brabant ontbreken.

II.2.4 Gebied Sint-Niklaas - Beveren

In het gebied Sint-Niklaas - Beveren bestaat de top van het Massief van Brabant ter hoogte van de boring Kallo uit grijze, harde gespleten fylleten (GULINCK, 1969). Uit de kaart van DE VOS et al. (1993) kan worden afgeleid dat de sokkelgesteenten in het gebied vooral tot het Ordovicium en/of het Siluur behoren. In het noordoosten van het gebied komen ook Carboon- en Devoongesteenten voor (LEGRAND, 1968).

II.3 KRIJT

II.3.1 Algemeen

De mesozoïsche gesteenten in het studiegebied zijn van Boven-Krijt ouderdom (Santoniaan, Campaniaan en Maastrichtiaan). Voor het grootste gedeelte bestaan ze uit krijt en andere carbonaatrijke sedimenten (LOUWYE, 1992).

Er komt een uitgebreid spletnet in voor. Naar het noorden neemt de diepte van de top van het Krijt toe en neemt de dichtheid van het spletnet en het watervoerend vermogen van de formaties af (LEBBE et al., 1987).

De hydrogeologie van het Krijt varieert sterk van streek tot streek. De afzettingen van het Boven-Krijt in het studiegebied hebben een kleine doorlatendheid en worden, samen met de basis van de Landen Groep, als één slecht-doorlatende laag beschouwd (LEBBE et al., 1987).

Naar het oosten toe vormt het bovenste gedeelte van het Krijt (Maastrichtiaan en Campaniaan), samen met de Haine-Haspengouw Groep en de Formatie van Heers een watervoerende laag. Wegens het zoutgehalte komt de laag niet in aanmerking voor drinkwatervoorziening.

In figuur II.3.1 wordt de lithologische opbouw van het Krijt in de drie gebieden geïllustreerd. Ter hoogte van Assenede zijn de gegevens bekomen door extrapolatie.

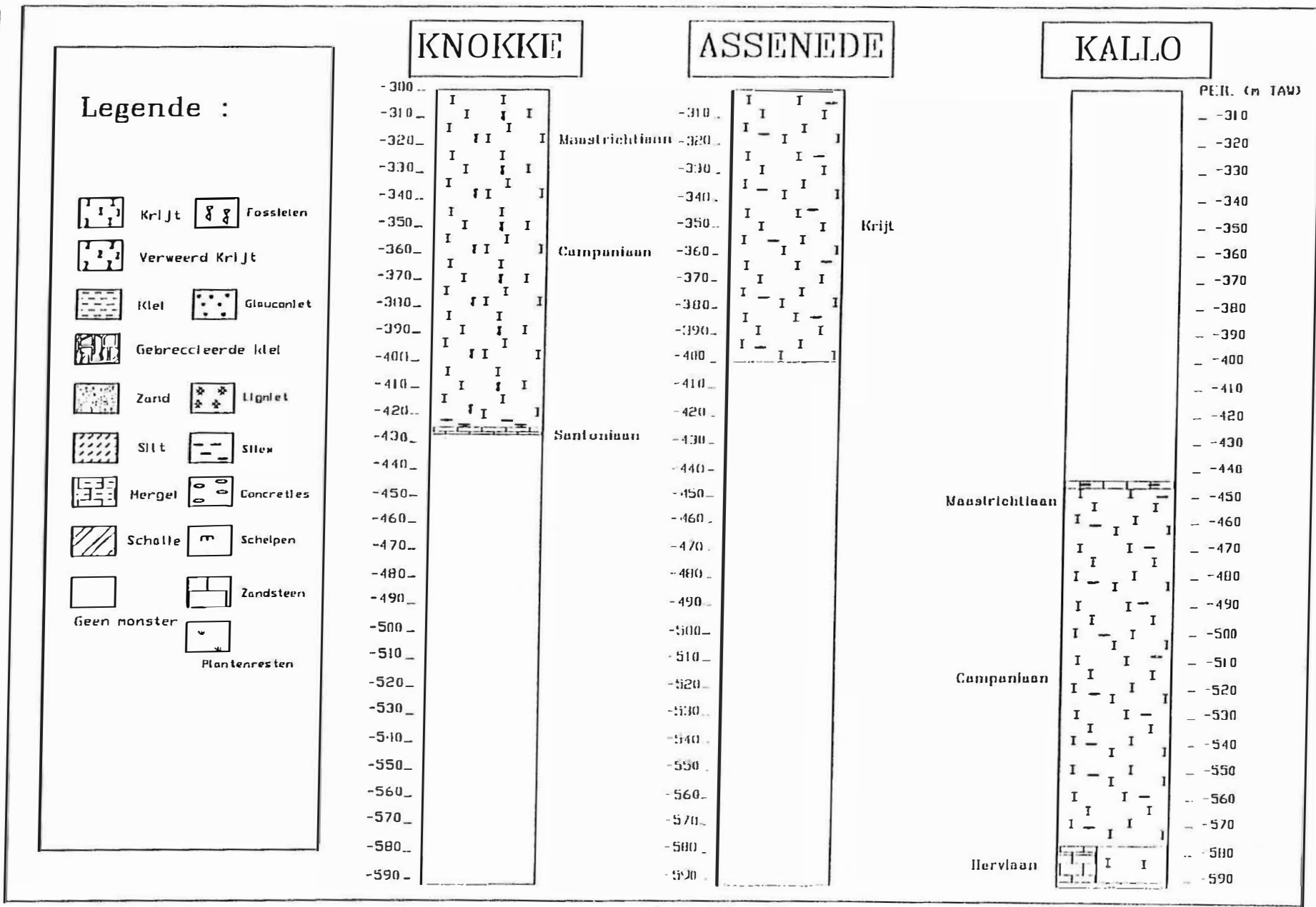
II.3.2 Gebied Knokke

In de referentieboring te Knokke bestaat het Krijt uit een relatief homogene laag fijnkorrelige witte kalk met fossielresten en zwartbruine pyrietrijke lagen en plekken. Meerdere dunne verharde horizonten komen verspreid voor en in zijn geheel wordt het Krijt harder met de diepte. De gesteenten zijn van Campaniaanouderdom, de top van Vroeg-Maastrichtiaanouderdom (LAGA & VANDENBERGHE, 1990).

De basis bestaat uit gesteenten van Laat-Santoniaan ouderdom. Ze vangt aan met een groene gecementeerde glauconiethoudende zandsteen met kleine zwarte knollen en visresten. Het sediment bevat kleine zwarte fosfaathoudende kiezelsteentjes en glauconiet (LAGA & VANDENBERGHE, 1990).

Het Krijt in de boring Knokke is ongeveer 120 m dik.

In het gebied Knokke is het Krijt waarschijnlijk te weinig doorlatend om grondwaterwinning toe te laten (VERMOORTELT et al., 1992). Bovendien heeft het grondwater wellicht een relatief groot zoutgehalte.



Figuur H.3.1. Lithologie van het Krijt in Knokke, Assenede en Kallo

II.3.3 Gebied Sint-Laureins - Assenede

Volgens LEGRAND (1968) is het Krijt in het gebied Sint-Laureins - Assenede ongeveer 75 m dik. In dit gebied werd het niet aangeboord. Men kan er aannemen dat de lithologie ongeveer dezelfde is als deze te Knokke en dat de doorlatendheid klein is. Het grondwater heeft waarschijnlijk een relatief hoog zoutgehalte.

II.3.4 Gebied Sint-Niklaas - Beveren

In de referentieboringen Kallo en Woensdrecht bestaan de gesteenten van het Campaniaan uit wit grijsachtig krijt en deze van het Maastrichtiaan uit tufkrijt met soms harde banken. Aan de basis komt krijthoudend mergel voor. Op de grens tussen de Formatie van Heers (Tertiair) en het Krijt bevinden zich vuurstenen. In Kallo is het Krijt 146 m, in Woensdrecht 238 m dik.

In de boring te Sint-Niklaas kan eenzelfde opeenvolging worden vastgesteld en is het Krijt 101 m dik. In Meer is het Krijt 352 m dik en bestaan de Krijtgesteenten van het Maastrichtiaan uit poreus krijt (VANDENBERGHE et al., 1988).

In het gebied Sint-Niklaas - Beveren zijn geen gegevens over de doorlatendheid van het Krijt bekend. Meer naar het oosten toe, in Meer, bestaat de top van het Maastrichtiaan uit poreus krijt en vormt een watervoerende laag. De onderliggende gesteenten hebben een lagere porositeit (VANDENBERGHE et al., 1988). Het grondwater uit het Krijt in het gebied Sint-Niklaas - Beveren heeft waarschijnlijk een relatief hoog zoutgehalte.

II.4 TERTIAIR

II.4.1 Algemeen

De opbouw van het Tertiair werd afgeleid uit diepe boringen. Daarnaast werd beroep gedaan op een overzicht van het Belgische Tertiair (VANDENBERGHE et al. (in druk)). Hierin wordt naast de lithologische en stratigrafische kenmerken, de verbreiding van de verschillende eenheden geresumeerd aan de hand van verschillende doorsneden.

II.4.2 Haine-Haspengouw Groep

In figuur II.4.1 wordt de geologische opbouw van het Paleoceen (Haine-Haspengouw Groep, Formatie van Heers en Landen Groep) in de drie gebieden voorgesteld. Ter hoogte van Assenede is deze informatie bekomen door extrapolatie.

II.4.2.1 Formatie van Houthem

De Formatie van Houthem komt enkel in het noordoosten van het studiegebied, ten noorden van Antwerpen, voor. De formatie vormt er de basis van het Tertiair en bestaat uit poreuze mariene Krijtgesteenten, waarvan de lithologie dezelfde is als deze van het onderliggende Maastrichtiaan (VANDENBERGHE et al., in druk). Aan het contact met het onderliggende Maastrichtiaan wordt dikwijls een harde laag aangetroffen (MARÉCHAL & LAGA, 1988).

Ter hoogte van Meer bestaat de Formatie van Houthem (dikte: 26 m) uit zachte lichtgrijze tot lichtgele overwegend grofkorrelige poreuze kalksteen met harde schelpenbanken en kalksteenknoollen (VANDENBERGHE et al., 1988).

a. Gebied Knokke

In het gebied Knokke komt de Formatie van Houthem niet voor.

b. Gebied Sint-Laureins - Assenede

In het gebied Sint-Laureins - Assenede komt de Formatie van Houthem eveneens niet voor.

c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren

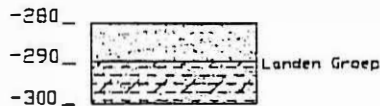
Het is niet duidelijk of de Formatie van Houthem in delen van het gebied Sint-Niklaas - Beveren voorkomt.

KNOKKE

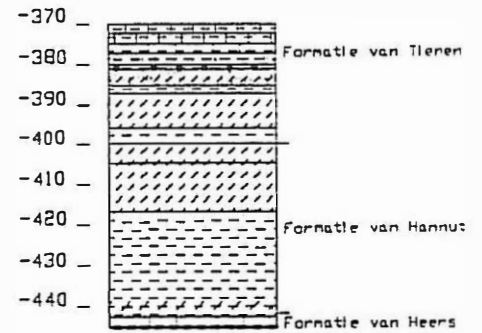
ASSENEDE

KALLO

Paleoceen



PEIL (m TAW)



Legende :

- | | | | |
|--|------------------|--|------------|
| | Krijt | | Fossielen |
| | Verweerd Krijt | | |
| | Klei | | Glauconiet |
| | Gebrekeerde klei | | |
| | Zand | | Lidiet |
| | Silt | | Slien |
| | Mergel | | Concreties |
| | Schelle | | Schelpen |
| | Geen monster | | Zandsteen |
| | | | Kantsteen |

Figuur II.4.1. Lithologie van het Paleoceen in Knokke, Assenede en Kallo

II.4.3 Formatie van Heers

II.4.3.1 Algemeen

De Formatie van Heers bestaat uit een witte, zeer kalkhoudende en licht glauconiethoudende mergel (Lid van Gelinden) met aan de basis groene glauconiethoudende zanden (Lid van Orp), boven het basisgrind (DE GEYTER, 1980).

In het studiegebied vormt de Formatie van Heers een slecht-doorlatende laag.

II.4.3.2 Gebied Knokke

In het gebied Knokke komt de Formatie van Heers niet voor.

II.4.3.3 Gebied Sint-Laureins - Assenede

Ook in het gebied Sint-Laureins - Assenede komt de Formatie van Heers niet voor.

II.4.3.4 Gebied Sint-Niklaas - Beveren

De Formatie van Heers wordt aangetroffen in de referentieboringen Kallo en Woensdrecht en in talrijke andere boringen in het oosten van het studiegebied.

In Kallo bestaat de Formatie van Heers uit fijnzandige mergel. Ter hoogte van Woensdrecht vangt ze aan met silexkeien, waarboven mergel voorkomt. De dikte varieert van ongeveer 2 m in Kallo tot 17,50 m in Woensdrecht.

II.4.4 Landen Groep

II.4.4.1 Algemeen

De isohypsen van de basis van de Landen Groep zijn voorgesteld op figuur II.4.2, de isopachen op figuur II.4.3 (licht gewijzigd naar DE GEYTER, 1980). Omdat de Formatie van Kortrijk onderaan door de Landen Groep begrensd wordt, moet voldoende aandacht aan de lithologie worden geschonken. Algemeen vormt het bovenste gedeelte van de Landen Groep een water-voerende laag, terwijl het onderste gedeelte als slecht-doorlatend wordt beschouwd.

II.4.4.2 Formatie van Hannut

De Formatie van Hannut wordt in de ondergrond van het grootste deel van Noord-België aangetroffen. Het is een mariene eenheid die bestaat uit klei, zandige klei en silt, kiezelrijke kalk- en siltsteen en glauconiëtrijke kiezelgesteenten. De dikte varieert van meer dan 100 m in de Kempen tot 20-40 m in NW-België. In het noorden van West-Vlaanderen (Oostende, Knokke) vermindert het belang van deze eenheid (MARÉCHAL & LAGA, 1988). De formatie wordt ingedeeld in verschillende leden; alleen de in het studiegebied voorkomende leden worden hier vermeld. Het gaat om het kleiige Lid van Waterschei, het siltige Lid van Halen en het zandige Lid van Grandglise.

De onderste eenheid, de klei van het Lid van Waterschei wordt enkel aangetroffen in het oosten van het studiegebied. De silt van het Lid van Halen komt in het volledige studiegebied voor. Het zand van het Lid van Grandglise (homogeen glauconiëthoudend fijn marien zand) bedekt in het grootste deel van het Belgische Bekken de fijnkorrelige mariene basiseenheden maar komt in het noordwesten van België niet voor. In het studiegebied treft men het enkel ten oosten van het Gentse aan terwijl het ten noorden van het Boomse eveneens uitwigt (VANDENBERGHE et al., in druk).

a. *Gebied Knokke*

In het gebied Knokke bestaat de Formatie van Hannut uit grijze zandige of siltige klei en kleiig zand (Lid van Halen) (DE GEYTER, 1980; VANDENBERGHE et al., in druk). In de referentieboring te Knokke wordt maar een heel klein deel van de Landenafzettingen tot de Formatie van Hannut gerekend (3 m dik). Het is een licht gekleurd kleiig fijn zand met laminae van zand en klei aan de basis (LAGA & VANDENBERGHE, 1990).

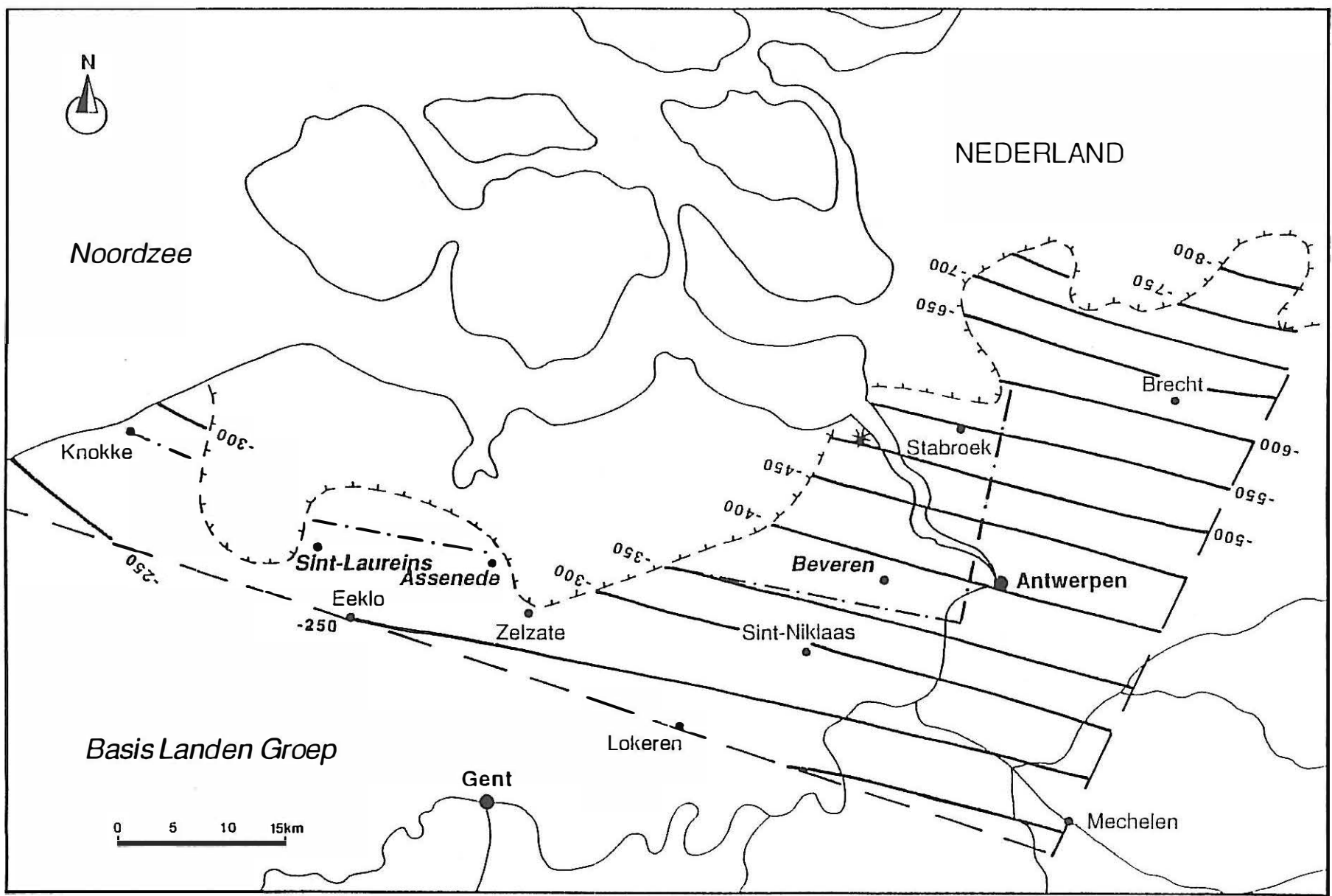
b. *Gebied Sint-Laureins - Assenede*

In dit gebied zijn geen precieze gegevens over de Formatie van Hannut beschikbaar.

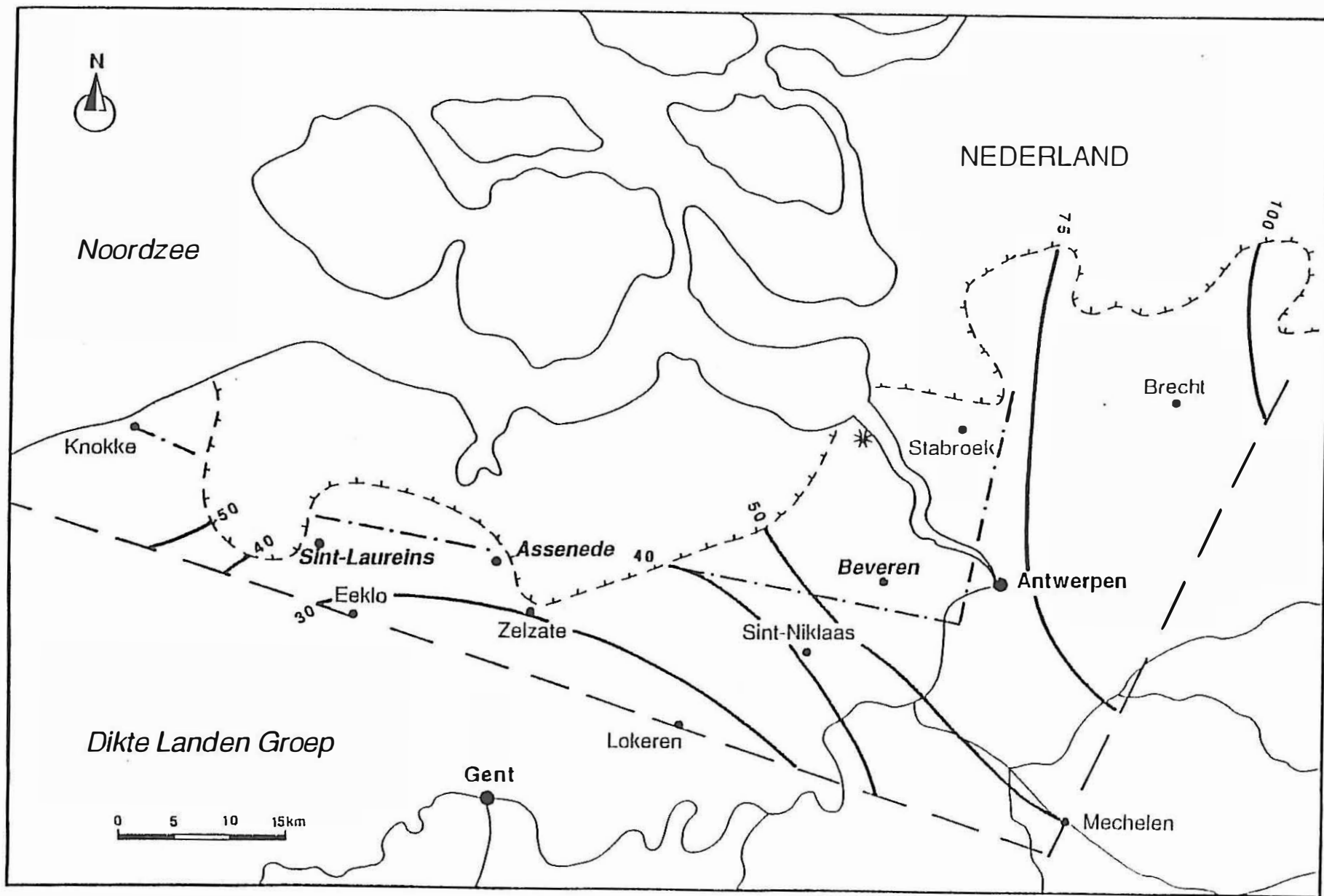
c. *Gebied Sint-Niklaas - Beveren*

In dit gebied wordt de basis van de Formatie van Hannut gevormd door een homogene kleiige afzetting (Lid van Waterschei, kalkhoudende en silthoudende klei). Hoger in de stratigrafische kolom neemt het belang van de grove terrigene componenten geleidelijk toe en wordt het Lid van Halen (kleiige silt) aangetroffen (DE GEYTER, 1980). In Kallo is de Formatie van Hannut 44 m dik.

RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)



Figuur H.1.2. Isohypsen van de basis van de Landen Groep (licht gewijzigd naar DE GLEYTER, 1980)



RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)

Figuur II.4.3. Isopachen van de Landen Groep (licht gewijzigd naar DE GEYTER, 1980)

In Woensdrecht bestaat de Formatie van Hannut uit 10 m klei, gevolgd door 26 m fijn zand dat naar boven toe overgaat in zandige klei.

II.4.4.3 Formatie van Tienen

De fluvio-lagunaire Formatie van Tienen komt in een gedeelte van NO-België en in het noorden van de provincies West- en Oost-Vlaanderen voor (MARÉCHAL & LAGA, 1980). In het studiegebied bestaat de Formatie van Tienen enkel uit het Lid van Knokke.

Het Lid van Knokke is een overwegend lagunaire afzetting en bestaat uit zwarte lignietrijke klei, grijsgroen siltig zand en schelpenkalksteen. Deze eenheid wordt aangetroffen in het noorden van de provincies West- en Oost-Vlaanderen en in het zuiden van Nederland; de zuidelijke begrenzing is niet precies gekend. De maximale dikte bedraagt ongeveer 26 m te Oostende (MARÉCHAL & LAGA, 1988).

a. Gebied Knokke

In het westen vormt het Lid van Knokke een lagunaire afzetting, bestaande uit een complex van ligniethoudende zanden en kleien met fossiele mollusken (VANDENBERGHE et al., in druk). In de boring te Knokke bestaat het Lid van Knokke uit siltige klei, fijn kleiig zand, schelpenfragmenten en een compacte schelpenbank met erboven litorale zandafzettingen (LAGA & VANDENBERGHE, 1990). Te Knokke is de Formatie van Tienen 20 m dik.

b. Gebied Sint-Laureins - Assenede

In het gebied Sint-Laureins - Assenede werd de Formatie van Tienen niet aangeboord. Men mag veronderstellen dat deze ook hier, met een gelijkaardige lithologie als te Knokke, voorkomt.

c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren

In de boring te Kallo heeft de 21 m dikke Formatie van Tienen een complexe samenstelling (GULINCK, 1967). Ze bestaat uit een opeenvolging van zwarte ligniteuze klei, schelpenrijke kalksteen, fijn zand, silteus zand, een complex van mergel-klei-zand, zeer fijn gelaagd silt en gebioturbeerde silt. De Formatie van Tienen is er zeer goed ontwikkeld (GULINCK, 1969). In Woensdrecht is ze 30 m dik. Ze bestaat daar uit 16 m grijze klei en 14 m lagen fijn humeus zand, afgewisseld met zandige klei en ligniet.

II.4.5 Ieper Groep

II.4.5.1 Formatie van Kortrijk

In figuur II.4.4 wordt de lithologische opbouw van de Formatie van Kortrijk in de gebieden Knokke, Sint-Laureins - Assende en Sint-Niklaas - Beveren voorgesteld. De gegevens ter hoogte van Assenede zijn geïnterpoleerd.

De Formatie van Kortrijk is van onderen naar boven opgebouwd uit het Lid van Mont-Héribu, het Lid van Saint-Maur, het Lid van Moen en het Lid van Aalbeke. Voor de algemene lithologische kenmerken van de verschillende leden wordt verwezen naar deel I.1.2.

De afzettingen van het Lid van Saint-Maur, die een groot deel van het bekken in België innemen en op sommige plaatsen meer dan 100 m dik zijn, vertonen een merkwaardig homogeen karakter. De afzettingen van het Lid van Moen zijn heterogeen. Ze worden gekenmerkt door een fijne horizontale laminatie, dikwijls onduidelijk of verstoord door bioturbatie. Regelmatig komen schelpen voor ofwel verspreid in het sediment ofwel geconcentreerd in dunne laagjes. De afzettingen van het Lid van Aalbeke zijn zeer homogeen, fijngelaagd of compact (GEETS, 1988).

Over de verticale doorlatendheid van de Formatie van Kortrijk zijn geen precieze waarden bekend. Het Lid van Saint-Maur en het Lid van Aalbeke zijn zeer slecht-doorlatend. De doorlatendheid van het Lid van Moen varieert naargelang van de lithologische samenstelling en neemt toe naar het oosten. Ook doorheen een zware klei als deze van de Formatie van Kortrijk sijpelt er, weliswaar zeer traag, grondwater. De in een mathematisch model veronderstelde doorlatendheid van de Formatie van Kortrijk in West- en Oost-Vlaanderen bedraagt $7,3 \cdot 10^{-11}$ m/s (LEBBE et al., 1987).

De isohypsen van de basis en de top van de Formatie van Kortrijk zijn voorgesteld respectievelijk op de figuren II.4.5 en II.4.6; de isopachen op figuur II.4.7. De isopachen van het Lid van Saint-Maur en van het Lid van Moen zijn voorgesteld op de figuren II.4.8 en II.4.9. De isohypsen van de basis van het Lid van Moen en van de basis van het Lid van Aalbeke zijn voorgesteld respectievelijk op figuur II.4.10 en II.4.11.

a. *Gebied Knokke*

In het gebied Knokke bestaat het grootste gedeelte van de Formatie van Kortrijk uit homogene groengrijze zware klei met enkele zeldzame siltige vlekjes of dunne siltlaagjes. Pyriet is eveneens aanwezig. Opvallend is het voorkomen van verscheidene horizonten met breccieuze klei. Soms komt deze voor aan kleine breuken (LAGA & VANDENBERGHE, 1990).

De Formatie van Kortrijk vangt in de omgeving van Knokke aan met een vier meter dikke heterogene zandige klei (Lid van Mont-Héribu).

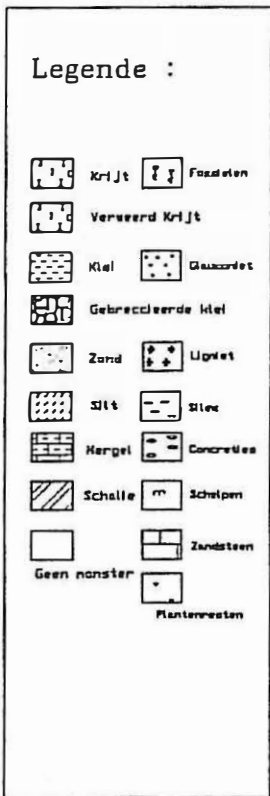
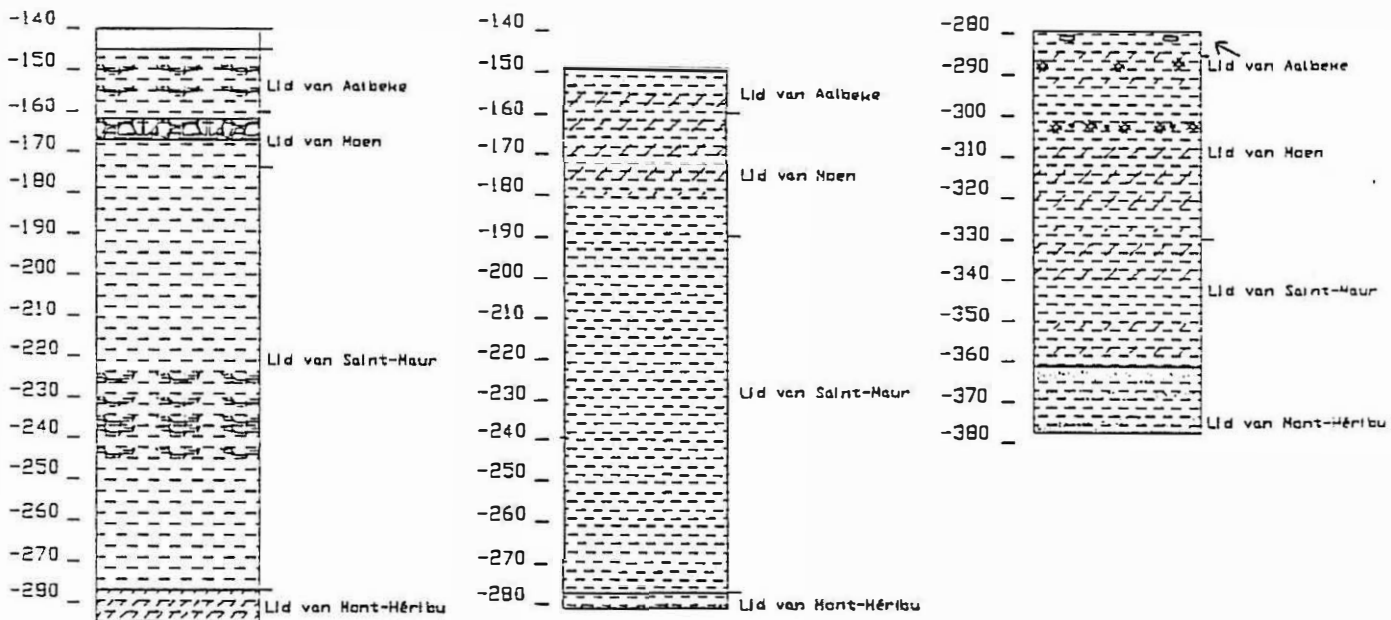
Op het siltige Lid van Mont-Héribu volgt een homogene kleilaag van meer dan 100 m dikte. Alhoewel het in dit gebied uiterst moeilijk is de bovenste drie leden van de Formatie van Kortrijk te onderscheiden, rekent men deze kleilaag, op basis van sedimentologische argumenten, tot het Lid van Saint-Maur (GEETS, 1988). Het is grotendeels een blauwgrijze zeer fijn-

KNOKKE

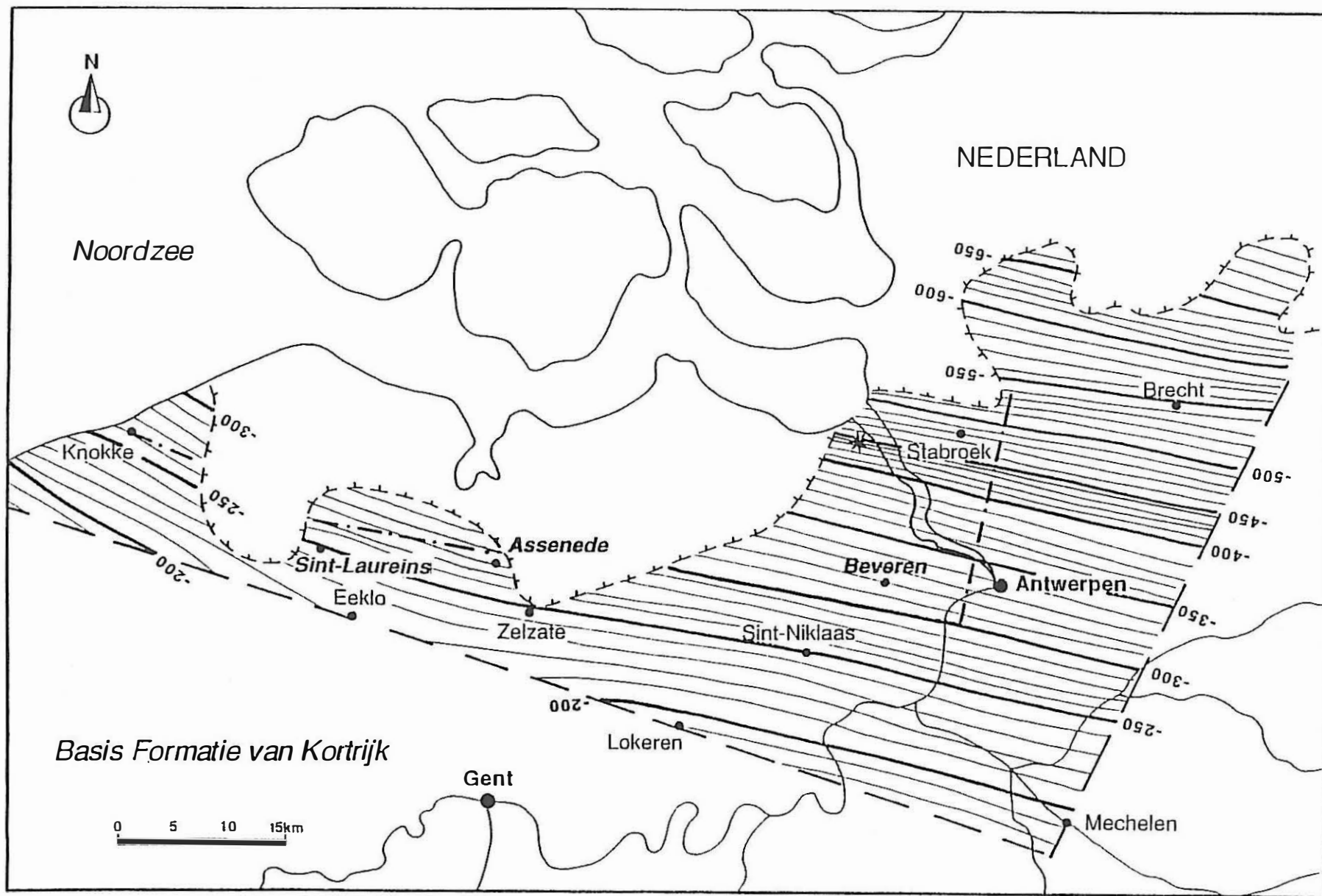
ASSENEDE

KALLO

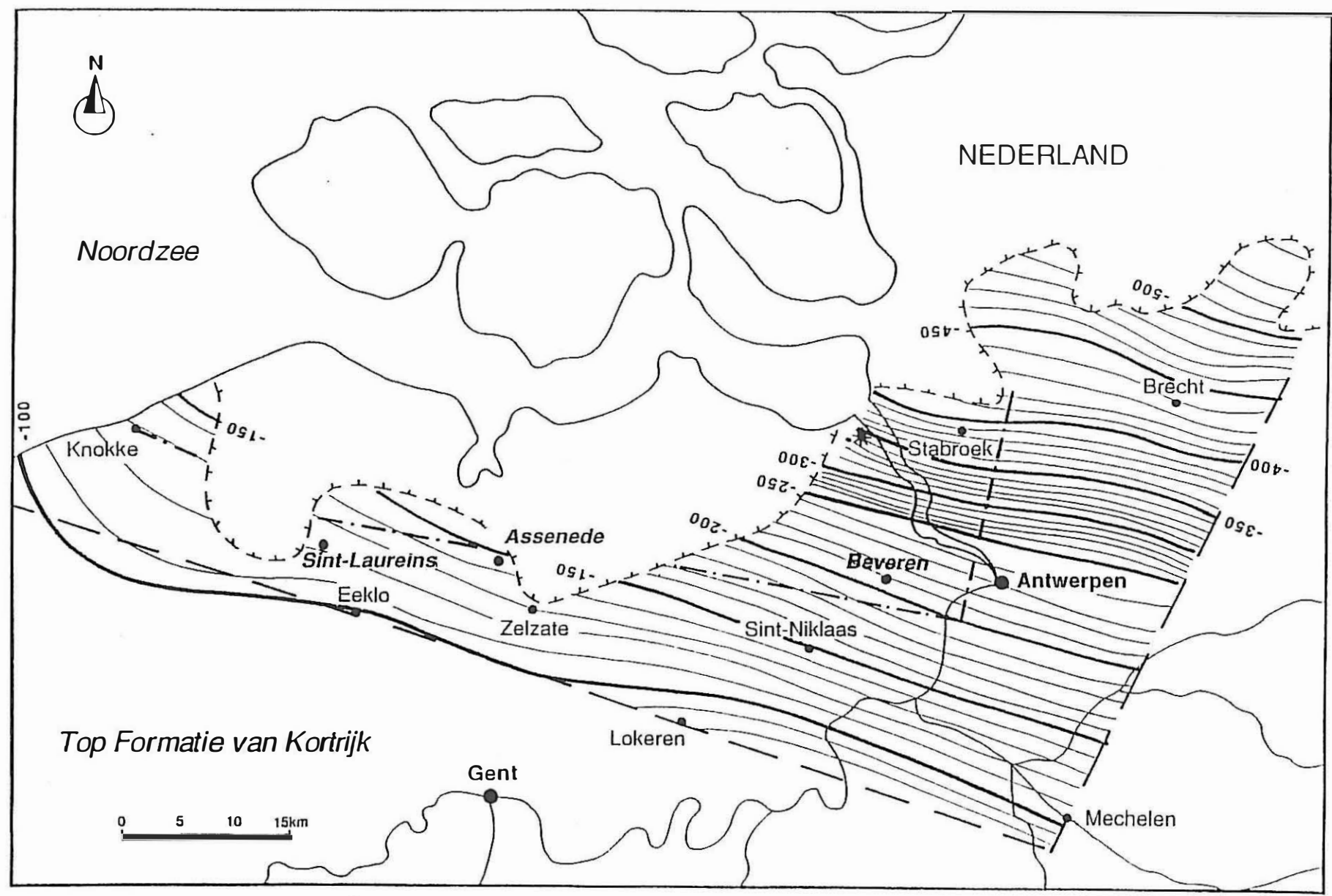
Formatie van Kortrijk



Figuur II.4.4. Lithologie van de Formatie van Kortrijk in Knokke, Assenede en Kallo

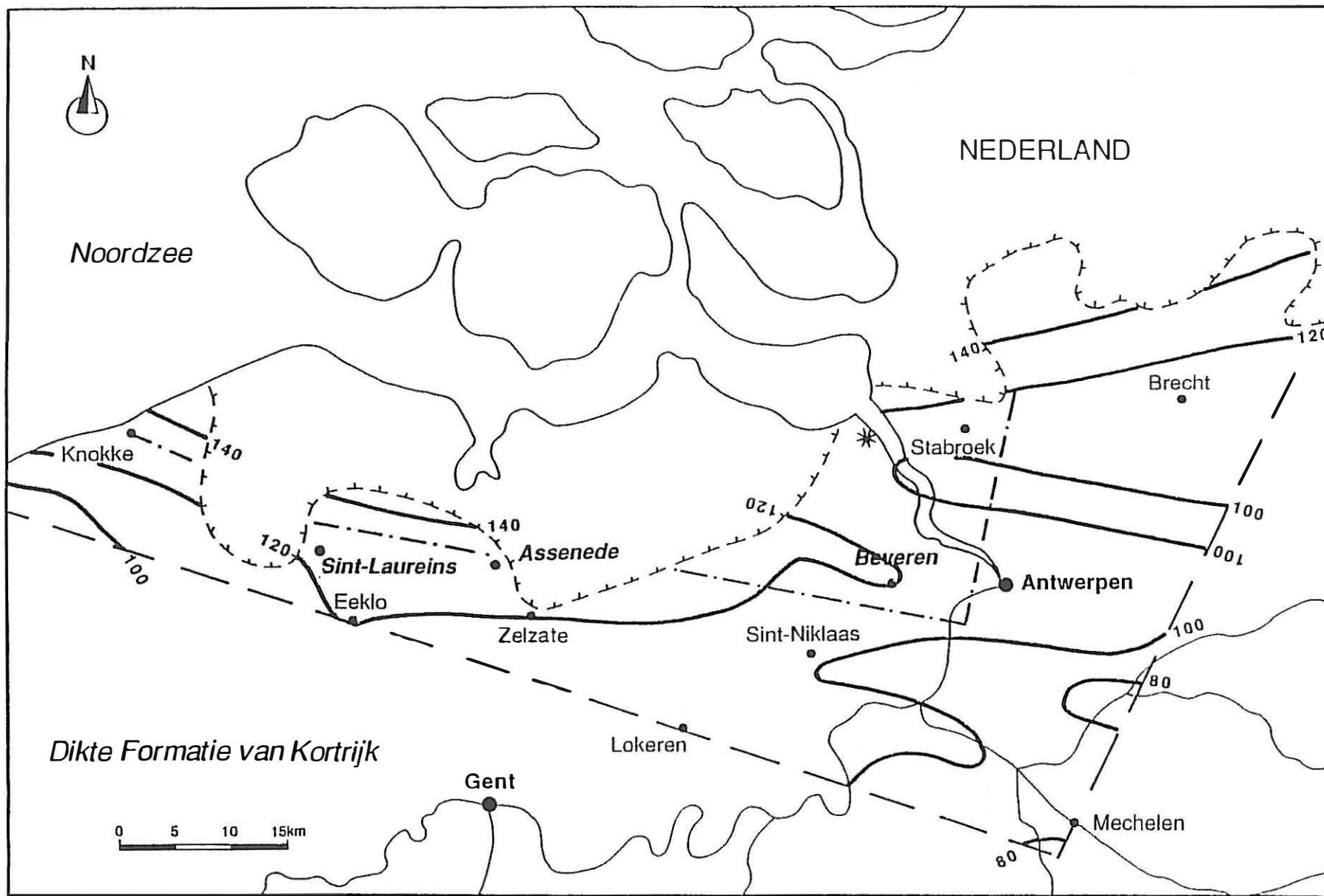


Figuur II.4.5. Isohypsens van de basis van de Formatie van Kortrijk



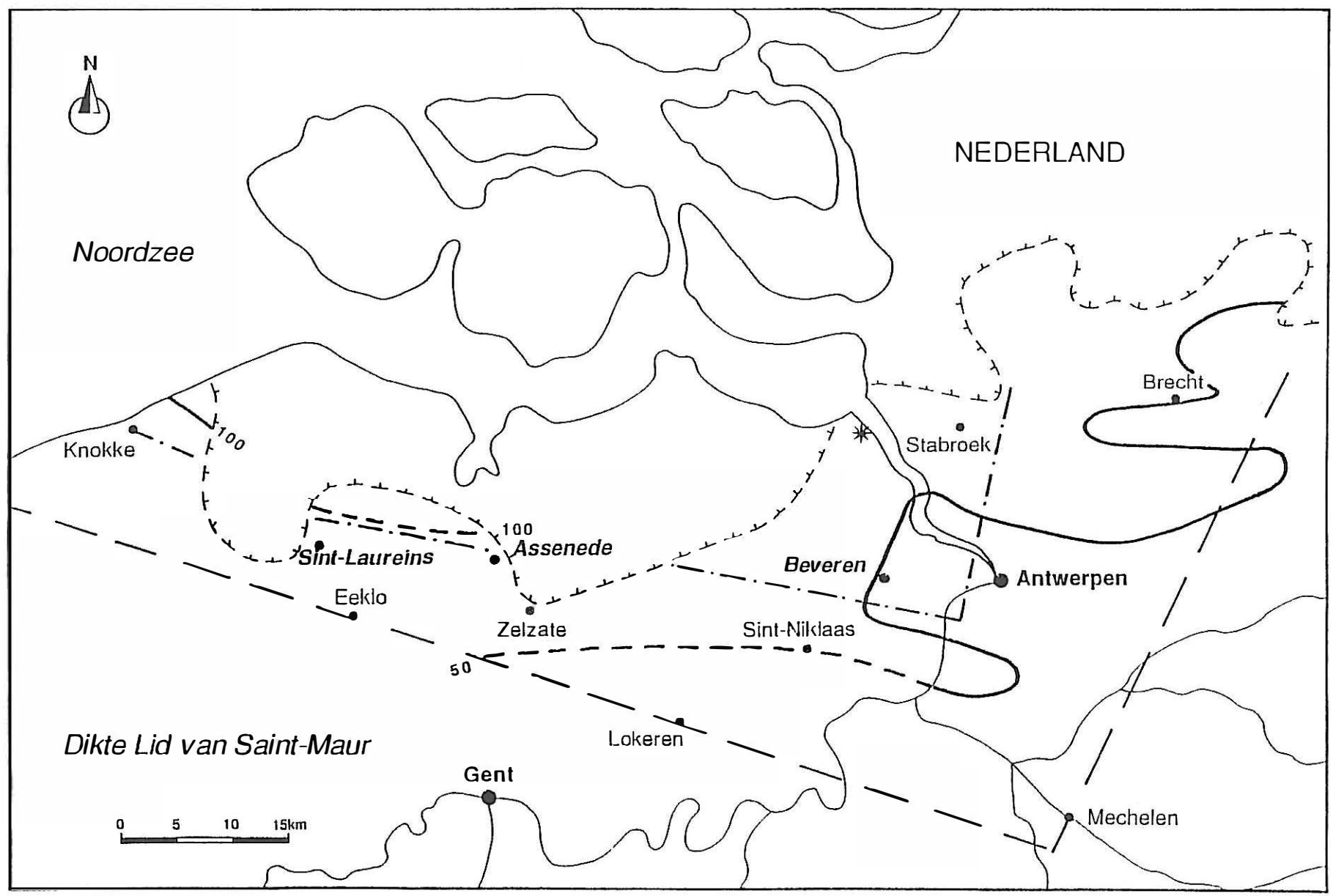
RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)

Figuur 11.1.6. Isohypsen van de top van de Formatie van Kortrijk

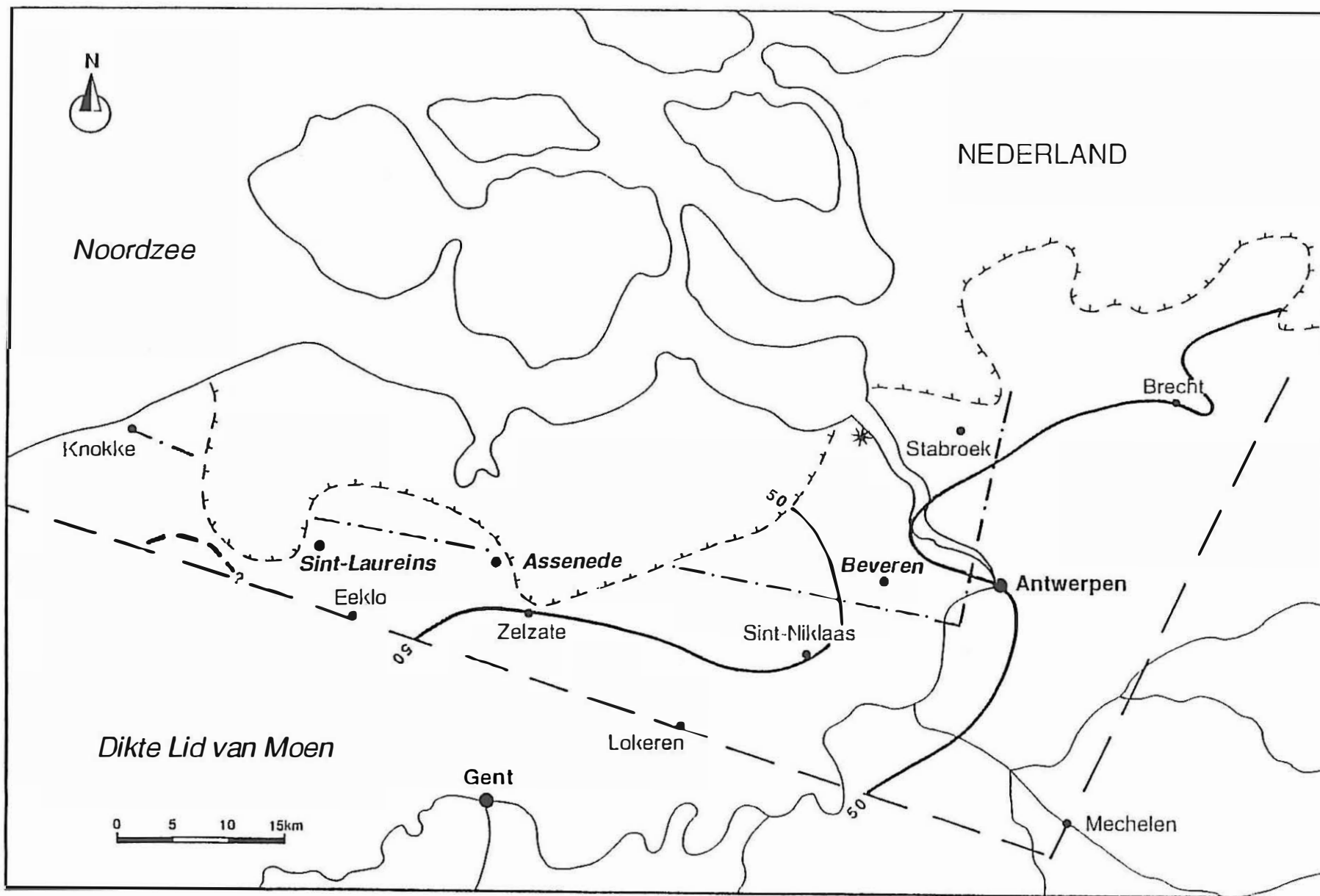


Figuur II.4.7. Isopachen van de Formatie van Kortrijk

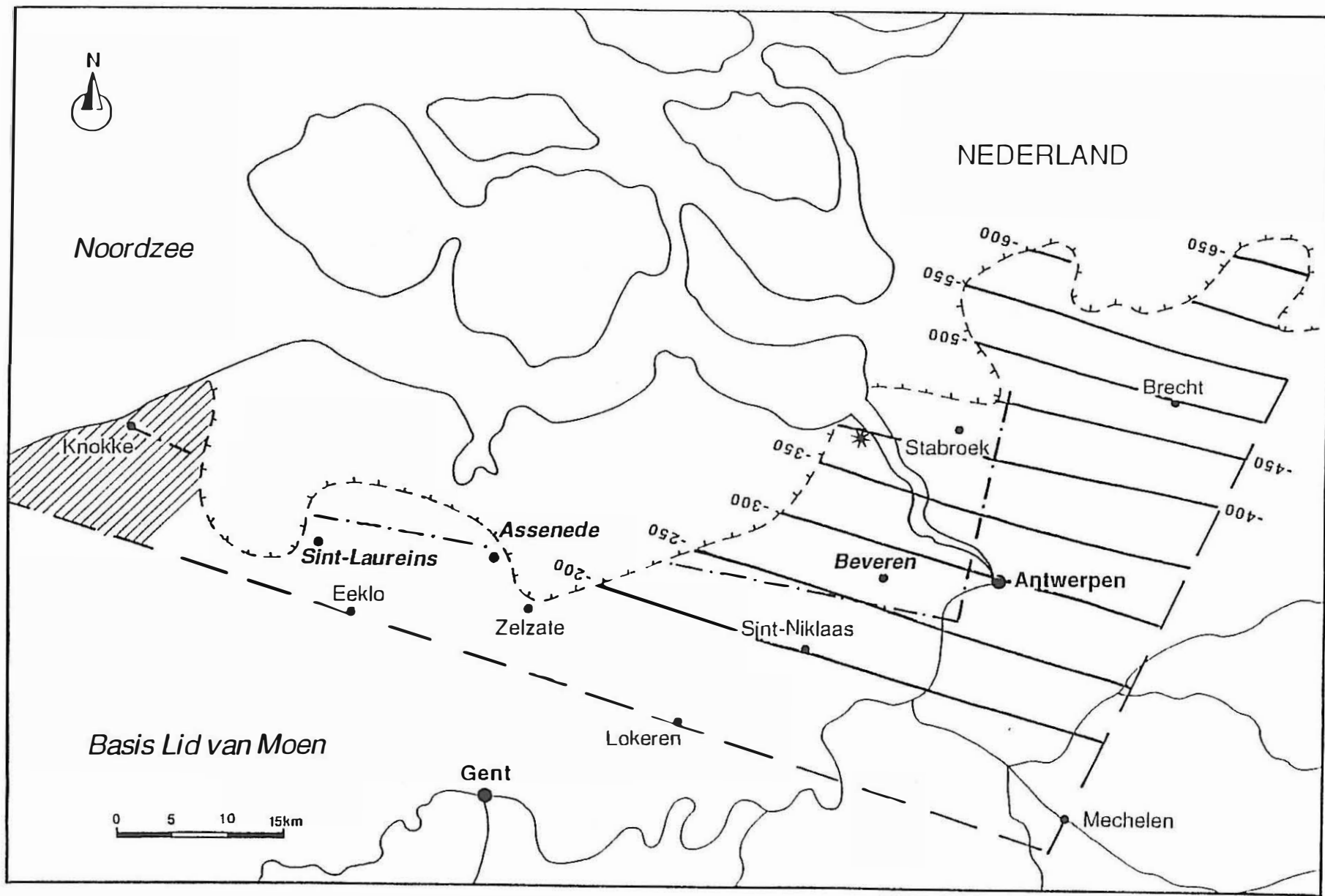
RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)



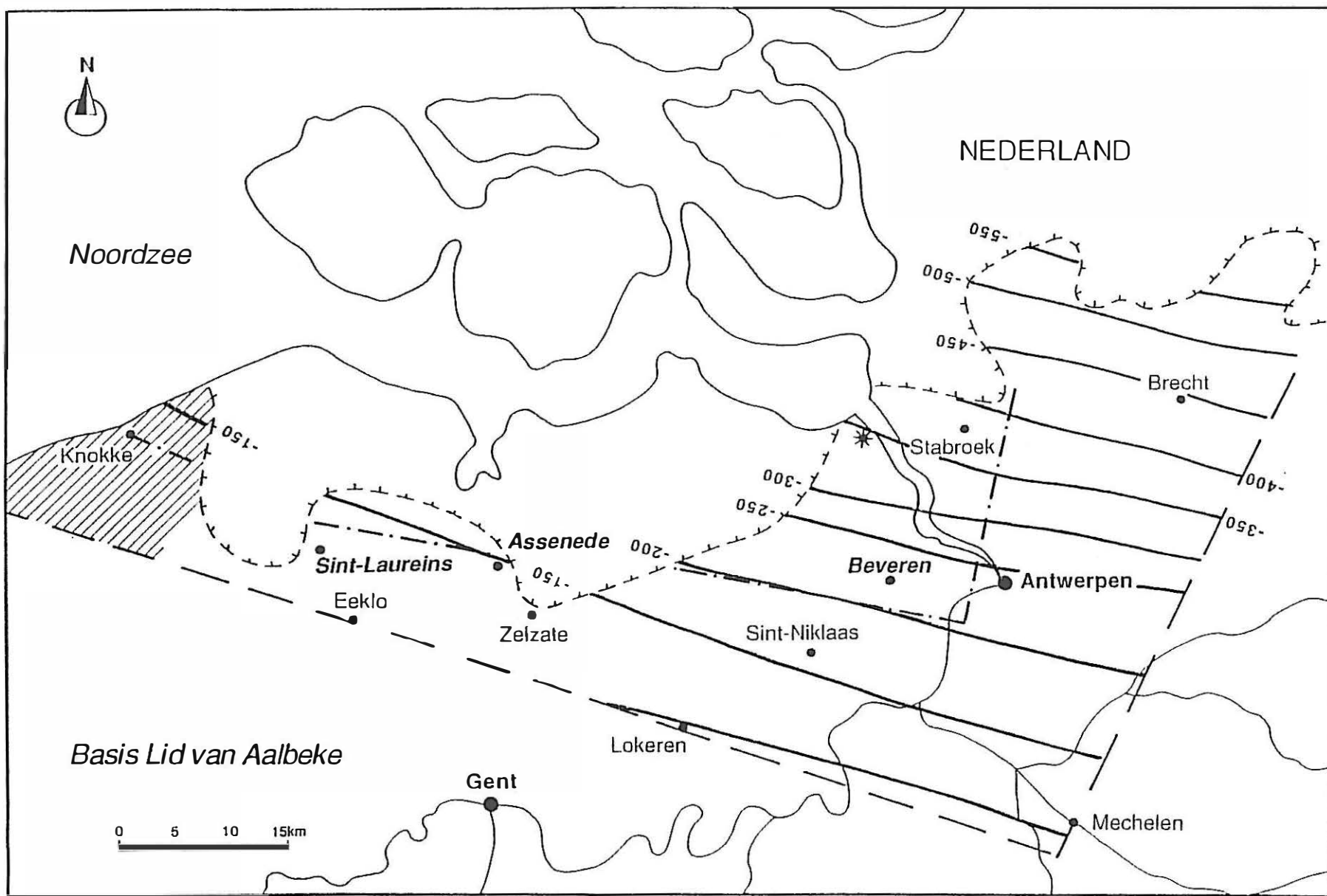
Figuur H.4.8. Isopachen van het Lid van Saint-Maur



Figuur II.4.9. Isopachen van het Lid van Moen



Figuur 11.4.10. Isohypsens van de basis van het Lid van Moen, in de gearceerde gebieden is het Lid van Moen niet te onderscheiden



Figuur 11.4.11. Isohypsens van de basis van het Lid van Aalbeke, in de gearceerde gebieden is het Lid van Aalbeke niet te onderscheiden

siltige klei. De top van deze kleilaag bevindt zich op een diepte van 179 m. De gemiddelde korrelgrootte is bijna steeds $< 2 \mu\text{m}$ en vertoont weinig schommelingen. Het kleigehalte schommelt tussen 50 en 75 %. De zandfractie ontbreekt (GEETS, 1988).

Hierboven bevindt zich een meer heterogene klei van het Lid van Moen. Het pakket is ongeveer 14 m dik en de top bevindt zich op een diepte van 165 m. De gemiddelde korrelgrootte varieert van ongeveer 2 tot $4 \mu\text{m}$. De kleifractie varieert van 20 tot 50 %, de siltfractie van 50 tot 80 %. De zandfractie bedraagt steeds minder dan 10 % (GEETS, 1988).

Hierboven bevindt zich een 15 m dikke homogene kleilaag, die behoort tot het Lid van Aalbeke. De top van deze kleilaag bevindt zich op een diepte van ongeveer 150 m. De gemiddelde korrelgrootte varieert van minder dan $2 \mu\text{m}$ tot ongeveer $3 \mu\text{m}$. De hoeveelheid kleifractie varieert van ongeveer 40 tot 75 %. De hoeveelheid silt is gelegen tussen 25 en 60 %. De zandfractie ontbreekt (GEETS, 1988).

b. Gebied Sint-Laureins - Assenede

In het gebied Sint-Laureins - Assenede zijn geen diepe boringen bekend. Uit de isohypsen- en isopachenkaartjes kunnen door extrapolatie enkele diepte- en diktegegevens worden afgeleid. Extrapolatie van lithologische kenmerken moet met de nodige omzichtigheid gebeuren. Men kan veronderstellen dat zowel het Lid van Saint-Maur als het Lid van Aalbeke vooral zijn opgebouwd uit grotendeels homogene fijnsiltige klei. Ertussen komt het meer heterogene Lid van Moen, dat tot 50 % klei bevat, voor. Waarschijnlijk zijn de lithologische kenmerken van de verschillende leden vrijwel dezelfde als te Knokke.

In het gebied bevindt de top van de Formatie van Kortrijk zich waarschijnlijk op een peil variërend van -130 tot -170. De basis van de Formatie van Kortrijk ligt waarschijnlijk op een peil tussen -270 en -310. In het gebied is het peil van het maaiveld maximum +5, zodat men zich een beeld kan vormen van de werkelijke diepte.

De top van het Lid van Saint-Maur is waarschijnlijk gelegen tussen de peilen -180 en -200. Extrapolatie geeft een dikte van minstens 100 m. De top van het Lid van Moen bevindt zich waarschijnlijk tussen de peilen -140 en -180. Er kan worden verondersteld dat het Lid van Moen in het gebied ongeveer 20 tot 30 m dik is. De dikte van het Lid van Aalbeke bedraagt waarschijnlijk ongeveer 10 m.

c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren

In de referentieboring van Kallo is de Formatie van Kortrijk stratigrafisch verschillend ingedeeld door STEURBAUT (1986) en door GEETS (1988). Om redenen van éénduidigheid werd hier de interpretatie van STEURBAUT (1986) gevolgd. De korrelgroottekenmerken, waarop GEETS (1988) zijn interpretatie steunt, worden vermeld.

De top van de Formatie van Kortrijk is in het gebied Sint-Niklaas - Beveren gelegen tussen de peilen -170 in het zuidwesten en -420 in het noorden.

Ter hoogte van Kallo start de Formatie van Kortrijk met de voor het gestelde probleem weinig belangrijke 1 m dikke silt van het Lid van Mont-Héribu.

Daarop volgt de klei van het Lid van Saint-Maur. De top van het Lid van Saint-Maur ligt in het gebied Sint-Niklaas - Beveren op een peil van -230 tot -450, de basis tussen -300 en -530. De dikte varieert van ongeveer 40 tot 80 m naar het noordwesten toe. STEURBAUT (1986) legt de top van het Lid van Saint-Maur in Kallo op een diepte van 332 m. Het lid is er 44 m dik. De gemiddelde korrelgrootte van de onderste 20 m bedraagt gewoonlijk minder dan 2 μm . Het kleigehalte schommelt gewoonlijk tussen 50 en 70 %, het siltgehalte tussen 30 en 50 %. Aan de basis is er een zandfractie aanwezig (steeds minder is dan 5 %). De bovenste 24 m heeft een gemiddelde korrelgrootte variërend van minder dan 2 μm tot meer dan 4 μm . Het kleigehalte schommelt meestal tussen 30 en 50 % (uitzonderlijk tot 60 %). De zandfractie ontbreekt.

De top van het bovenliggende Lid van Moen bevindt zich te Kallo op een diepte van 288 m onder het maaiveld; het lid is er ongeveer 44 m dik. In een belangrijk deel van het gebied (Fig. II.4.9) is de dikte minder dan 50 m. In Kallo is het Lid van Moen heterogener. Het bestaat er uit overwegend kleiige middelmatige tot fijne silt met laagjes kleiige zeer fijne silt tot zeer fijnsiltige klei. Men treft er enkele fosfaatconcreties in aan. Eveneens komen laagjes met grove glauconietkorrels en met vnl. Turritellafragmenten voor. Normaal heeft 50 % van het sediment een korrelgrootte gelegen tussen 16 en 64 μm . Het overige gedeelte heeft een gemiddelde korrelgrootte van minder dan 16 μm . Het kleigehalte varieert normaal tussen 25 en 50 %. De zandfractie ontbreekt.

De top van het Lid van Aalbeke bevindt zich te Kallo op een diepte van 282 m. De gemiddelde korrelgrootte is steeds kleiner dan 2 μm . Het kleigehalte varieert meestal tussen 45 % (in 1 laagje 27 %) en 75 %. De zandfractie ontbreekt. Te Kallo is het Lid van Aalbeke 6 m dik.

II.4.5.2 Formatie van Tielt

In figuur II.4.12 wordt de lithologische opbouw van de Formatie van Tielt in de drie gebieden voorgesteld. In het gebied Sint-Laureins - Assenede heeft men slechts informatie over de bovenste 5 m. De overige gegevens werd bekomen door extrapolatie.

a. Lid van Kortemark

De isohypsen van de top van de silt van het Lid van Kortemark worden voorgesteld op figuur II.4.13. Het Lid van Kortemark wordt gekenmerkt door een kleine doorlatendheid.

a.1 Gebied Knokke

Onmiddellijk boven de Formatie van Kortrijk bevindt zich het Lid van Kortemark van de Formatie van Tielt. Het lid bestaat ter hoogte van Knokke uit fijnsiltige klei en is er ongeveer 5 m dik. De gemiddelde korrelgrootte van deze afzetting bedraagt 4 μm en stijgt licht naar boven toe. Het kleigehalte varieert van 25 tot 30 %, het siltgehalte van 70 tot 75 %. De hoeveelheid zand bedraagt minder dan 5 % en stijgt naar boven toe.

a.2 Gebied Sint-Laureins - Assenede

De boring te Assenede reikt niet tot in het Lid van Kortemark. De precieze dikte is niet bekend maar bedraagt waarschijnlijk ongeveer 5 tot 10 m. Men kan veronderstellen dat de lithologische kenmerken in het gebied ongeveer dezelfde zijn als degene in het gebied Knokke.

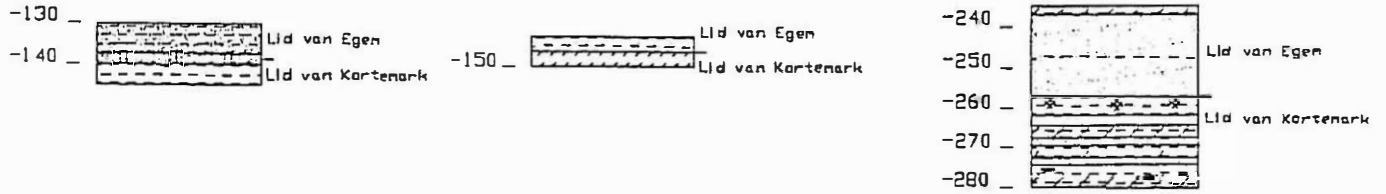
KNOKKE

ASSENEDE

KALLO

Formatie van Tielt

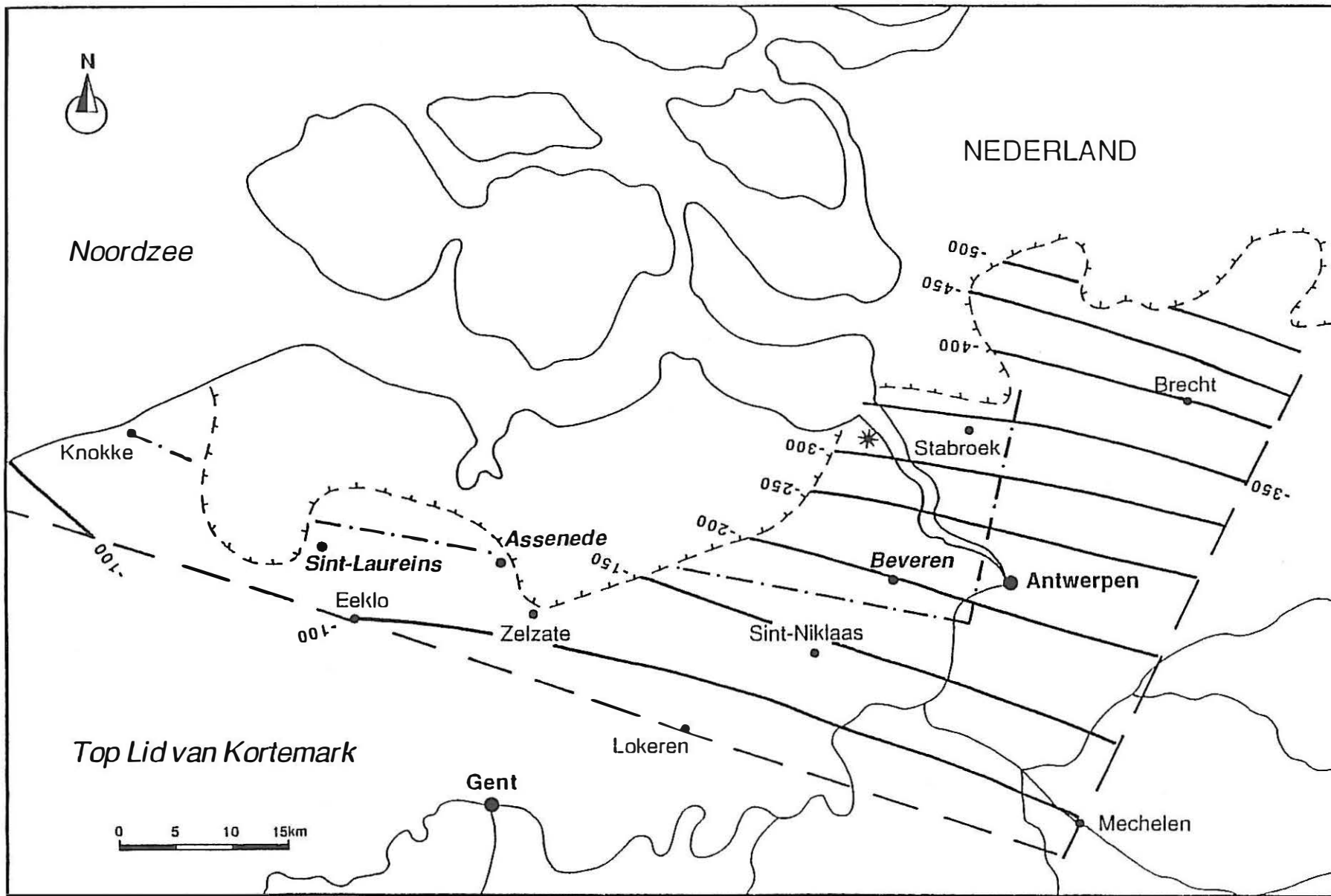
PEIL (m TAW)



Legende :

- Krijt
- Verweerd Krijt
- Klei
- Glaucosiet
- Gebreecelde klei
- Zand
- Ligriet
- Silt
- Silt
- Mergel
- Concreties
- Schalie
- Schelpen
- Geen ronster
- Zandsteen
- Mantelwaaier

Figuur II.4.12. Lithologie van de Formatie van Tielt in Knokke, Assenede en Kallo



Figuur 11.4.13. Isohypsen van de top van het Lid van Kortemark

a.3 Gebied Sint-Niklaas - Beveren

In de referentieboring Kallo is de heterogene silt van het Lid van Kortemark 23 m dik. De top bevindt zich op een diepte van 258 m. In het gebied Sint-Niklaas - Beveren varieert de dikte van deze afzetting van 10 tot 30 m. De laag wordt gekenmerkt door een afwisseling van fijnere en grovere lagen. De korrelgrootte van het Lid van Kortemark varieert tussen gemiddeld 2 en 8 μm . Het kleigehalte varieert van 30 tot 60 %. In sommige delen loopt de zandfractie op tot meer dan 10 %.

b. Lid van Egem

De isohypsen van de top van het Lid van Egem zijn voorgesteld op figuur II.4.14.

Het Lid van Egem is opgebouwd uit zeer fijn zand met een duidelijke gelaagdheid. Het is soms sterk gebioturbeerd. Er komen dunne kleilaagjes in voor. Naar boven toe en in het zuiden van West-Vlaanderen wordt de afzetting minder fijn. Op bepaalde niveaus vindt men lagen nummulietenkalksteen en fossielhoudende laagjes. Het Lid van Egem komt voor in het westen en het noorden van het land (MARÉCHAL & LAGA, 1988). Men treft het aan in het grootste deel van het studiegebied. Het Lid van Egem werd in alle boorgatmetingen in het studiegebied teruggevonden.

Het Lid van Egem vormt de eerste watervoerende laag boven de Formatie van Kortrijk.

b.1 Gebied Knokke

In Knokke is het Lid van Egem ongeveer 5 m dik. De gemiddelde korrelgrootte van de afzettingen varieert van 16 tot 64 μm en stijgt naar boven toe. De hoeveelheid kleifractie bedraagt bijna steeds minder dan 20 %. Het zandgehalte bedraagt 45 tot 80 % en stijgt naar boven toe.

b.2 Gebied Sint-Laureins - Assenede

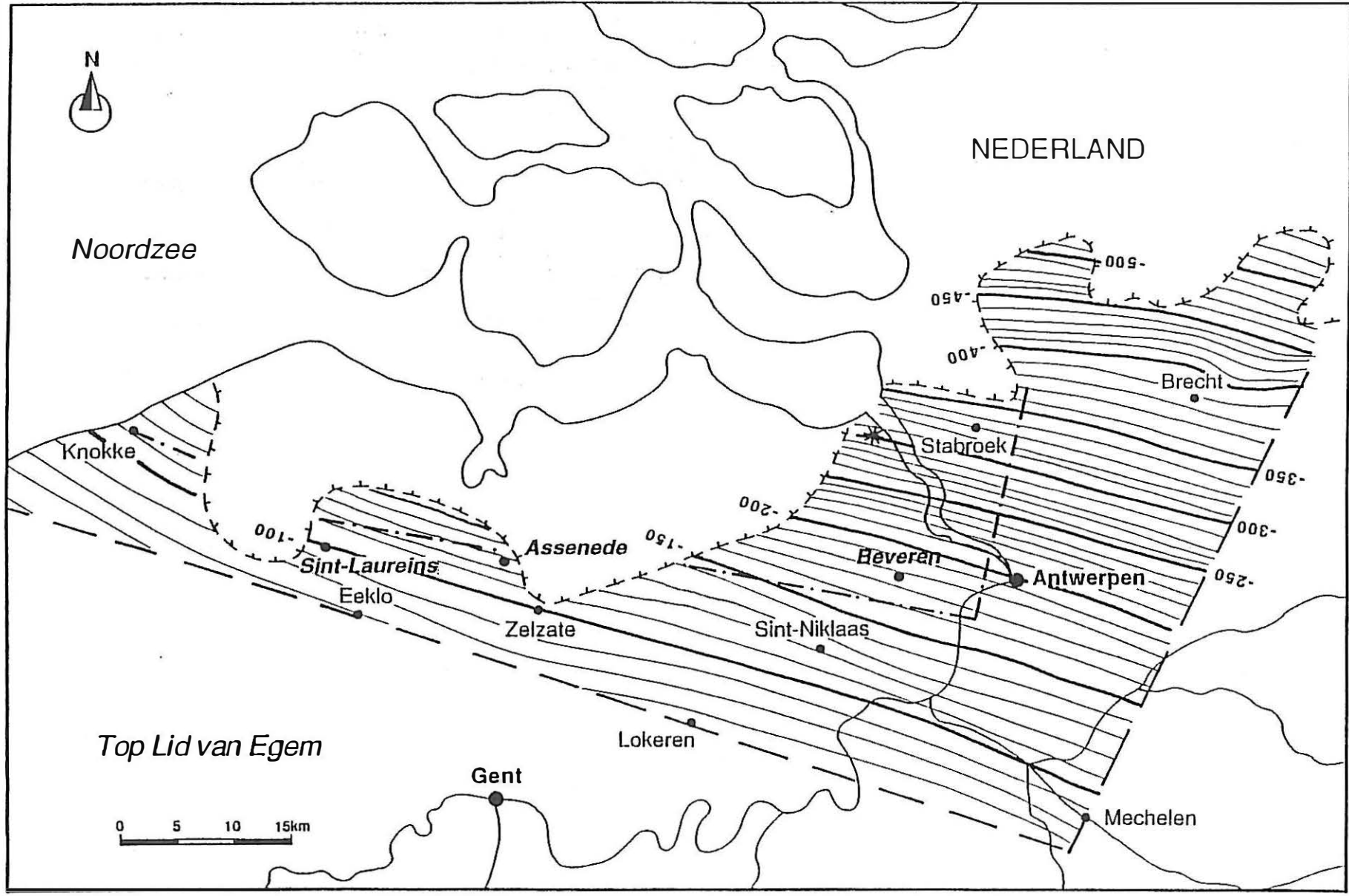
Ter hoogte van de boring te Assenede werd slechts 5 m in het Lid van Egem geboord. Het bestaat uit weinig kleihoudend zand gewisseld met sterk kleihoudende zones. Waarschijnlijk bedraagt de totale dikte 5 tot 10 m.

b.3 Gebied Sint-Niklaas - Beveren

Ter hoogte van Kallo is het Lid van Egem ongeveer 20 m dik. De gemiddelde korrelgrootte van de afzettingen varieert van 32 tot 36 μm en is uitzonderlijk kleiner. Het kleigehalte varieert van 3 tot 20 % en bedraagt sporadisch meer dan 30 %. Het zandgehalte varieert meestal tussen 60 en 85 % en bedraagt uitzonderlijk minder dan 40 %. De dikte van het lid vermindert naar het noorden toe. In Woensdrecht is het Lid van Egem 16 m dik. Ter hoogte van Wuustwezel en Rijkevorsel is deze laag nog altijd ongeveer 20 m dik.

II.4.5.3 Formatie van Gent

Op figuur II.4.15 is de lithologische opbouw van de Formatie van Gent ter hoogte van de verschillende referentieboringen voorgesteld.



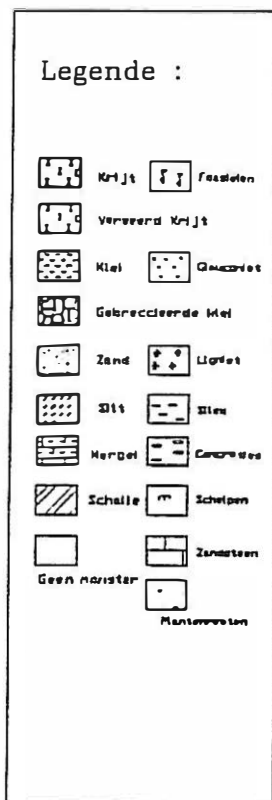
Figuur 11.4.14. Isohypsens van de top van het Lid van Egem

KNOKKE

ASSENEDE

KALLO

Formatie van Gent



Figuur 11.4.15. Lithologie van de Formatie van Gent in Knokke, Assenede en Kallo

De Formatie van Gent bestaat uit zandige-kleiige sedimenten, die naar boven toe overgaan in fijne zanden (MARÉCHAL & LAGA, 1988). De formatie bestaat uit drie leden, die in het grootste deel van het studiegebied worden teruggevonden.

De Leden van Merelbeke en van Pittem vormen een relatief belangrijke slecht-doorlatende laag. Ze scheiden de watervoerende laag van het Lid van Egem van de bovenliggende belangrijke watervoerende laag, waartoe ook het Lid van Vlierzele behoort.

a. Lid van Merelbeke

Het Lid van Merelbeke bestaat uit zeer fijnsiltige klei of kleiige, zeer fijne silt. Dunne zandlensjes komen geïntercaleerd voor. De verbreiding van het Lid van Merelbeke is zeer onregelmatig en op talrijke plaatsen ontbreekt het. De dikte van het lid bedraagt gemiddeld 6 tot 7 m (MARÉCHAL & LAGA, 1988).

De slecht-doorlatende klei van het Lid van Merelbeke heeft een verticale doorlatendheid van ongeveer $1,16 \cdot 10^{-9}$ m/s (WALRAEVENS, 1987).

a.1 Gebied Knokke

In de boring te Knokke vormt het Lid van Merelbeke een zware homogene grijze klei met een dikte van 2,3 m (LAGA & VANDENBERGHE, 1990).

a.2 Gebied Sint-Laureins - Assenede

In de boring te Assenede is het Lid van Merelbeke 5 m dik. Volgens de boorbeschrijving is het een kleihoudend zand. Ten zuiden van dit gebied, ter hoogte van de boring te Maldegem, heeft het Lid van Merelbeke een dikte van ongeveer 4 m.

a.3 Gebied Sint-Niklaas - Beveren

In de boring te Woensdrecht heeft het Lid van Merelbeke een dikte van 7,7 m en bestaat het uit donkere groengrijze schisteuze klei. Ter hoogte van de boring te Kallo is diezelfde klei ongeveer 5 m dik.

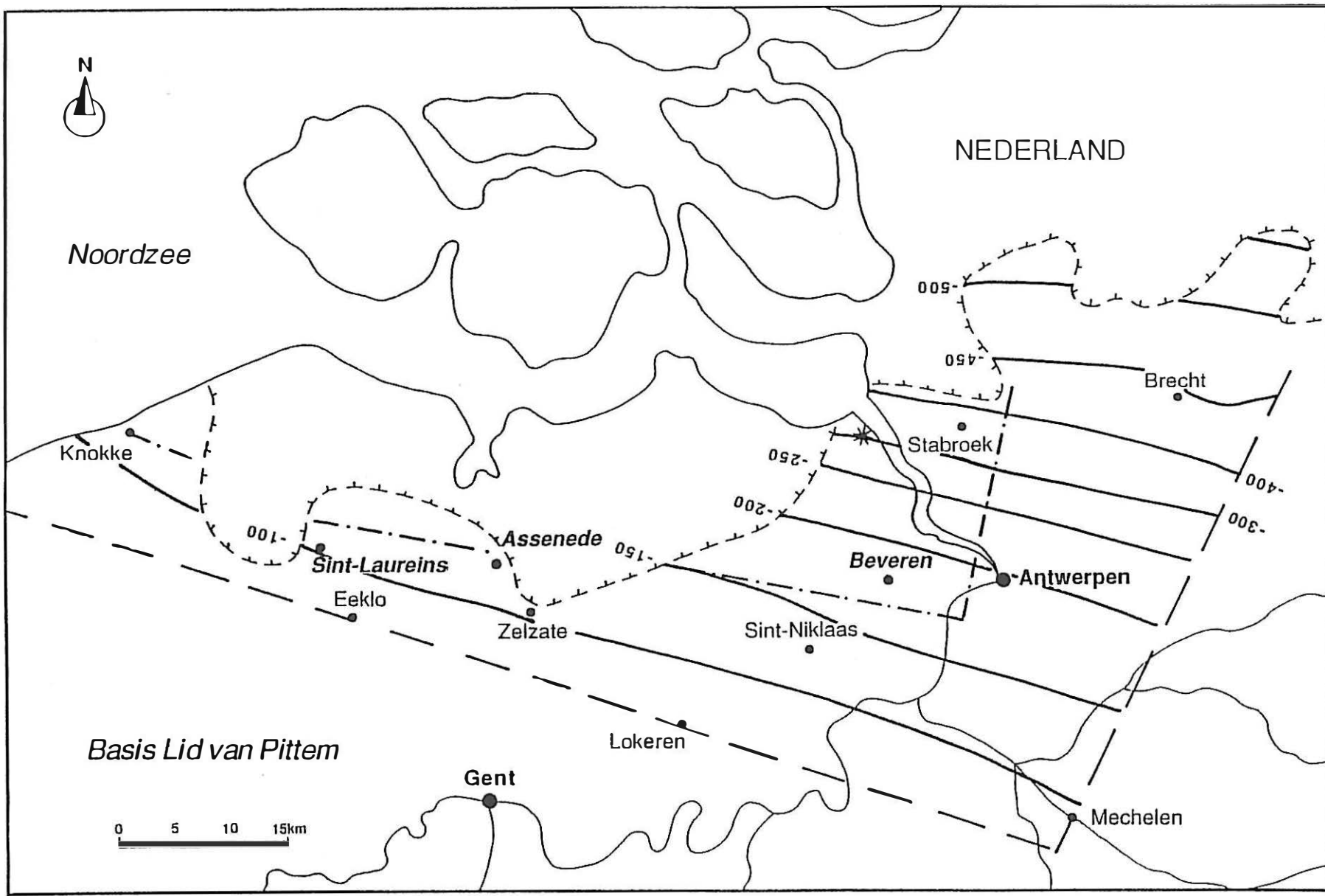
In het oosten van het studiegebied wordt het Lid van Merelbeke eveneens aangetroffen.

b. Lid van Pittem

De isohypsen van de basis van het Lid van Pittem zijn voorgesteld in figuur II.4.16.

Het Lid van Pittem bestaat uit een afwisseling van laagjes kleiig-siltig zeer fijn zand met kleiige-zandige grove silt. De laminae zijn op vele plaatsen gestoord door bioturbatie. Plaatselijk komen zandsteenbanken voor (MARÉCHAL & LAGA, 1988).

In de Gentse Kanaalzone schat men de doorlatendheid van het Lid van Pittem op $1,16 \cdot 10^{-5}$ m/s (VAN BURM et al., 1983). Het Lid van Pittem kan ter plaatse, vanuit hydrogeologisch standpunt, als slecht-doorlatend worden beschouwd.



Figuur II.4.16. Isohypsens van de basis van het Lid van Pittem

RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)

b.1 Gebied Knokke

Ter hoogte van de boring te Knokke vormt het Lid van Pittem een ongeveer 9 m dikke siltige klei met verscheidene zandsteenlagen.

b.2 Gebied Sint-Laureins - Assenede

Ter hoogte van de boring Assenede is het Lid van Pittem ongeveer 22 m dik. Het is een fijn zand met glimmers, kleibrokjes, schelpengruis en enkele donker humeuze brokjes.

b.3 Gebied Sint-Niklaas - Beveren

In de boring te Kallo werd het Lid van Pittem niet bemonsterd. De dunne laag grijsblauwe klei met silteuze lagen boven de klei van het Lid van Merelbeke, behoort waarschijnlijk tot dit lid. STEURBAUT (1986) leidt een dikte van ongeveer 5 m af. Uit de boorbeschrijving van de boring te Woensdrecht kan de juiste begrenzing niet worden afgeleid.

Het Lid van Pittem wordt ook in het oosten van het studiegebied aangetroffen.

c. Lid van Vlierzele

De isohypsen van de basis en de top van het Lid van Vlierzele zijn respectievelijk voorgesteld in de figuren II.4.17 en II.4.18.

Het Lid van Vlierzele bestaat voornamelijk uit fijn zand. Naar onderen toe gaat het over in een meestal homogeen, kleiig zeer fijn zand met kleine kleilenzen. Bovenaan komen gedifferentieerde kleilagen voor, samen met humeuze intercalaties. Harde zandsteenbanken komen regelmatig voor (MARÉCHAL & LAGA, 1988).

Het Lid van Vlierzele is watervoerend en vormt hydrogeologisch één geheel met de bovenliggende Zenne Groep.

c.1 Gebied Knokke

Ter hoogte van de boring te Knokke is het Lid van Vlierzele ongeveer 19 m dik. De onderste 8 m bestaan uit naar boven toe grover wordend middelmatig tot grof zand. De bovenste 11 m is fijn zand met kleilaagjes en gesteentefragmenten in het onderste deel (LAGA & VANDENBERGHE, 1990).

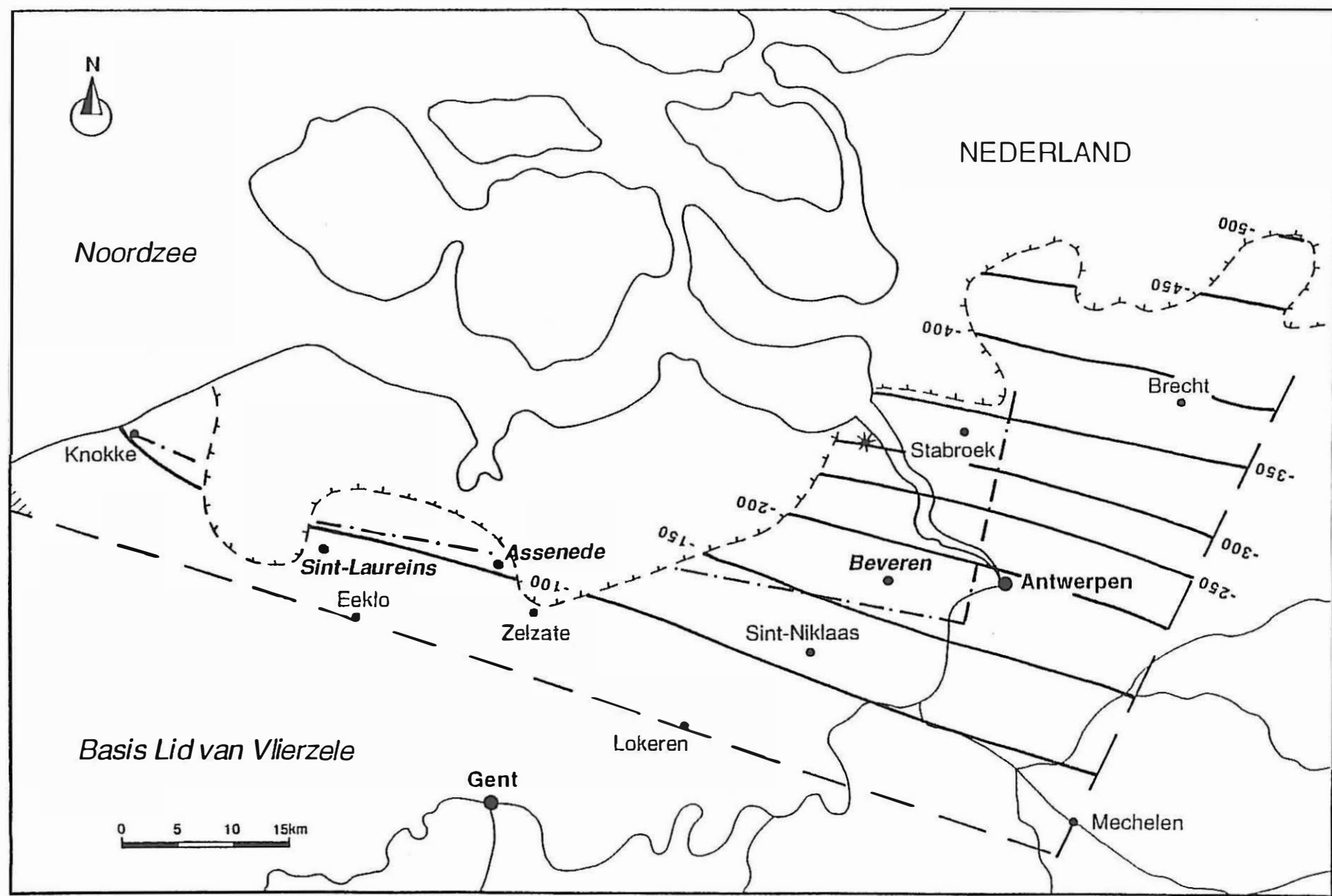
c.2 Gebied Sint-Laureins - Assenede

Ter hoogte van de boring te Assenede is het Lid van Vlierzele ongeveer 17 m dik. Het is een afwisselend sterk en minder kleihoudend fijn zand met schelpenresten en op bepaalde plaatsen zandsteensplinters.

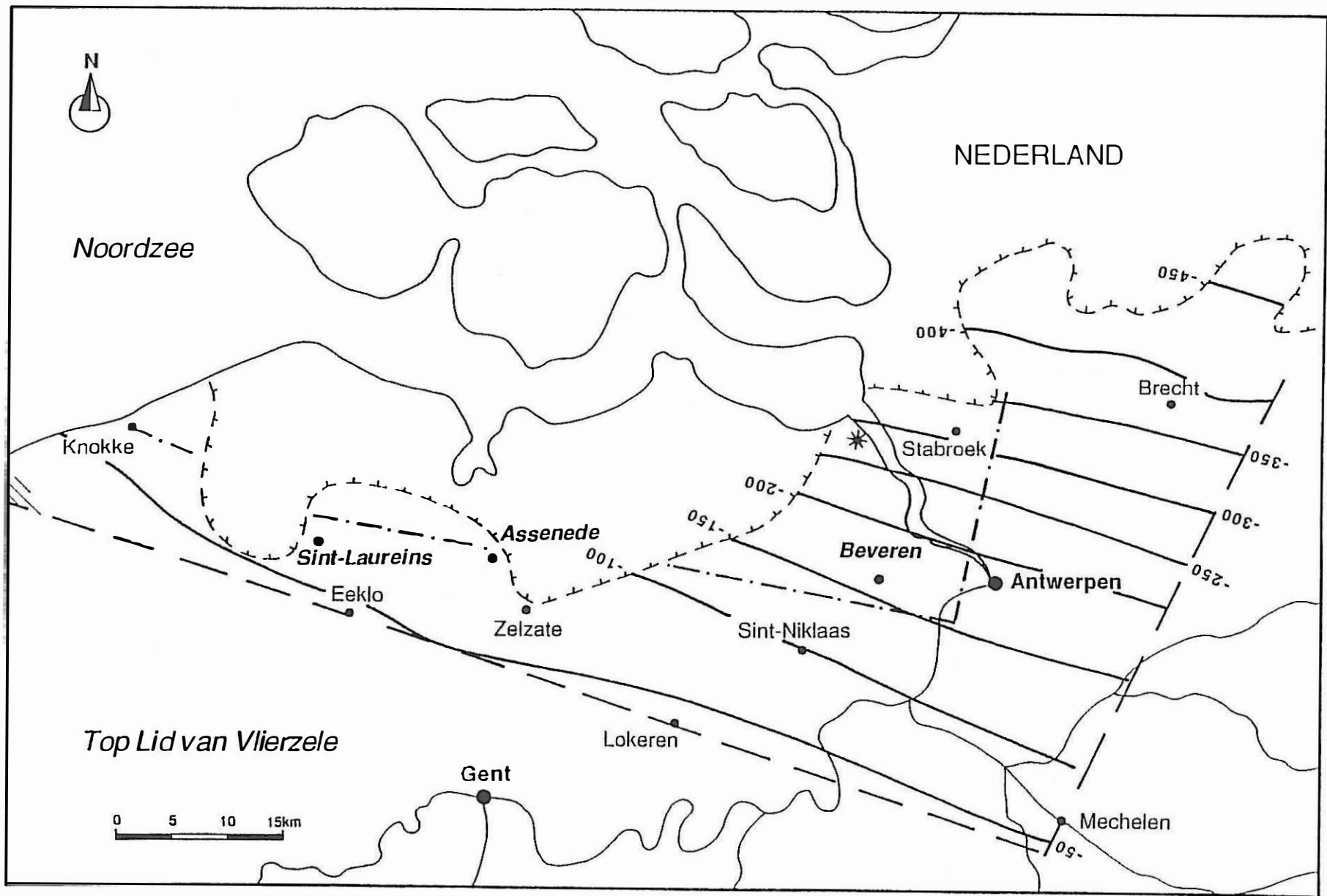
c.3 Gebied Sint-Niklaas - Beveren

Ter hoogte van de boring te Kallo bestaat het Lid van Vlierzele uit fijn grijs zand met silthoudende kleilaagjes die plaatselijk versteend zijn. Men kan de precieze dikte niet bepalen omdat

RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)



Figuur 11.4.17. Isohypsens van de basis van het Lid van Vlierzele



RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)

Figuur II.4.18. Isohypsens van de top van het Lid van Vlierzele

het Lid van Vlierzele moeilijk van de bovenliggende Formatie van Aalter te onderscheiden is.

Naar het oosten van het studiegebied toe wordt het Lid van Vlierzele minder dik.

II.4.6 Zenne Groep

II.4.6.1 Algemeen

De lithologische opbouw van de Zenne Groep in de drie gebieden is voorgesteld in figuur II.4.19.

De sedimenten van de Zenne Groep bestaan onderaan uit kleiige zanden, die naar boven toe overgaan in zuivere, dikwijls kalkhoudende zanden. Typisch is het voorkomen van verkiezelingen, zandige kalkstenen en kalkzandstenen. De Zenne Groep komt in het volledige studiegebied voor en kan onderverdeeld worden in de Formatie van Aalter, de Formatie van Brussel en de Formatie van Lede (MARÉCHAL & LAGA, 1988).

De Zenne Groep vormt samen met het onderliggende Lid van Vlierzele en het bovenliggende Lid van Wemmel een relatief belangrijke laag voor de watervoorziening.

II.4.6.2 Formatie van Aalter

a. *Gebied Knokke*

In de boring te Knokke is Formatie van Aalter 26 m dik. Ze bestaat er uit fijn tot zeer fijn kleiig zand met glauconiet, zandstenen en schelpen.

b. *Gebied Sint-Laureins - Assenede*

De begrenzingen van de verschillende formaties van de Zenne Groep werd afgeleid uit de boorgatmeting te Assenede. In Assenede is de Formatie van Aalter ongeveer 11 m dik. Het is opgebouwd uit afwisselend sterk en minder kleiig fijn glauconiethoudend zand met bovenaan zandsteenresten en onderaan schelpengruis.

c. *Gebied Sint-Niklaas - Beveren*

Door een slechte bemonstering kon men de Formatie van Aalter ter hoogte van Kallo niet onderscheiden (GULINCK, 1969). In de boring van Woensdrecht komt deze formatie wel voor. Het is echter moeilijk om uit de oude boorbeschrijving de grens met de Formatie van Gent af te leiden.

II.4.6.3 Formatie van Brussel

a. *Gebied Knokke*

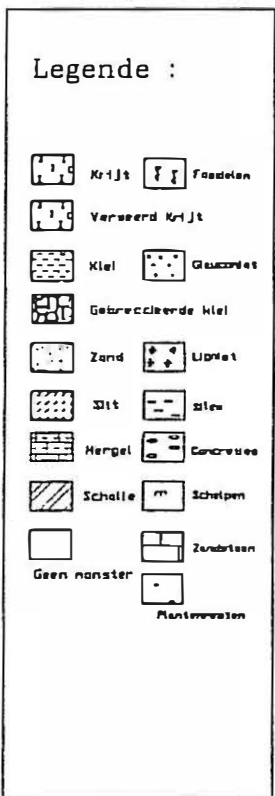
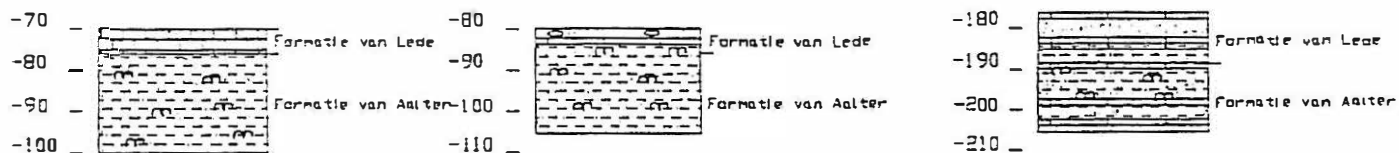
In de boring te Knokke bestaat geen duidelijkheid over het overige gedeelte van de Zenne Groep (een 5 m dik zand met veel zandstenen). De aanwezigheid van bepaalde fossielen wijst erop dat dit zandpakket tot de Formatie van Brussel behoort. Dit is echter in tegenspraak met de gangbare opvattingen, op basis waarvan men dit eerder tot de Formatie van Lede moet rekenen (LAGA & VANDENBERGHE, 1990).

KNOKKE

ASSENEDE

KALLO

Zenne Groep



Figuur II.4.19. Lithologie van de Zenne Groep in Knokke, Assenede en Kallo

b. Gebied Sint-Laureins - Assenede

In de boring te Assenede komt de Formatie van Brussel waarschijnlijk niet voor.

c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren

In het oosten van het gebied Sint-Niklaas - Beveren komt de Formatie van Brussel voor. Ze is 18 m dik te Woensdrecht. Het is niet duidelijk of men ze ook ter hoogte van Kallo aantreft.

II.4.6.4 Formatie van Lede*a. Gebied Knokke*

In de boring te Knokke bestaat de Formatie van Lede uit een 5 m dikke laag zand met veel zandstenen. Het zou kunnen dat deze laag tot de Formatie van Brussel behoort (zie II.4.6.3).

b. Gebied Sint-Laureins - Assenede

Uit de boorgatmeting werd afgeleid dat de Formatie van Lede in Assenede ongeveer 6 m dik is. Het is opgebouwd uit fijn zand, dat soms kleihoudend is, met zandstenen, schelpengruis en nummulieten.

c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren

De Formatie van Lede is ongeveer 15 m dik te Kallo en bestaat uit fijn kalkrijk zand met kalksteenbanken.

II.4.7 Formatie van Maldegem

II.4.7.1 Algemeen

De lithologie van de Formatie van Maldegem in de referentieboringen is voorgesteld in figuur II.4.20.

De Formatie van Maldegem is een afwisseling van geleidelijk in elkaar overgaande zanden en kleien (MARÉCHAL & LAGA, 1988). Men treft de formatie overal in het studiegebied aan. Ze vormt de eerste belangrijke kleilaag boven de Formatie van Kortrijk.

De Formatie van Maldegem is in haar geheel als een zeer slecht-doorlatende laag te beschouwen. Ze speelt hydrogeologisch een grote rol omdat ze twee belangrijke watervoerende lagen scheidt. In deze formatie komen enkele dunne watervoerende laagjes voor. Vooral het Lid van Asse en het Lid van Ursel, vroeger als "Bartoonklei" aangeduid, vormen samen een zeer slecht-doorlatende kleilaag. Het onderliggende Lid van Wemmel vormt samen met de onderliggende Zenne Groep en het Lid van Vlierzele een watervoerende laag.

Te Knesselare-Ursel heeft de slecht-doorlatende Formatie van Maldegem een verticale doorlatendheid van $1,45 \cdot 10^{-9}$ m/s. Volgens het simulatiemodel van de grondwaterstroming in het gebied Knesselare-Ursel bedraagt ze $1,16 \cdot 10^{-9}$ m/s (WALRAEVENS, 1987). Bij een pompproef te Ursel werd in het Lid van Onderdale (s1) een horizontale doorlatendheid van $2,3 \cdot 10^{-6}$ m/s gemeten (VAN DIJCK et al., 1984).

II.4.7.2 Gebied Knokke

Ter hoogte van de referentie boring te Knokke vormt de Formatie van Maldegem (33 m) de bovenste eenheid van het Tertiair. Ze bestaat uit zware klei, waartussen glauconiethoudende kleiige zandlagen voorkomen. Het onderste lid van deze formatie is het Lid van Wemmel. Het is een 2,5 m dik fijn glauconiethoudend kleiig zand bovenaan met zeer veel glauconiet ("bande noire"). Daarop volgt de klei van het Lid van Asse en het Lid van Ursel, de "Bartoonklei" met een totale dikte van 11,5 m. Het hieropvolgende zand van het Lid van Onderdale is 2 m dik. De erboven voorkomende klei van het Lid van Zomergem is 12 m dik en wordt van de 3 m dikke klei van het Lid van Onderdijke gescheiden door een 3 m dikke zandlaag, die behoort tot het Lid van Buisputten. Te Knokke rust het Kwartair onmiddellijk op de Formatie van Maldegem.

II.4.7.3 Gebied Sint-Laureins - Assenede

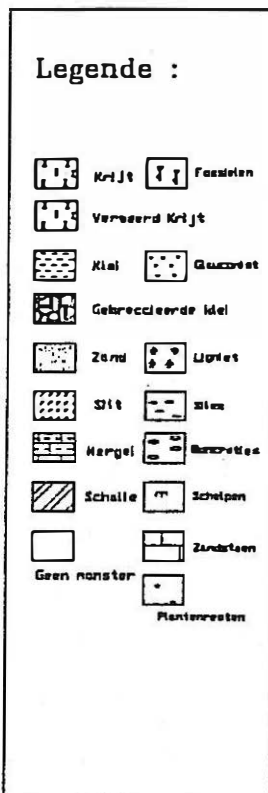
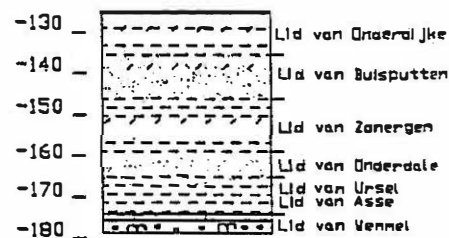
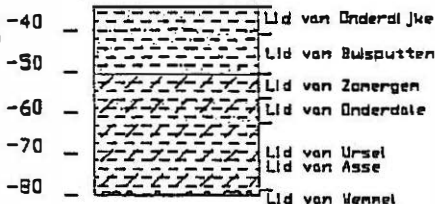
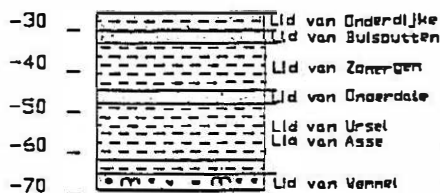
In Assenede is de Formatie van Maldegem ongeveer 45 m dik. Uit de boorgatmeting werd afgeleid dat onderaan het 2,9 m dikke glauconietrijk schelphoudend zand van het Lid van Wemmel voorkomt. Volgens LAGA (1990) ontbreekt dit lid en behoort deze zandlaag tot de Formatie van Lede. De daaropvolgende klei van het Lid van Asse en het Lid van Ursel bereiken samen een dikte van iets meer dan 17 m. Het Lid van Asse bevat meer zand. De klei van het Lid van Ursel wordt van de klei van het Lid van Zomergem (met een dikte van ongeveer 8 m) gescheiden door een iets minder dan 4 m dikke kleiige zandlaag die behoort tot het Lid van Onderdale. Daarop volgt het 6,5 m dikke kleihoudend zand van het Lid van Buisputten. Bovenaan komt de 11 m dikke klei van het Lid van Onderdijke voor.

KNOKKE

ASSENEDE

KALLO

Formatie van Maldegem



Figuur II.4.20. Lithologie van de Formatie van Maldegem in Knokke, Assenede en Kallo

Ten zuiden van het gebied Sint-Laureins - Assenede, in de boringen te Ursel en te Maldegem, vormt de Formatie van Maldegem de bovenste tertiaire eenheid. Ze is er niet meer volledig aanwezig.

II.4.7.4 Gebied Sint-Niklaas - Beveren

In de boring te Woensdrecht is de Formatie van Maldegem 70 m dik terwijl ze ongeveer 55 m dik is ter hoogte van Kallo. In Kallo is ze goed ontwikkeld. Deze boring gaf trouwens aanleiding tot de vroegere term "Complex van Kallo", waartoe ook het bovenliggende Lid van Bassevelde behoorde.

In de boring te Kallo ligt onderaan het ongeveer 5 m dikke zand van het Lid van Wemmel. De klei van het Lid van Asse en het Lid van Ursel is er ongeveer 18 m dik. Deze wordt door het ongeveer 5 m dikke zand van het Lid van Onderdale gescheiden van de 12 m dikke klei van het Lid van Zomergem. Hierop volgt het ongeveer 5 m dikke zand van het Lid van Buisputten en de ongeveer 8 m dikke klei van het Lid van Onderdijke.

De Formatie van Maldegem komt ook in het oosten voor.

II.4.8 Tongeren Groep

II.4.8.1 Formatie van Zelzate

De lithologische opbouw van de Formatie van Zelzate in de gebieden Knokke, Sint-Laureins - Assenede en Sint-Niklaas - Beveren wordt voorgesteld in figuur II.4.21.

De Formatie van Zelzate bestaat in hoofdzaak uit middelmatig fijne zanden van het Lid van Bassevelde met erboven zandige klei van het Lid van Watervliet. Ze komt voor in het grootste gedeelte van het studiegebied. Het Lid van Bassevelde vormt een watervoerende laag.

a. Gebied Knokke

In het noorden van het gebied Knokke komt de Formatie van Zelzate waarschijnlijk nog voor. Ze is er overwegend zandig. Hierboven liggen kwartaire afzettingen.

b. Gebied Sint-Laureins - Assenede

Ter hoogte van de boring te Assenede is de Formatie van Zelzate ongeveer 23 m dik. Het Lid van Bassevelde bestaat er uit fijn kleihoudend zand dat plaatselijk zeer veel klei bevat. Het bovenste gedeelte is kalkloos terwijl de onderste 8 m schelpenresten bevatten. Het Lid van Bassevelde bevat ook nummulieten, glimmers, glauconiet, enkele pyrietconcreties en kleine zandsteenconcreties. Naar boven toe stijgt het kleigehalte en verschijnen meer kleihoudende laagjes. Daarboven ligt de kleilaag van het Lid van Watervliet, die echter ontbreekt te Assenede. In Bassevelde is de Formatie van Zelzate ongeveer 25 m dik.

c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren

Ter hoogte van de boring te Kallo is de Formatie van Zelzate ongeveer 18 m dik. De klei van het Lid van Watervliet is er ongeveer 3 m dik.

Naar het oosten toe wordt de Formatie van Zelzate dunner.

II.4.8.2 Formatie van Niel - Lid van Ruisbroek

De lithologische opbouw van de Formatie van Niel wordt voorgesteld in figuur II.4.22.

De formatie bestaat bovenaan uit fossielrijke groengrijze zanden met soms grote oesterschelpen (Lid van Ruisbroek). Aan de basis van de formatie komt het siltige Lid van Wintham voor (STEURBAUT, 1992). De Formatie van Niel vormt een watervoerende laag. Ze wordt gescheiden van het Lid van Bassevelde door de dunne kleilaag van het Lid van Watervliet.

a. Gebied Knokke

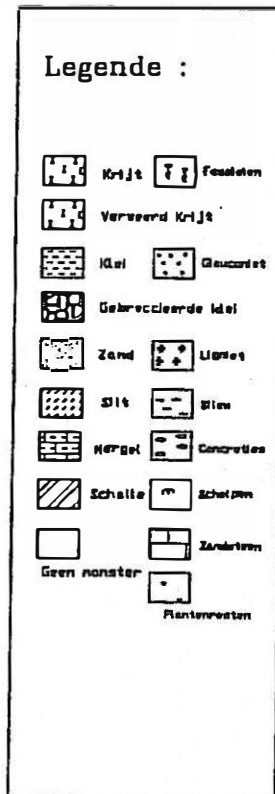
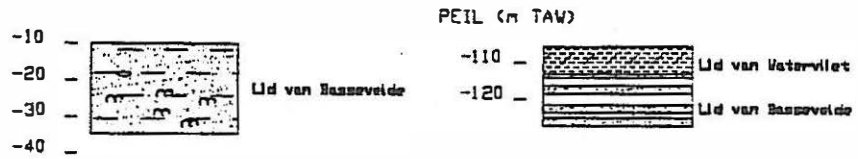
In het gebied Knokke komt de Formatie van Niel niet voor.

KNOKKE

ASSENEDE

KALLO

Formatie van Zelzate



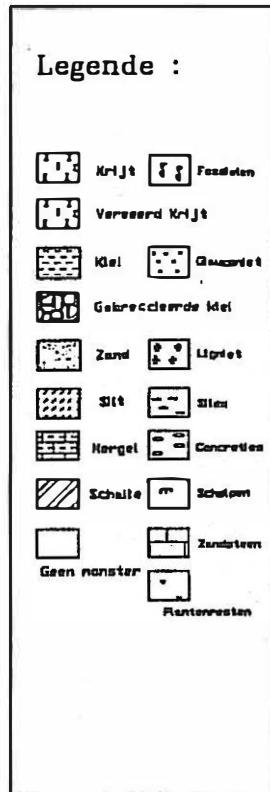
Figuur II.4.21. Lithologie van de Formatie van Zelzate in Kallo - de Formatie van Zelzate komt niet voor ter hoogte van Knokke en Assenede

KNOKKE

ASSENEDE

KALLO

Formatie van Niel



Figuur II.4.22. Lithologie van de Formatie van Niel in Kallo - de Formatie van Niel komt niet voor ter hoogte van Knokke en Assenede

b. Gebied Sint-Laureins - Assenede

Indien deze laag nog in het gebied Sint-Laureins - Assenede zou voorkomen, is de verbreiding en de dikte ervan beperkt.

c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren

In het gebied Sint-Niklaas - Beveren is deze formatie ter hoogte van de boring te Kallo 7 tot 8 m dik.

II.4.9 Rupel Groep

II.4.9.1 Formatie van Boom

a. Algemeen

De lithologische opbouw van de Formatie van Boom is voorgesteld in figuur II.4.23.

De Formatie van Boom is een grijze siltige klei of kleiige silt met vrij constante chemische en mineralogische kenmerken. Deze klei bevat pyriet en glauconiet in de meest siltige horizonten. Ze is zeer typisch geband (20-50 cm) door ritmische veranderingen in het siltgehalte (met geleidelijke overgangen), plantaardig organisch materiaal en carbonaten (met septaria ontwikkeling). Deze dunne banden komen voor in een welbepaalde verticale volgorde, die constant blijft doorheen het ontsluitingsgebied. De formatie dagzoomt in het Land van Waas en ten noorden van de Rupel en de Nete. In het gebied ten noorden van deze ontsluitingszone komt de klei in de ondergrond voor. De meest volledige sequentie wordt teruggevonden in de ondergrond van Noord-België (VANDENBERGHE, 1978).

De bandenstructuur komt tot uiting in kleurvariaties (donker- en lichtgrijze banden). De banden hebben een dikte van enkele tientallen cm tot hooguit 0,5 meter. Enkel aan de basis komen dikkere lagen met een dikte tot 1 m voor. Donkere tot zwarte banden zijn aangerijkt met organisch materiaal en komen vooral voor in het bovenste gedeelte van de klei. Zeer bleke banden zijn aangerijkt met carbonaat en bevatten septaria. In de formatie komt ook een kenmerkende roze band voor. De kleur is te wijten aan de oxidatie van ijzerhoudende mineralen. In het onderste deel van het Lid van Putte komt een laag, bestaande uit twee grovere lagen, gescheiden door een dunne kleiband.

a.1 Lid van Belsele-Waas

Het Lid van Belsele-Waas omvat het onderste meer siltige deel van de Formatie van Boom, gekenmerkt door de afwezigheid van zwarte organische banden en het voorkomen van twee zeer dikke siltige banden aan de basis. Het vangt aan met een grint van licht herwerkte verkleitte fragmenten met een carbonaat-fosfaat cement.

a.2 Lid van Terhagen

Het Lid van Terhagen omvat het middelste en meest kleirijke gedeelte van de Formatie van Boom. Het bestaat uit een bleekgrijze klei met slechts twee uitgesproken zwarte banden, rijk aan organisch materiaal. Het is onderaan kalkhoudend, maar het bovenste deel is ontkalkt en heeft een rozige tot bruine schijn.

a.3 Lid van Putte

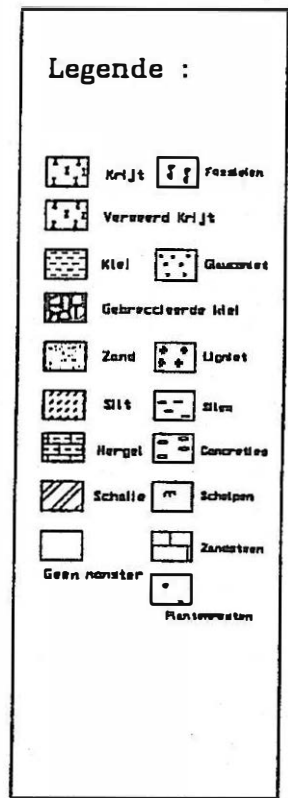
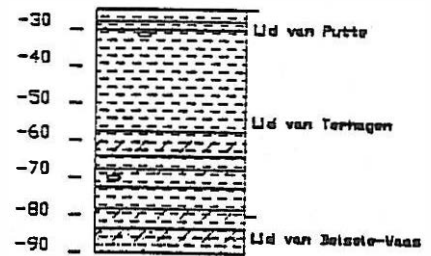
Het Lid van Putte ligt boven het Lid van Terhagen en onderscheidt zich ervan door het systematisch voorkomen van zwarte banden rijk aan organisch materiaal en van meer siltige horizonten. De klei is donkerder dan het Lid van Terhagen, waardoor de grens steeds duidelijk waarneembaar is (VANDENBERGHE, 1978).

KNOKKE

ASSENEDE

KALLO

Formatie van Boom



Figuur II.4.23. Lithologie van de Formatie van Boom in Kallo - de Formatie van Boom komt niet voor ter hoogte van Knokke en Assenede

b. Gebied Knokke

De Formatie van Boom komt niet voor te Knokke.

c. Gebied Sint-Laureins - Assenede

In het gebied Sint-Laureins - Assenede komt de Formatie van Boom niet voor.

d. Gebied Sint-Niklaas-Beveren

In de boring Kallo is de Formatie van Boom ongeveer 60 m dik, in Woensdrecht 91 m. In Kallo (GULINCK, 1965) trof men bruingrijze tot grijsgroene glimmerhoudende zware klei met silthoudende laagjes, septaria, sporefossielen en soms breukjes aan. De onderste 10 m (Lid van Belsele-Waas) bestaat uit silt en silthoudende klei, afgewisseld met kleihoudend fijn zand. De klei van de Formatie van Boom vormt in het gebied een zeer slecht-doorlatende laag. De verticale doorlatendheid bedraagt $1,13 \cdot 10^{-9}$ m/s (WALRAEVENS et al., 1990).

II.4.10 Neogene afzettingen

II.4.10.1 Algemeen

De neogene afzettingen bestaan vooral uit glauconiethoudende en veelal schelprijke zanden. Deze afzettingen komen voornamelijk voor in het noordelijk deel van ons land. De Antwerpse Kempen en de Roerdal Slenk zijn gebieden waar deze afzettingen goed ontwikkeld zijn. Deze formatie is enkel aanwezig in het oosten van het studiegebied. De lithologische opbouw is voorgesteld in figuur II.4.24.

II.4.10.2 Gebied Knokke

In het gebied Knokke komen geen neogene afzettingen voor.

II.4.10.3 Gebied Sint-Laureins - Assenede

Ook in het gebied Sint-Laureins - Assenede komen geen neogene afzettingen voor.

II.4.10.4 Gebied Sint-Niklaas - Beveren

Ter hoogte van Antwerpen, bestaat het Neogeen uit 15 tot 30 m dikke afzettingen van de Formatie van Berchem. Deze formatie bestaat uit glauconiethoudend fijn zand dat plaatselijk kleihoudend kan zijn. Hierop volgt de Formatie van Kattendijk die bestaat uit glauconiethoudend weinig kleihoudend fijn zand. Aan de basis wordt meestal grint aangetroffen. Ter hoogte van Antwerpen is deze afzetting ongeveer 5 m dik. De daarop volgende Formatie van Lillo kan in vier leden worden onderverdeeld. Het Lid van Oorderen, 4 tot 7 m dik, bestaat uit glauconiethoudend fijn zand. Het Lid van Kruisschans bestaat uit een afwisseling van glauconiethoudende fijne zandlaagjes en laagjes donkergrijze klei; het is 2,5 tot 5 m dik. Het Lid van Merksem is 4 tot 11 m dik en bestaat uit glauconiethoudend fijn zand. Het uit glauconiethoudend fijn zand met kleilenzen bestaande Lid van Zandvliet is ter plaatse 2 tot 14 m dik (MAHAUDEN & DE BREUCK, 1990; DE SMET et al., 1994).

Ter hoogte van Kallo bestaan de neogene afzettingen uit een laag fijne, glauconiethoudende zanden met kleine keitjes (Formatie van Kattendijk), waarop grove schelprijke zanden, licht kleihoudend zand en fijn zand met wat schelpgruis volgen (Formatie van Lillo). Deze afzettingen zijn 22 m dik in Kallo. In Woensdrecht zijn de neogene zandige afzettingen 96 m dik. Ze bestaan er uit de Formatie van Berchem, de Formatie van Kattendijk en de Formatie van Lillo.

Meer naar het oosten, ter hoogte van de boring te Rijkevorsel zijn de zandige afzettingen van het Neogeen meer dan 150 m dik.

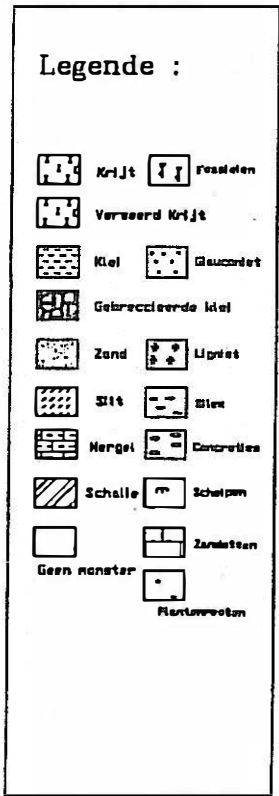
De neogene zandafzettingen vormen de meest omvangrijke watervoerende laag van Vlaanderen.

KNOKKE

ASSENEDE

KALLO

Neogeen



Figuur II.4.24. Lithologie van het Neogeen in Kallo - de neogene afzettingen komen niet voor ter hoogte van Knokke en Assenede

II.5 KWARTAIR

II.5.1 Algemeen

Vooraf in het oosten van het studiegebied en aan de kust zijn de kwartaire afzettingen van belang. In beide gebieden spelen ze hydrogeologisch een belangrijke rol.

De lithologische opbouw van de kwartaire afzettingen in de gebieden Knokke, Sint-Laureins - Assenede en Sint-Niklaas - Beveren wordt voorgesteld in figuur II.5.1.

II.5.2 Gebied Knokke

In Knokke wordt een 30 m dik kwartair pakket aangetroffen. Het bestaat vooral uit zandige, veelal gelaagde afzettingen. Het zijn estuariene en getijdevlakte afzettingen van pleistocene ouderdom. Ze behoren tot de afzettingen van de Vlaamse Vallei (TAVERNIER & DE MOOR, 1974; PAEPE & VANHOORNE, 1967).

II.5.3 Gebied Sint-Laureins - Assenede

In het gebied Sint-Laureins - Assenede bestaat het Pleistoceen uit twee zandlagen van elkaar gescheiden door een leemlaag. De holocene afzettingen zijn opgebouwd uit klei en silt (BOUGHRIBA, 1992).

In Assenede bestaat het Pleistoceen voornamelijk uit siltig fijn zand dat soms kleihoudend en/of humeus is. Regelmatig komen er leemlagen in voor. Het onderste gedeelte van het Pleistoceen bevat minder silt. Het is een fijn zand met schelpengruis, silex, grint, keitjes en zandsteen fragmenten. Het bovenliggende, in Assenede 1,5 tot 2 m dikke Holoceen bestaat uit humeuze kleiige silt en klei.

II.5.4 Gebied Sint-Niklaas - Beveren

Ter hoogte van Kallo bestaat het Pleistoceen uit zeer fijn zwart zand, waarboven kleiig veen voorkomt. Het Holoceen bestaat er uit venige polderafzettingen.

In Woensdrecht vindt men een 16 m dik pakket pleistocene zandige afzettingen. Hierboven vindt men 8 m holocene afzettingen (zandige klei, klei en veen).

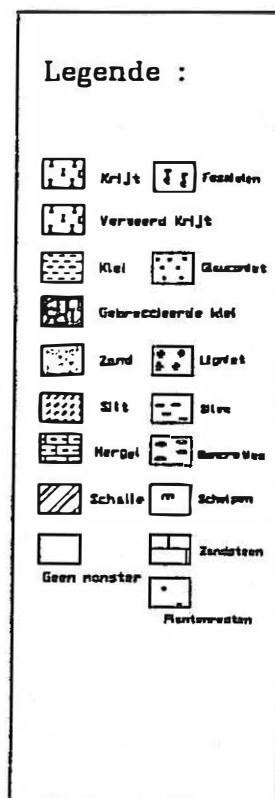
Meer naar het oosten toe, ter hoogte van Zandvliet komt, van onderen naar boven, 0 tot 15 m dik fijn tot middelmatig plio-pleistoceen zand, gevolgd door een 0 tot 12 m dik klei-veen complex, een 0 tot 6 m dikke zandlaag voor. Bovenaan vindt men een meestal minder dan 1 m dik leem-klei complex (polderafzettingen, Vallei van de Schelde) (MAHAUDEN & DE BREUCK, 1990; DE SMET et al., 1994).

KNOKKE

ASSENEDE

KALLO

Kwartair



Figuur II.5.1. Lithologie van het Kwartair in Knokke, Assenede en Kallo

II.6 BESLUIT

Door vergelijking van de geologische opbouw (Fig. II.6.1) van de verschillende gebieden en uit de isohypsen- en isopachenkaartjes, komt men tot de volgende besluiten.

- De geologische opbouw van de afzettingen onder de Landen Groep is in de drie gebieden ongeveer gelijk; de Formatie van Heers komt enkel in het gebied Sint-Niklaas-Beveren voor.
- De Formatie van Hannut is heel dun in het gebied Knokke; het is er opgebouwd uit zand. De klei van het Lid van Waterschei ontbreekt; een vrij gelijkaardige opbouw kan worden verondersteld in het gebied Sint-Laureins - Assenede.
- Onder de Formatie van Kortrijk ligt in de drie gebieden het heterogene Lid van Knokke (Formatie van Tienen).
- De basis van de Formatie van Kortrijk ligt 285 m diep te Knokke. Waarschijnlijk ligt de basis in het gebied Sint-Laureins - Assenede minstens 275 m en in het gebied Sint-Niklaas - Beveren minstens 300 m diep.
- De silt van het Lid van Mont-Héribu heeft een onregelmatige verbreiding.
- De homogene klei van het Lid van Saint-Maur is meer dan 100 m dik in het gebied Knokke en waarschijnlijk ook in het gebied Sint-Laureins - Assenede; in het gebied Sint-Niklaas - Beveren is het minder dik.
- Zowel de dikte als de heterogeniteit van het Lid van Moen nemen naar het oosten toe.
- De homogene klei van het Lid van Aalbeke komt in de drie gebieden voor.
- De silt van het Lid van Kortemark is het dikst in het gebied Sint-Niklaas - Beveren.
- Het zand van het Lid van Egem is het dikst in het gebied Sint-Niklaas - Beveren.
- De klei van het Lid van Merelbeke wordt gekenmerkt door zijn onregelmatig voorkomen.
- De tertiaire kleilaag, gevormd door de Formatie van Maldegem, komt in de drie gebieden voor.
- De tertiaire kleilaag, gevormd door de Formatie van Boom, komt enkel voor in het gebied Sint-Niklaas - Beveren.
- In de gebieden Knokke en Sint-Laureins-Assenede komt boven de Formatie van Kortrijk nog een dikke kleilaag voor (Formatie van Maldegem), in het gebied Sint-Niklaas - Beveren komen er twee dikke kleilagen boven de Formatie van Kortrijk voor (Formatie van Maldegem en de Formatie van Boom).

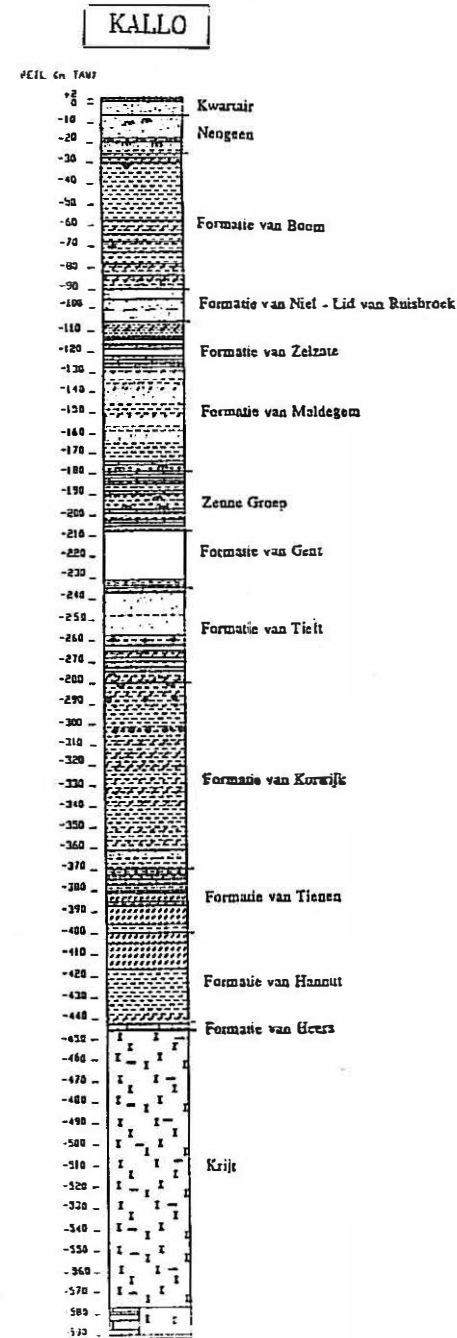
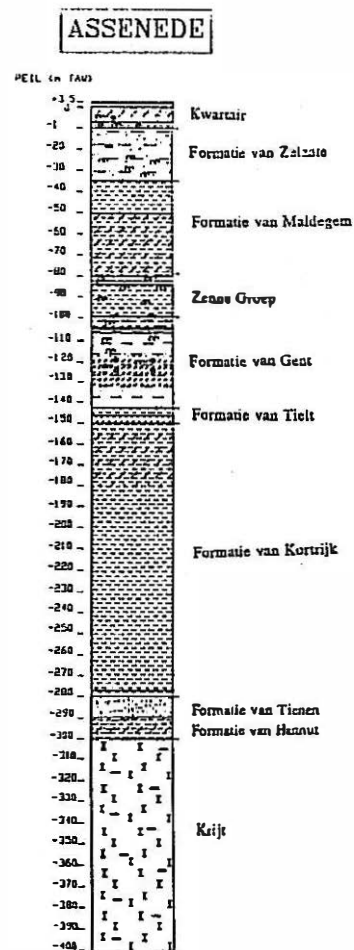
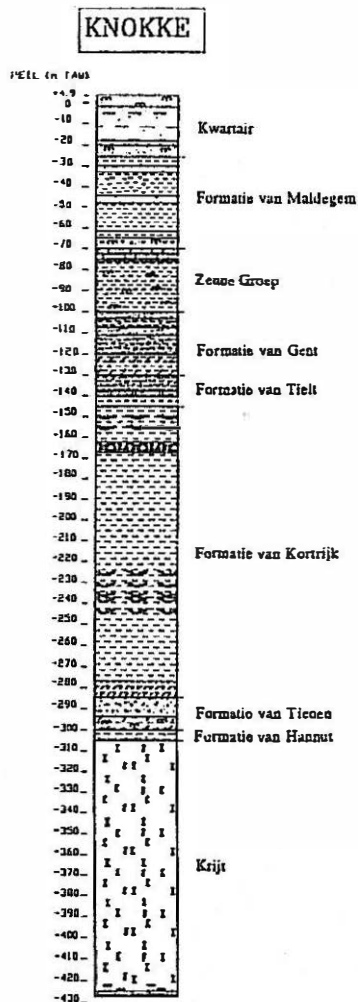
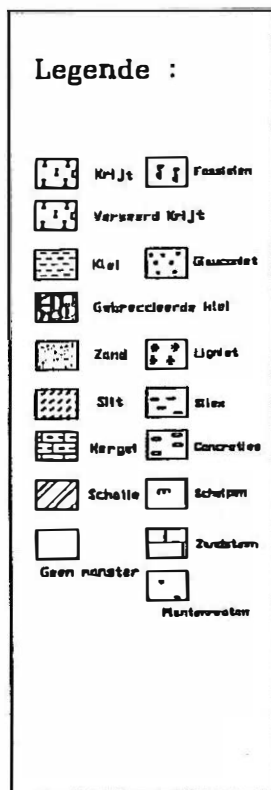


Fig. II.6.1. Lithologische doorsneden ter hoogte van Knokke, Assenede en Kallo (in Assenede is de informatie onder het Lid van Egem geïnterpoleerd)

DEEL III

HYDROGEOLOGIE

III.1 INLEIDING

In het bestek van afvalproblematiek is het nuttig om de richting en snelheid van de grondwaterstroming te kennen. Hierbij dient men rekening te houden met het feit dat exploitatie van de watervoerende lagen het natuurlijke grondwaterstromingspatroon¹ grondig kan wijzigen.

In het studiegebied zijn er geen hydraulische parameters van de onmiddellijk onder en boven de Formatie van Kortrijk voorkomende watervoerende lagen gekend.

Gegevens over de vergunde grondwaterwinningen en gekende niet-vergunde in en rond de gebieden Knokke, Sint-Laureins - Assenede en Sint-Niklaas - Beveren werden ons door de AMINAL ter beschikking gesteld. Ze werden opgenomen in tabellen en verder in de tekst. De gebieden waarvoor de grondwaterwinningen werden opgevraagd zijn voorgesteld op figuur III.1.1. Ze werden steeds ruimer genomen dan de gebieden die in aanmerking komen voor verder onderzoek.

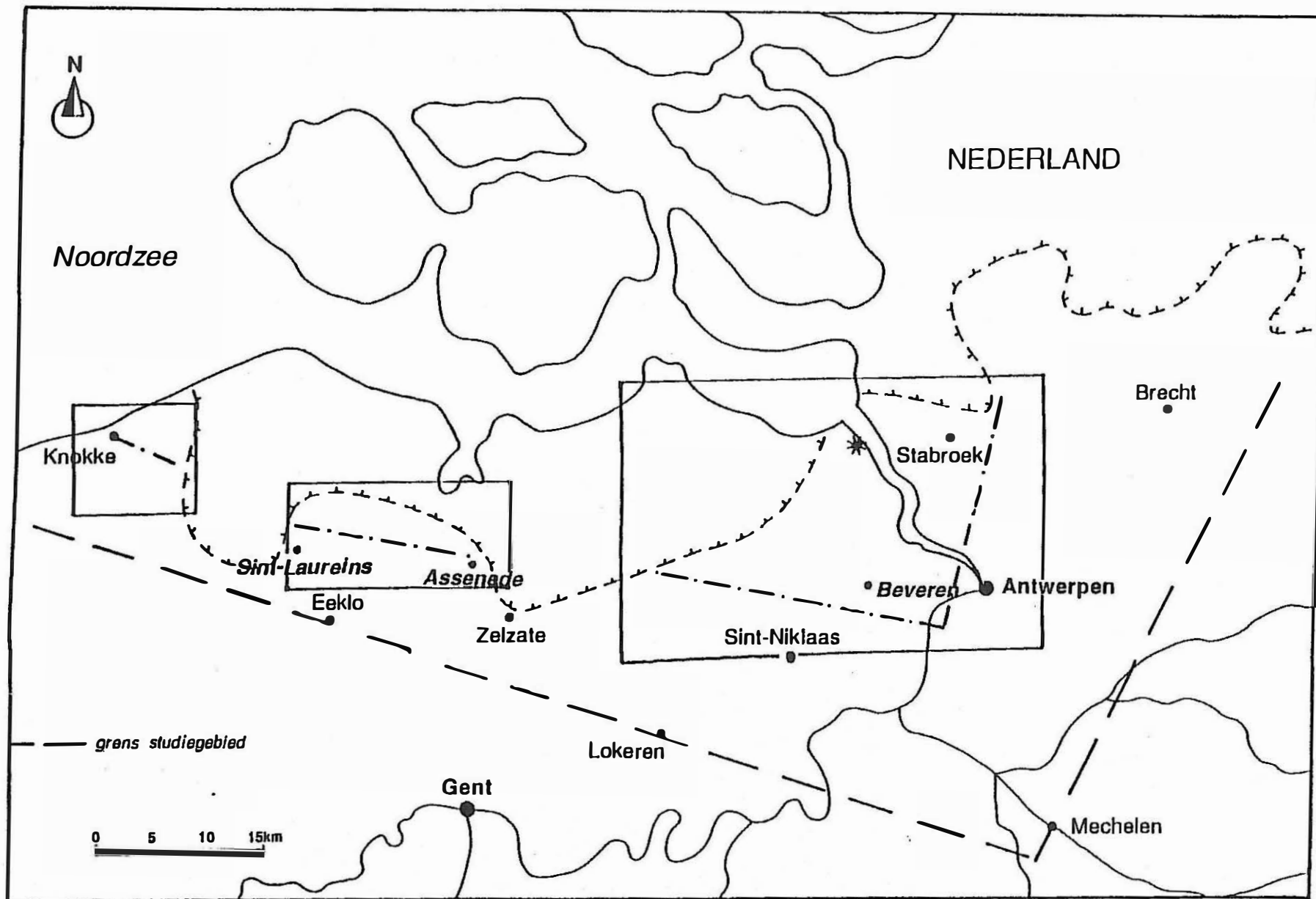
Het is aangewezen ook gegevens over de kwaliteit van het grondwater in de verschillende watervoerende lagen na te gaan. Dit met het oog op een mogelijke toekomstige waterwinning.

De hydrogeologische toestand in noordelijk België kan men als volgt schetsen:

- De duingebieden aan de kust vormen een doorlatende laag;
- De holocene klei van de polders vormt een slecht-doorlatende laag, waarvan het belang sterk plaatsafhankelijk is.
- Het Pleistoceen vormt globaal een doorlatende laag.
- De Formaties van Lillo, Kattendijk en Berchem vormen samen een doorlatende laag.
- De Formatie van Boom is een zeer slecht-doorlatende laag.
- De Formaties van Niel en Zelzate vormen samen een doorlatende laag.
- De Formatie van Maldegem is in haar geheel als een zeer slecht-doorlatende laag te beschouwen. In deze formatie komen enkele dunne watervoerende lagen (Lid van Buisputten, Lid van Onderdale en Lid van Wemmel) voor.
- De Formatie van Lede vormt samen met de Formaties van Brussel en Aalter en het bovenste deel van de Formatie van Gent een doorlatende laag (vroeger Ledo-Paniseliaan genoemd); ook het bovenliggende Lid van Wemmel van de Formatie van Maldegem behoort hydrogeologisch tot deze laag.
- Het Lid van Pittem en het Lid van Merelbeke vormen samen een slecht-doorlatende laag.
- Het Lid van Egem is een doorlatende laag.

¹ In dit verslag wordt met natuurlijk grondwaterstromingspatroon de toestand zonder pompingen bedoeld.

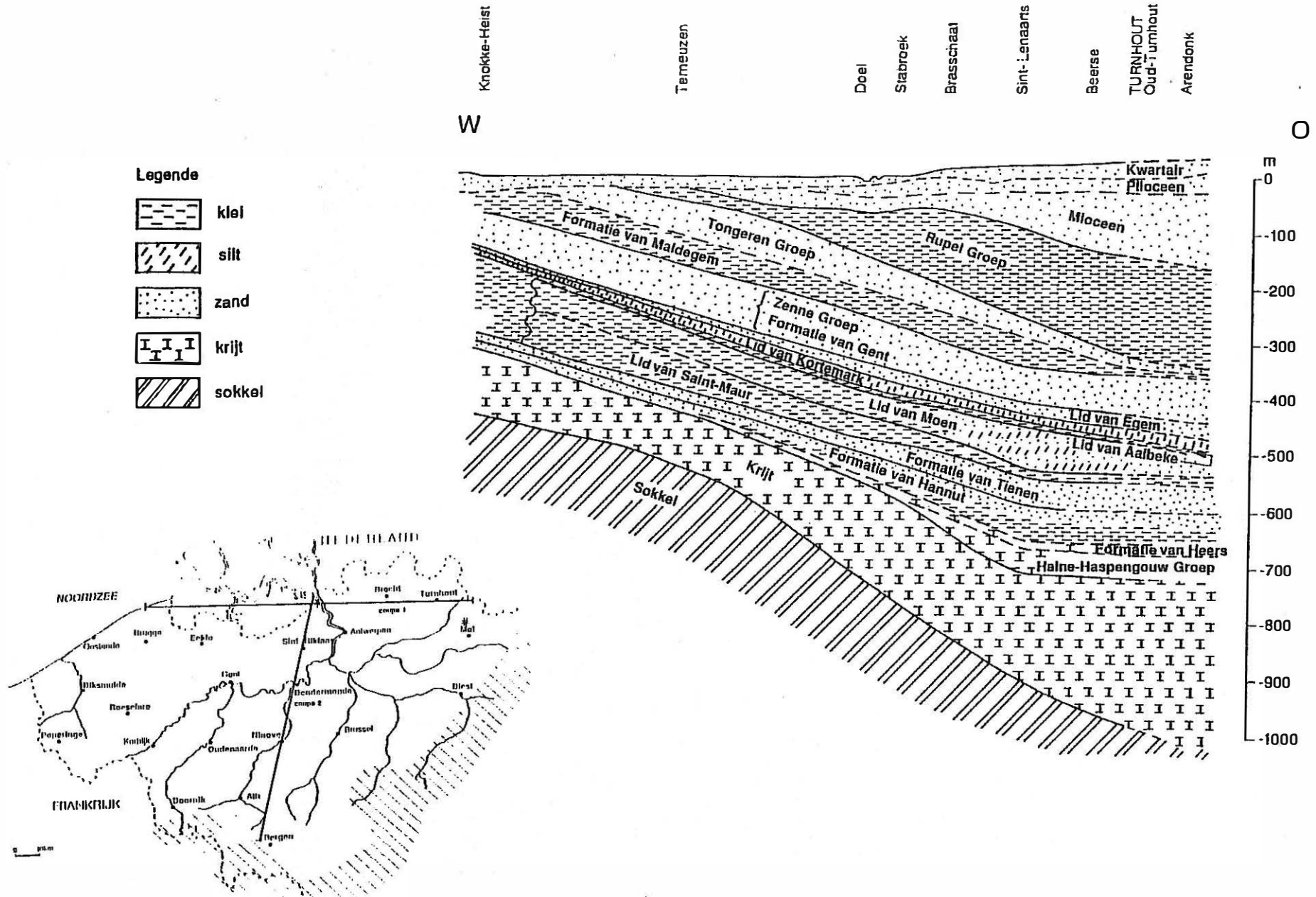
RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGG 94030)



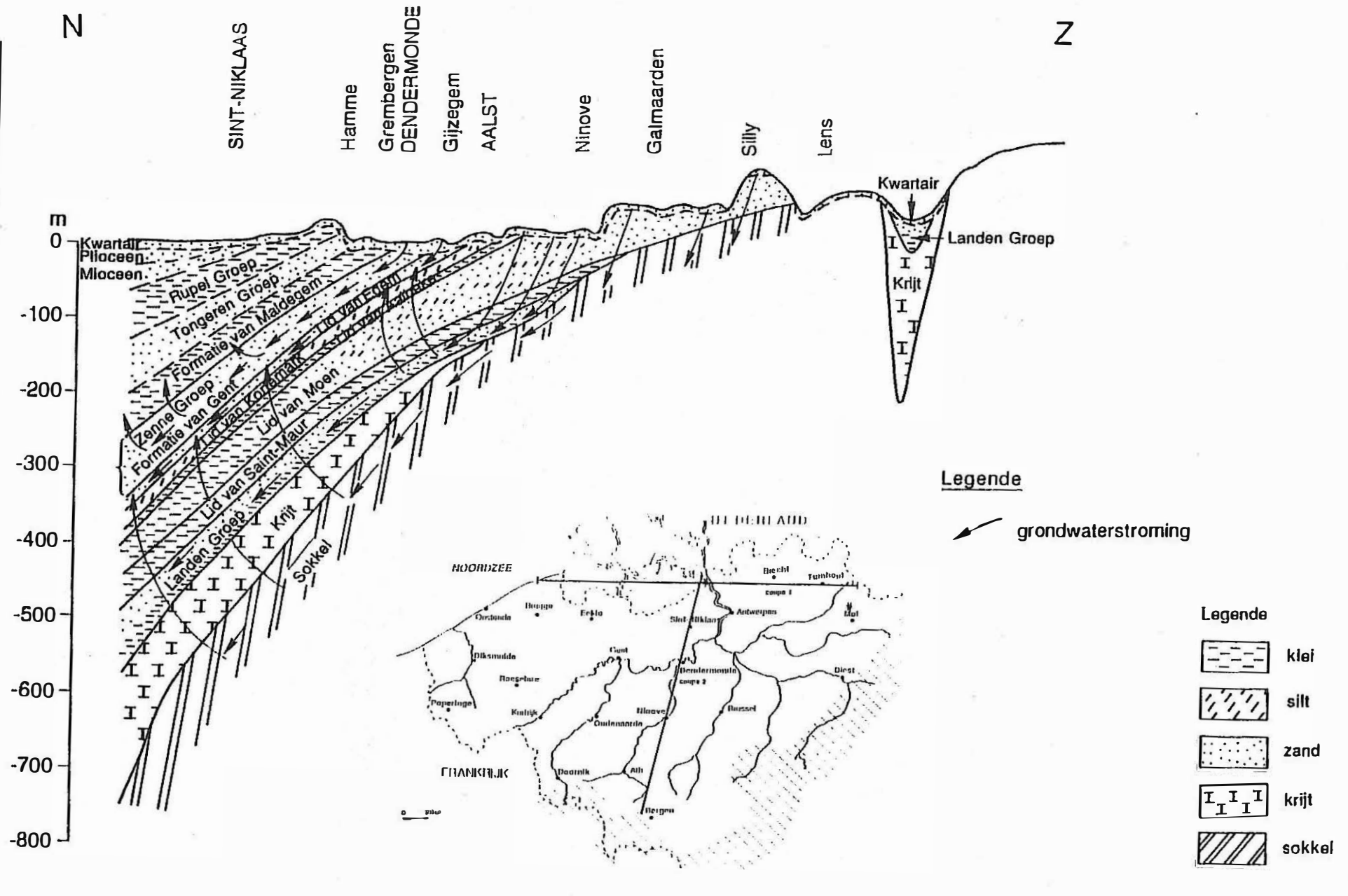
Figuur III.1.1. Zones, waarin vergunde waterwinningen werden opgevraagd :
 1) X (70 000, 82 000)Y (220 000, 230 000); 2) X (90 000, 110 000)Y (212 000, 223 000); 3) X (120 000, 158 000)Y (206 000, 233 000)

- Het Lid van Kortemark is een slecht-doorlatende laag
- De Formatie van Kortrijk vormt in haar geheel een zeer slecht-doorlatende laag.
- De Formatie van Tienen vormt meestal een doorlatende laag (plaatsafhankelijk).
- Het onderste gedeelte van de Formatie van Hannut vormt, in Noord-België samen met het Krijt, een slecht-doorlatende laag. In de Formatie van Hannut komen plaatselijk doorlatende lagen voor (o.a. het bovenste Lid van Grandglise).
- De top van de Sokkel is te beschouwen als een doorlatende laag waarvan de doorlatendheid sterk varieert.

De hydrogeologie van het studiegebied werd afgeleid uit de geologie. Deze wordt geïllustreerd aan de hand van twee profielen die oost-west (Fig. III.1.2) en noord-zuid (Fig. III.1.3) gericht zijn.



Figuur III.1.2. Doorsnede 1 - stratigrafische doorsnede van het westen tot het oosten van het land



Figuur III.1.3. Doorsnede II - stratigrafische doorsnede van het noorden tot het zuiden van het land

III.2 WATERVOERENDE LAGEN

III.2.1 Paleozoïsche Sokkel

III.2.1.1 Inleiding

De diepste watervoerende laag in het studiegebied wordt gevormd door de gesteenten van het Massief van Brabant van Cambro-Siluur ouderdom. Het bestaat uit vaste gesteenten waarvan de top, omwille van de aanwezigheid van spleten, een belangrijke watervoerende laag vormt. Het debiet, dat men uit deze gesteenten kan winnen, hangt af van de dichtheid en de uitbreiding van de spleten. Beide nemen normaal met de diepte af. Het ongespleten gedeelte van de Paleozoïsche Sokkel is zeer slecht-doorlatend en vormt de basis van het watervoerend pakket.

In het studiegebied komen deze gesteenten op een grote diepte voor, waardoor men er praktisch geen water uit onttrekt.

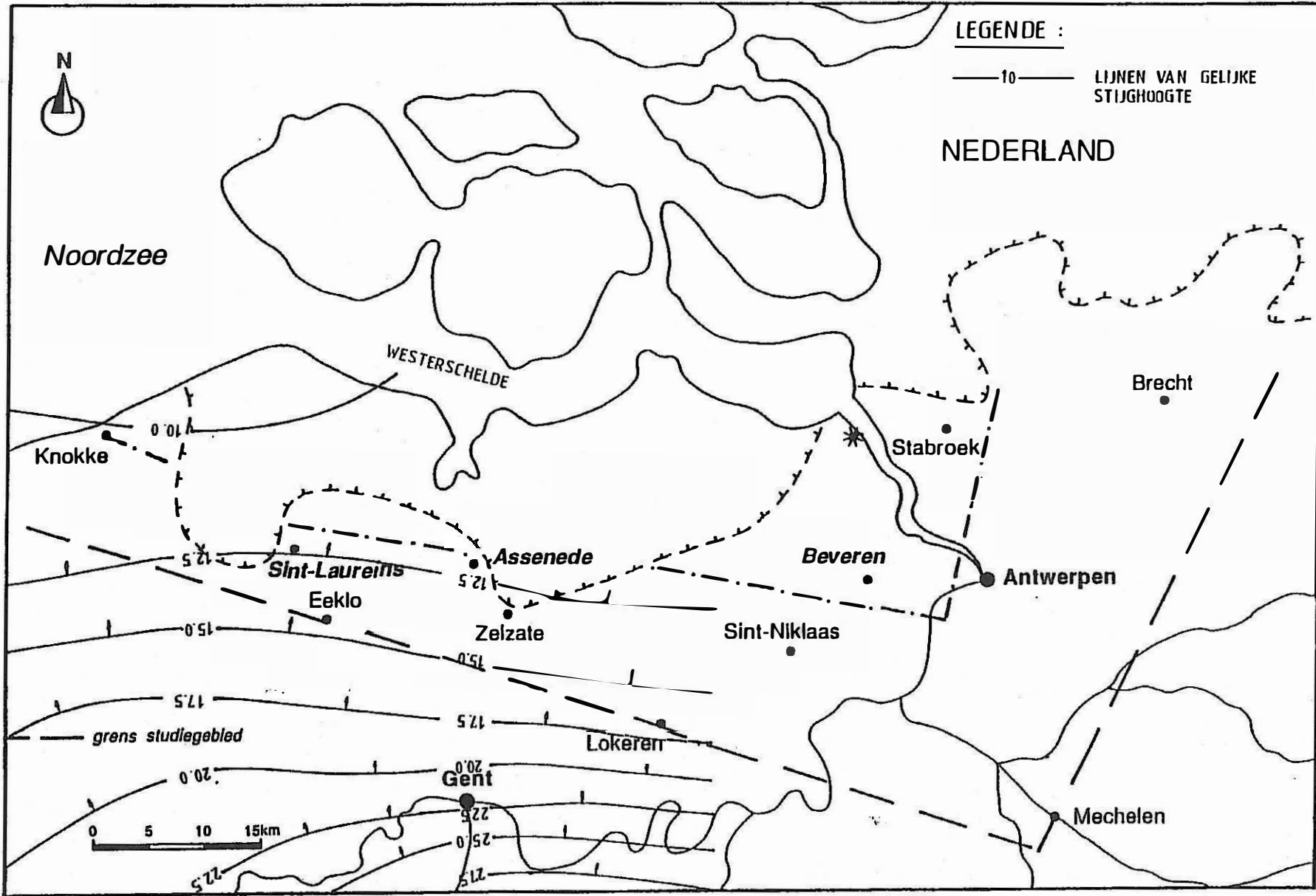
De Carboon-kalkstenen komen alleen voor in het noordoosten van het gebied Sint-Niklaas - Beveren. De doorlatendheid in de bovenste 50 m is groot en in de buurt van Wuustwezel wordt deze laag gebruikt voor de opslag van aardgas.

III.2.1.2 Grondwaterstroming

Aan de hand van de gekende opgepompte debieten werd een mathematisch model opgesteld (LEBBE et al., 1987), waarmee de natuurlijke grondwaterstroming in het Massief van Brabant gesimuleerd werd. De stijghoogtelijnen zijn voorgesteld in figuur III.2.1. Het grondwater stroomde vanuit het zuidoosten in noordelijke en westelijke richting. De voeding van de beschouwde watervoerende laag gebeurde in natuurlijke toestand hoofdzakelijk in de hoger gelegen gebieden, door de Formatie van Kortrijk heen. In het studiegebied deed zich een opwaartse stroming voor (Fig. III.2.2).

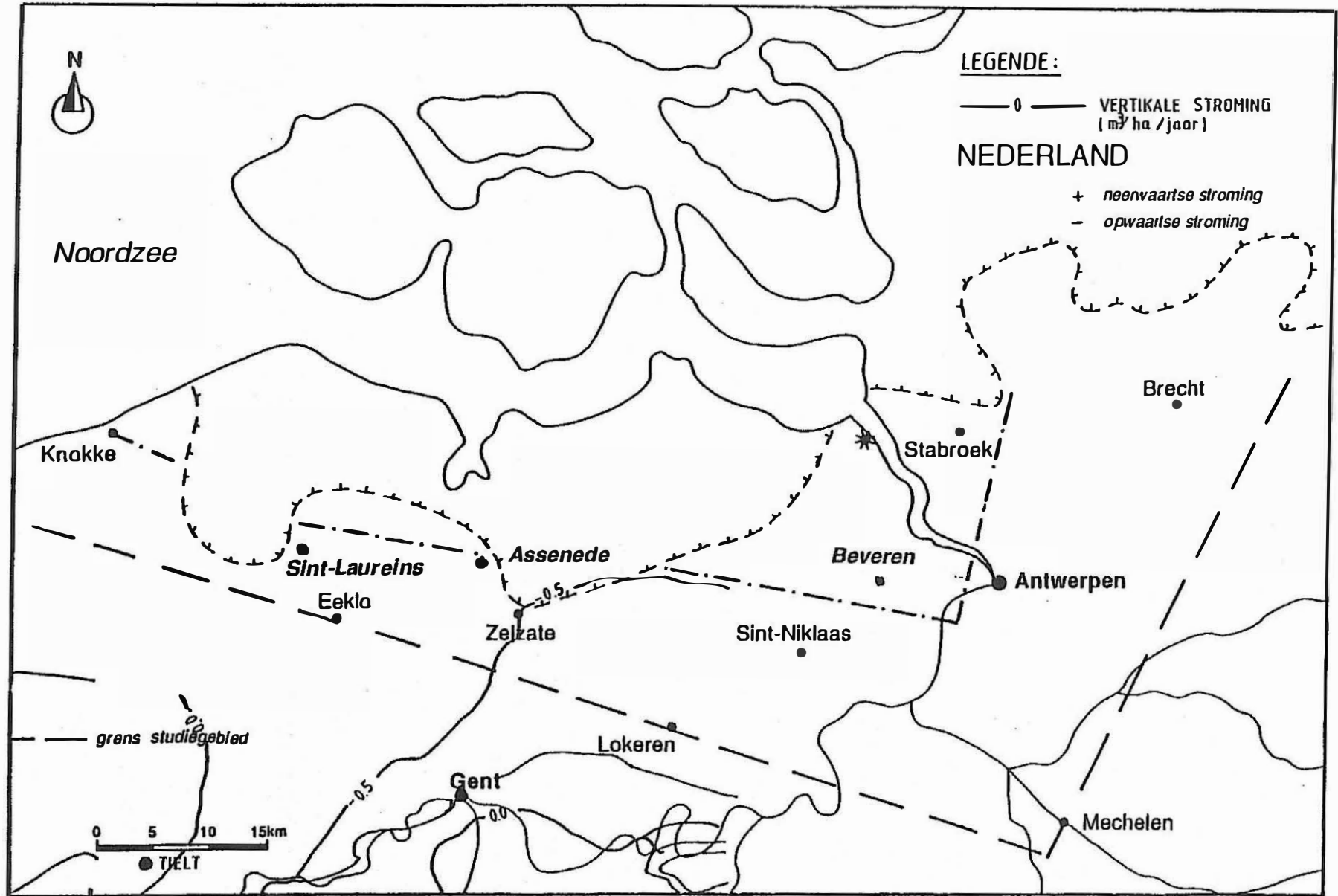
Door exploitatie van het Massief van Brabant zijn er, vooral in de streek rond Roeselare, rond Waregem en rond Aalst, afpompingsstreektoren ontstaan. Hierdoor is het natuurlijke grondwaterstromingspatroon verstoord (DE CEUCKELAIRE et al., 1986). Volgens het hydrogeologisch mathematisch model is de huidige horizontale grondwaterstroming in de gebieden Knokke en Sint-Laureins - Assenede naar het zuidwesten gericht (Fig. II.2.3). In het gebied Sint-Niklaas - Beveren zijn geen gegevens over de stijghoogtelijnen beschikbaar. Op figuur II.2.4 is de verticale stroming tussen de Paleozoïsche Sokkel en de Landen Groep voorgesteld. In de gebieden Knokke en Sint-Laureins - Assenede doet zich een neerwaartse stroming voor.

RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)

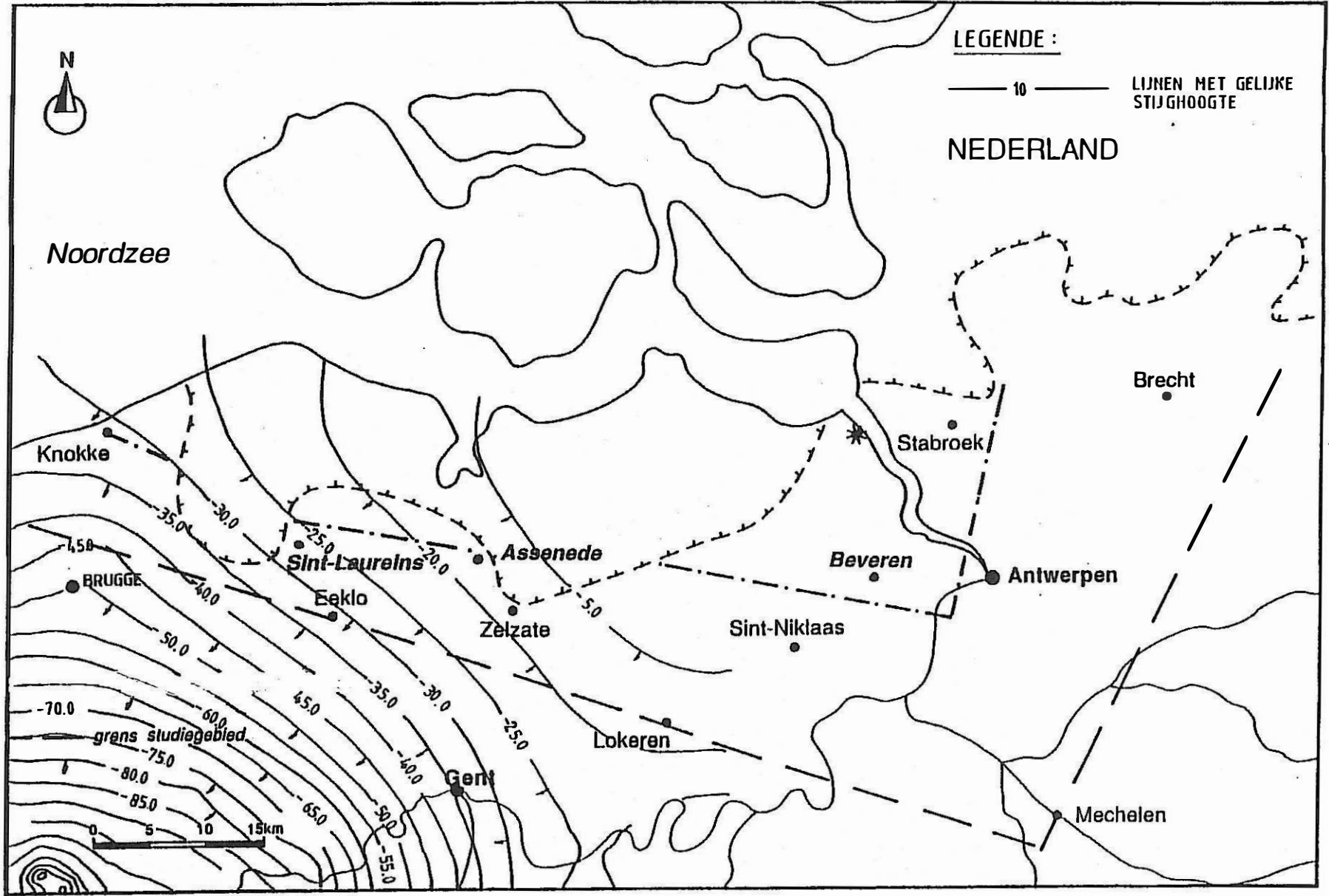


Figuur III.2.1. Stijghoogte in de paleozoïsche sokkel - natuurlijke toestand (naar LEBBE et al., 1987)

RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)

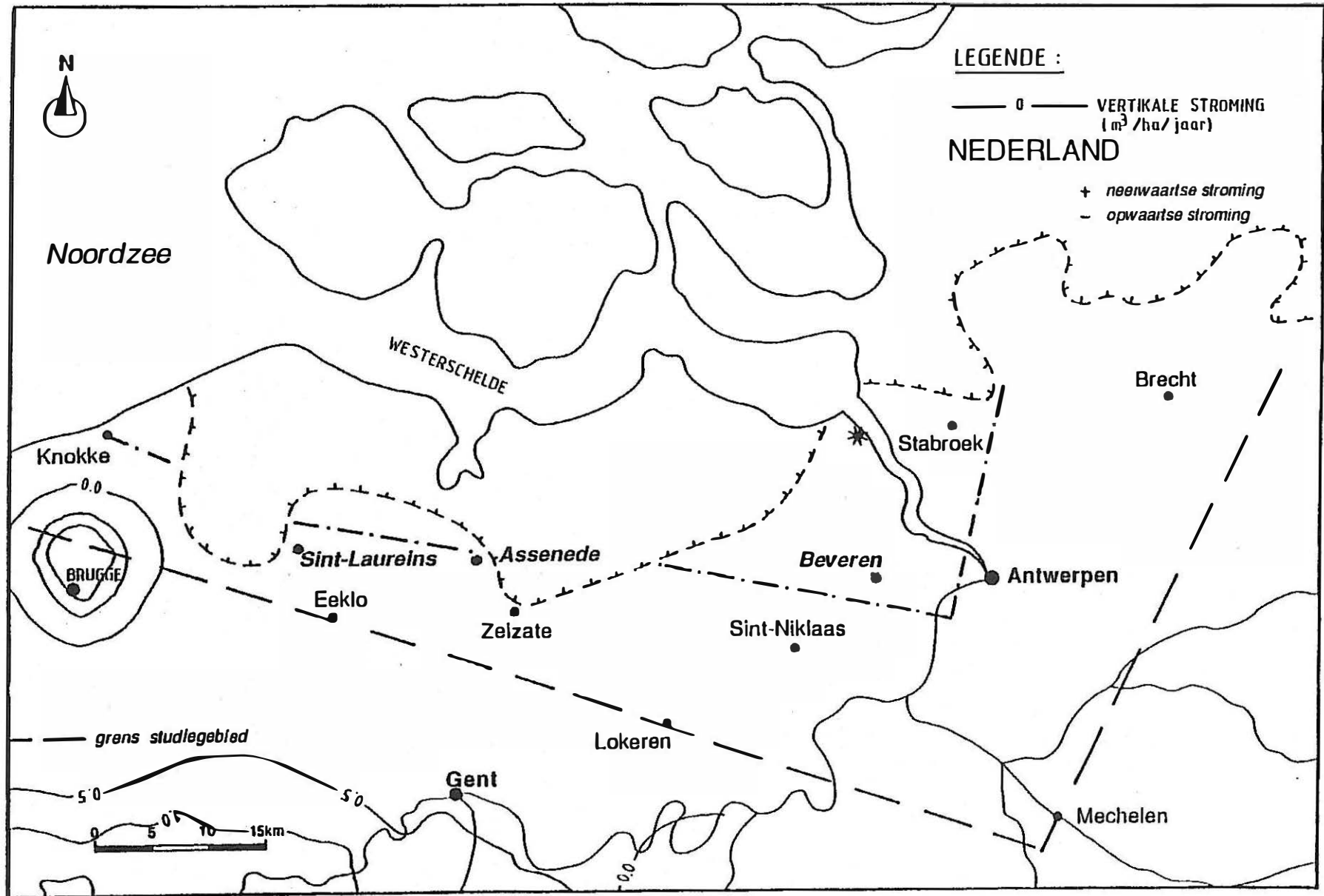


Figuur III.2.2. Verticale stroming tussen sokkel en Landen Groep - natuurlijke toestand (naar LEBBE et al., 1987)



RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)

Figuur III.2.3. Stijghoogte in de paleozoïsche sokkel - toestand met waterwinningen (naar LEBBE et al., 1987)



Figuur III.2.4. Verticale stroming tussen sokkel en Landen Groep - toestand met waterwinningen (naar LEBBE et al., 1987)

III.2.1.3 Doorlatendheid

De doorlatendheid van de Sokkel hangt af van de dichtheid van het spletnet in de gesteenten. Deze dichtheid vermindert met de diepte. In het gebied Knokke en het gebied Sint-Laureins - Assenede werd met het mathematische model een transmissiviteit van $5,79 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ bepaald (LEBBE et al., 1987). In het gebied Sint-Niklaas - Beveren zijn er geen gegevens beschikbaar.

III.2.1.4 Grondwaterwinningen

In de gebieden die in aanmerking komen voor verder onderzoek zijn in de Paleozoïsche Sokkel geen grondwaterwinningen vergund.

Belangrijke grondwaterwinningen in de Sokkel situeren zich vooral in het zuidwesten van Vlaanderen.

III.2.1.5 Grondwaterkwaliteit

De kwaliteit van het grondwater (Fig. III.2.5) is het resultaat van de vermenging van fossiel zeewater met in het voedingsgebied infiltrerend zoet water. Ze is gekoppeld aan de kationuitwisseling van infiltrerend water met de kleilagen in de ondergrond.

De waarnemingspunten van de grondwaterkwaliteit van de Sokkel zijn geconcentreerd in het zuidoostelijk deel van Vlaanderen. In het overige deel kan men de kwaliteitsverdeling slechts bij benadering bepalen (WALRAEVENS et al., 1989).

De gegevens voor de gebieden Knokke, Sint-Laureins - Assenede en Sint-Niklaas - Beveren zijn eerder beperkt.

a. Gebied Knokke

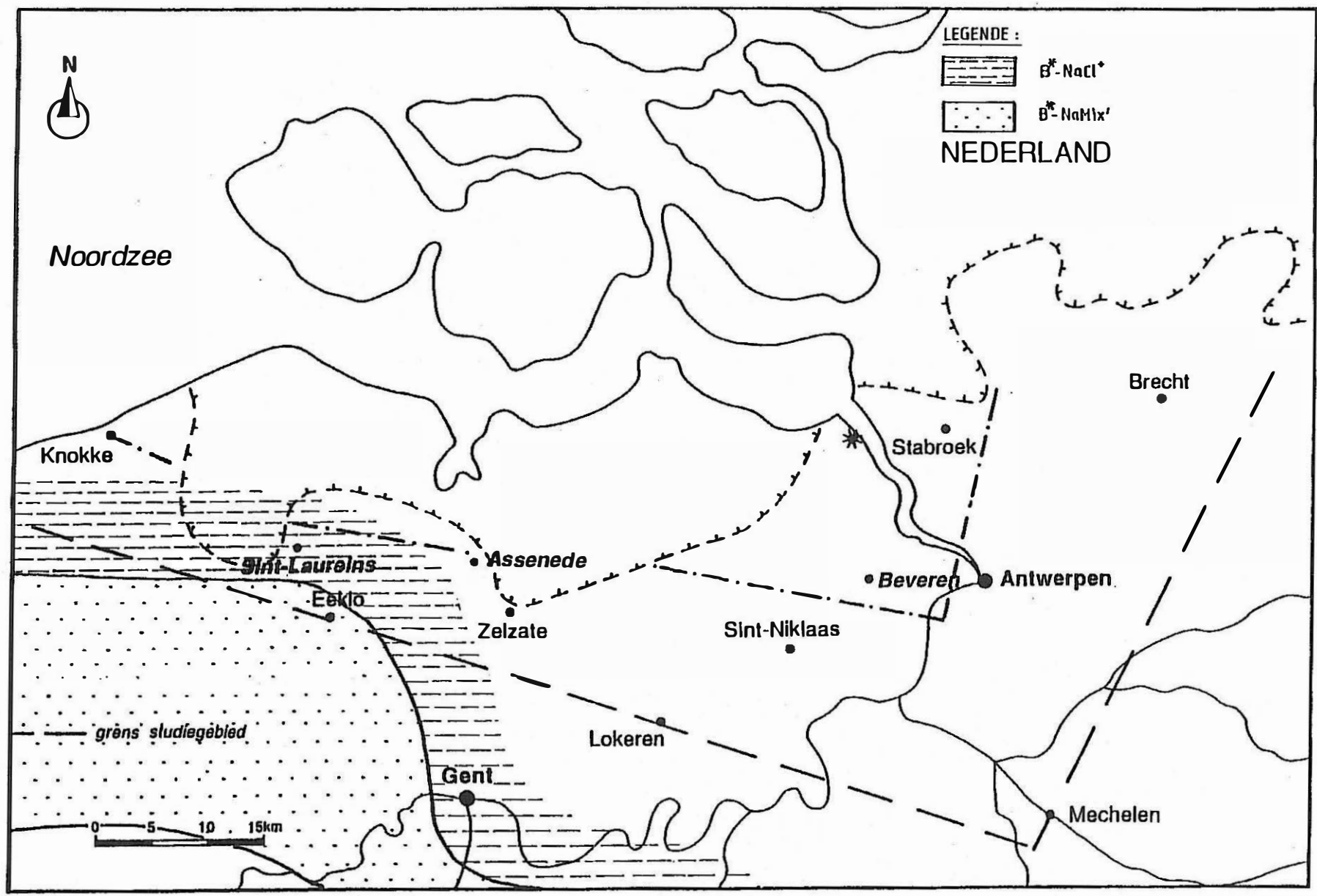
In het gebied Knokke zijn geen gegevens over de grondwaterkwaliteit in het Massief van Brabant beschikbaar. Men kan veronderstellen dat de mariene invloed er minstens even groot is als in het gebied Sint-Laureins - Assenede (zie verder) en dat het grondwater dus verzilt is.

b. Gebied Sint-Laureins - Assenede

Het zuidwestelijk deel van het gebied Sint-Laureins - Assenede valt binnen het gebied met de sterkste mariene invloed op het grondwater in het Massief van Brabant (WALRAEVENS et al., 1989). Het bevat brak tot zout, zeer zacht water van het NaCl-type. Het grondwater van de Sokkel bevat er voor meer dan 50 % van de anionsom chloride-ionen (Fig. III.2.5). Voor het overige gedeelte zijn geen gegevens beschikbaar.

c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren

In het gebied Sint-Niklaas - Beveren zijn geen gegevens over de grondwaterkwaliteit in het Massief van Brabant beschikbaar. Men kan veronderstellen dat het grondwater uit de Paleozoïsche Sokkel er eveneens verzilt is.



RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)

Figuur III.2.5. Voorkomen van de verschillende watertypes in de sokkel (classificatie volgens STUYFZAND, 1986) (naar WALRAEYENS et al., 1990)

III.2.2 Landen Groep

III.2.2.1 Inleiding

In het zuidwesten van Vlaanderen vormt het bovenste gedeelte van de Landen Groep (de zandige Formatie van Tienen) de bovenste belangrijke watervoerende laag onder de Formatie van Kortrijk.

Het onderste slecht-doorlatende gedeelte van de Formatie van Hannut bestaat voornamelijk uit klei (Lid van Waterschei) en silt (Lid van Halen). Het bovenste gedeelte van de Formatie van Hannut (Lid van Grandglise) is watervoerend.

a. *Gebied Knokke*

Ter hoogte van de boring te Knokke is de Formatie van Hannut zeer dun. Ze is opgebouwd uit kleiig zand. De heterogene Formatie van Tienen is er voornamelijk opgebouwd uit fijn zand en kan als doorlatend beschouwd worden.

b. *Gebied Sint-Laureins - Assenede*

In dit gebied zijn geen gegevens over de Landen Groep beschikbaar. Via extrapolatie kan men aannemen dat ze er zoals te Knokke voornamelijk uit fijn zand bestaat.

c. *Gebied Sint-Niklaas - Beveren*

Ter hoogte van de boring te Kallo is de Formatie van Hannut ongeveer 43 m dik. Ze bestaat er van onderen naar boven uit een 26 m dikke laag harde schilferachtige klei, een 11 m dikke laag siltsteen en een 6 m dikke laag silteus zand. Dit laatste kan als watervoerend worden beschouwd. De bovenliggende Formatie van Tienen bestaat uit 24 m heterogene afzettingen, waarvan de fijnzandige watervoerend zijn. De onderste 12 m bestaat vooral uit silt en klei terwijl erboven een afwisseling van klei- en zandrijke lagen voorkomt.

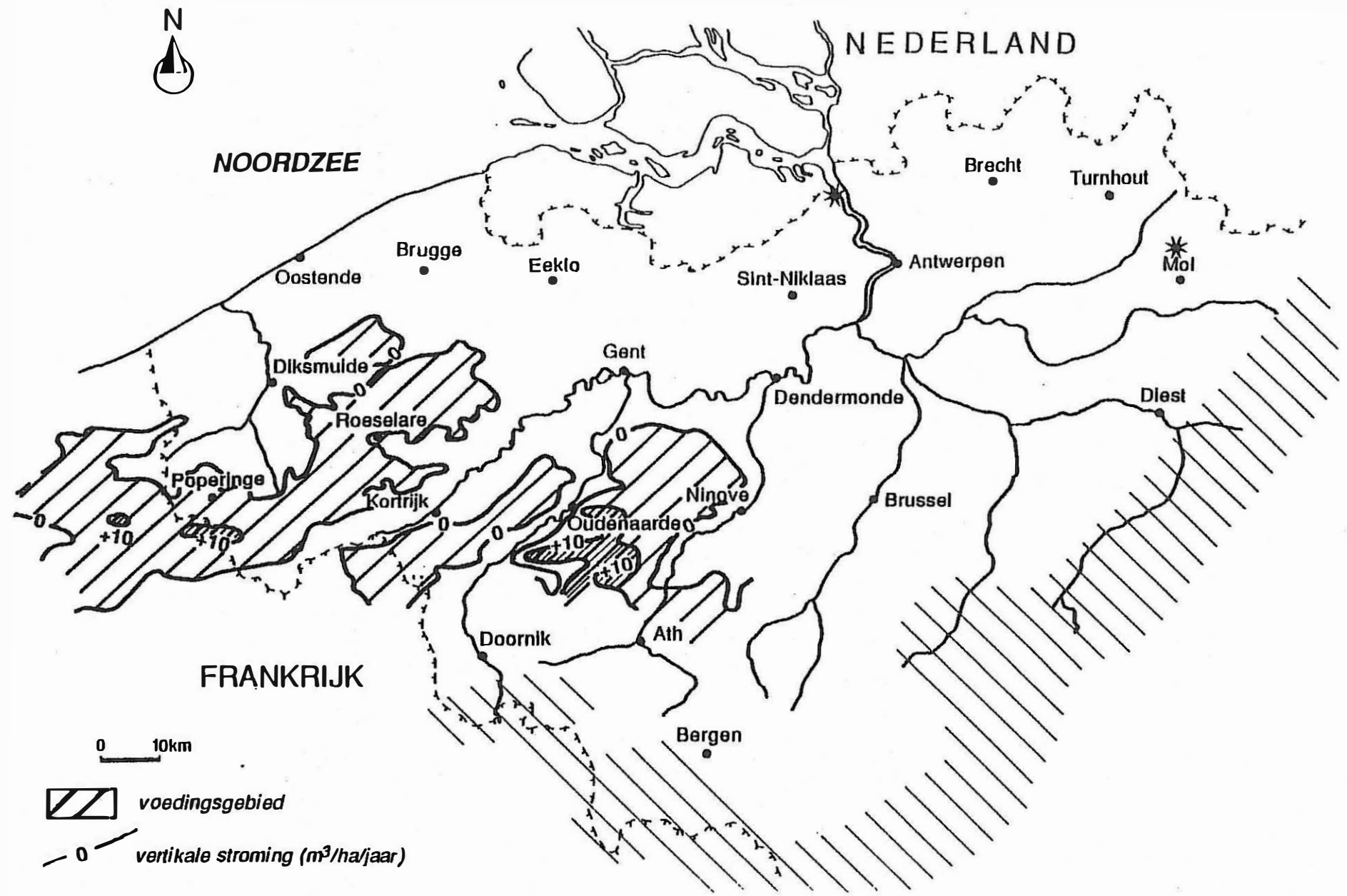
III.2.2.2 Grondwaterstroming

Via mathematische modellering heeft men getracht een beeld te krijgen van de stijghoogte in de Landen Groep in natuurlijke omstandigheden (LEBBE et al., 1988). In deze toestand stroomt het grondwater in noord-noordwestelijke richting in het westen tot noordelijke richting in het noorden.

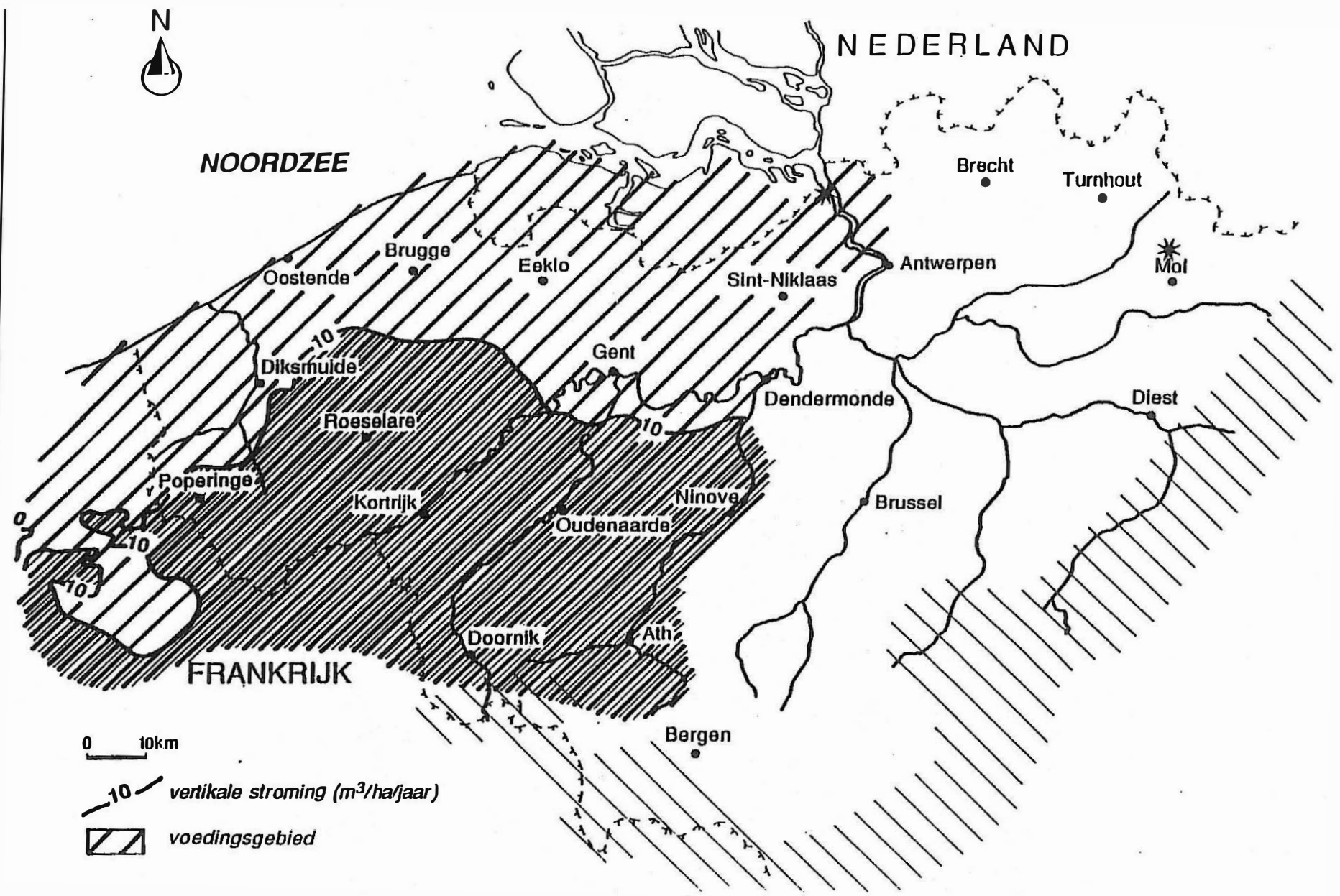
Het mathematisch model geeft aan dat in natuurlijke toestand in de hoger gelegen zones de stroming neerwaarts gericht was (Fig. III.2.6). De voeding gebeurde in deze gebieden hoofdzakelijk doorheen de Formatie van Kortrijk waarbij de Zuidvlaamse heuvelrij een belangrijke rol speelde. In deze gebieden zou de jaarlijkse voeding meestal tussen 0 en 10 m³ per ha per jaar zijn geweest. Lokaal zou er een grotere infiltratie opgetreden zijn (LEBBE et al., 1988).

In het grootste gedeelte van het gebied deed zich echter een opwaartse stroming voor, die meestal jaarlijks minder dan 2 m³ per ha zou hebben bedragen. Deze toestand is nu echter drastisch gewijzigd (Fig. III.2.7); in bijna gans Oost- en West-Vlaanderen sijpelt water door

RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)



Figuur III.2.6. Verticale stroming tussen de Londen Groep en de Formatie van Kortrijk (natuurlijke toestand) (in m³/ha/jaar) (naar VAN CAMP et al., 1987)



RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 04030)

Figuur III.2.7. Verticale stroming tussen de Landen Groep en de Formatie van Kortrijk (toestand met waterwinningen) (in m³/ha/jaar) (naar VAN CAMP et al., 1987)

heen de Formatie van Kortrijk in de Landen Groep (zelfs in de valleien van Schelde, Leie en Dender, waar in natuurlijke toestand een opwaartse stroming plaatshad); in een groot gedeelte van het gebied bedraagt de jaarlijkse infiltratie nu 10 m^3 per ha. Het zand van de Landen Groep wordt gevoed doorheen de Formatie van Kortrijk (WALRAEVENS et al., 1990).

Figuur III.2.8 toont het huidige stijghoogtepatroon in de Landen Groep (DE BREUCK et al., 1988). Meer naar het zuiden van de provincie West-Vlaanderen komen er enkele diepe trechters voor in het patroon. Deze zijn veroorzaakt door de plaatselijke industrie. In 1920 schommelden de meeste waterpeilen tussen + 10 en + 20 (Fig. III.2.9), wat de natuurlijke situatie, zonder winningen, benaderde (DE CEUKELAIRE et al., 1992). Deze natuurlijke toestand werd berekend via mathematische modellering (LEBBE et al., 1988).

a. Gebied Knokke

In het gebied Knokke is de huidige horizontale grondwaterstroming zuidwestwaarts gericht, terwijl de natuurlijke stroming naar het noordwesten was gericht.

b. Gebied Assenede - Sint-Laureins

In het gebied Sint-Laureins - Assenede is de huidige horizontale grondwaterstroming naar het zuidwesten gericht. In natuurlijke toestand verliep het grondwaterstromingspatroon noordwestwaarts.

c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren

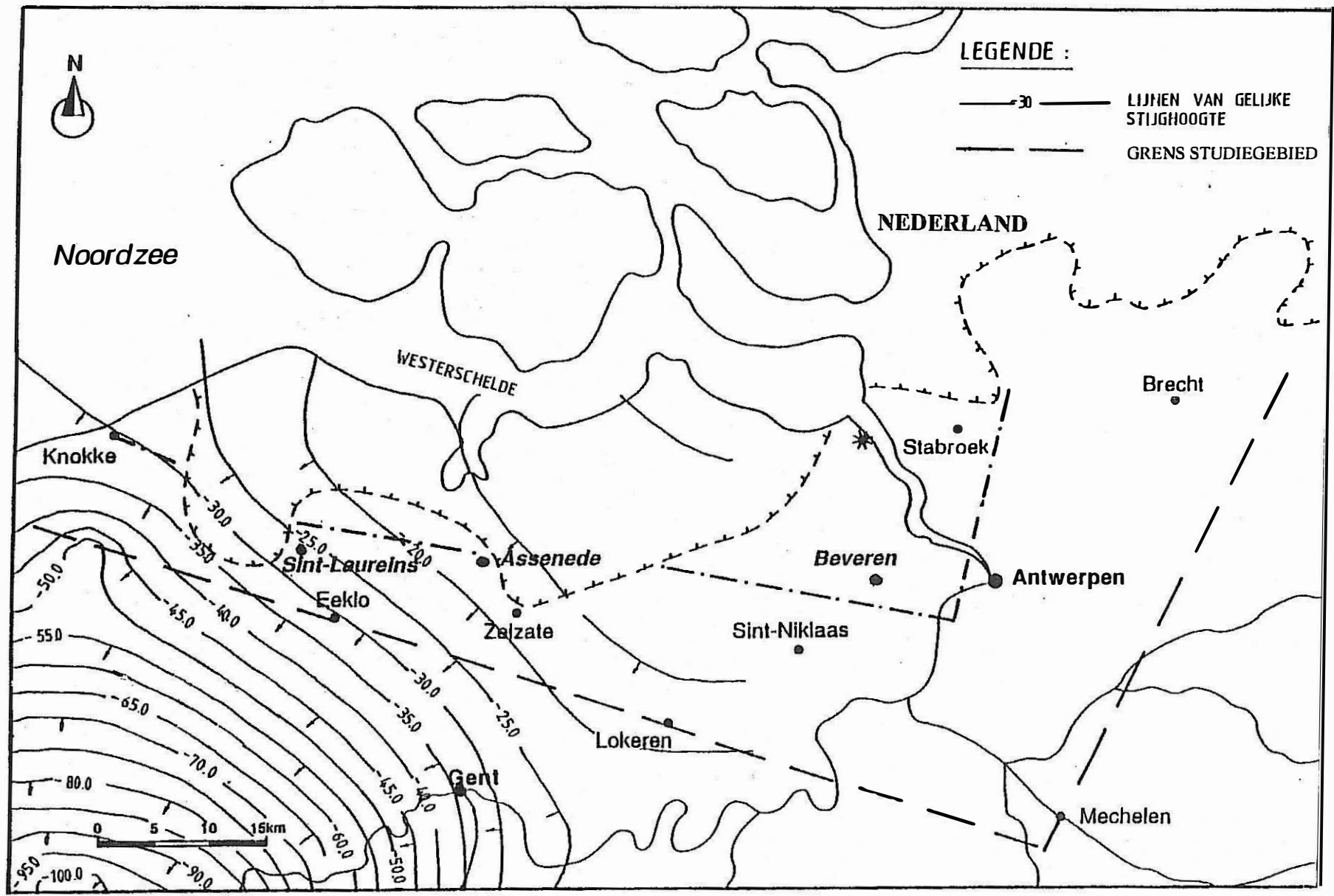
In het gebied Sint-Niklaas - Beveren zijn geen gegevens over de richting van de horizontale grondwaterstroming bekend.

III.2.2.3 Doorlatendheid

De doorlatendheid van de Formatie van Tienen hangt samen met de sterk variërende lithologische samenstelling. De zandige lagen zijn watervoerend. Door de heterogene samenstelling van de Formatie van Tienen heeft deze een eerder doorlatend karakter.

Uit de grondwaterstanden kan men afleiden dat een groot aantal winningen niet aangegeven zijn. Er zijn weinig gegevens over de laag in natuurlijke omstandigheden bekend (LEBBE et al., 1988).

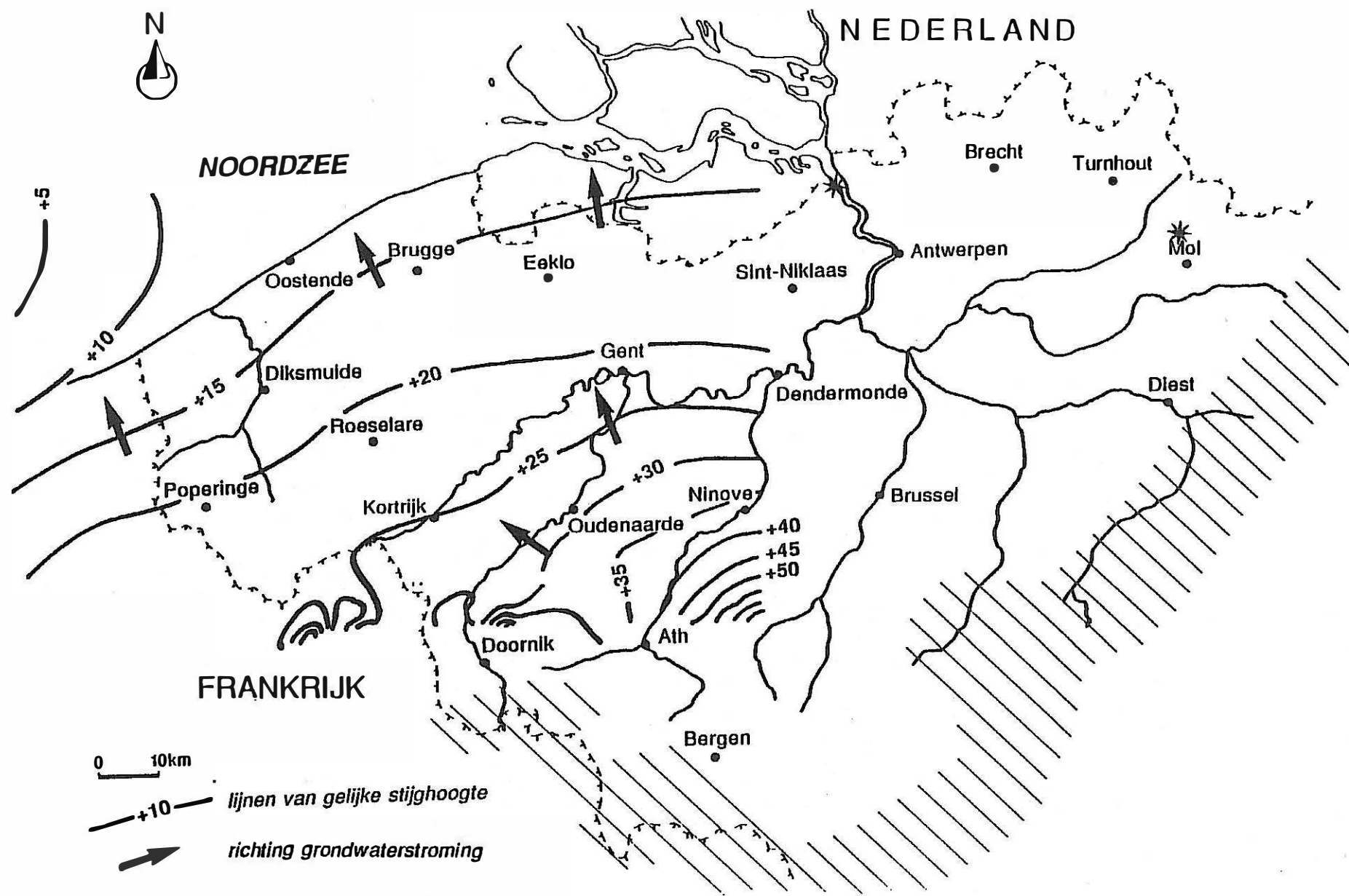
De hydraulische parameters, bepaald door het LTGH uit pompproeven in de Landen Groep, zijn in dit verslag opgenomen (Tab. III.2.1). Het gaat om pompproeven te Poperinge (LEBBE et al., 1989), te Oostduinkerke (LEBBE et al., 1993) en te Ronse (GAUS, 1994). Deze pompproeven werden d.m.v. een invers model geïnterpreteerd.



RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)

Figuur III.2.8. Stijghoogte in de zanden van de Landen Groep - toestand met grondwaterwinningen (naar LEBBE et al., 1987)

RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)



Figuur III.2.9. Stijghoogtepatroon in de Landen Groep in West- en Oost-Vlaanderen, natuurlijke toestand (naar WALRAEYENS et al, 1990)

Hydraulische parameter (eenheid)	Poperinge	Oostduinkerke	Ronse
k^h (m/s)	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$1,35 \cdot 10^{-5}$
S'_A (m ⁻¹)	$1 \cdot 10^{-5}$	$0,411 \cdot 10^{-5}$	$0,41 \cdot 10^{-4}$
k^v (m/s)	$6,94 \cdot 10^{-9}$	$1,68 \cdot 10^{-9}$	

Tabel III.2.1 - Gegevens afgeleid uit pompproeven uitgevoerd in de Landen Groep

k^h = horizontale doorlatendheid
 S'_A = specifieke elastische berging
 k^v = verticale doorlatendheid

Te Poperinge is de Landen Groep ongeveer 108 m dik. Ze omvat een 19 m dik slecht-doorlatend kleipakket onderaan (Formatie van Hannut) en een zandpakket bovenaan (Formatie van Tienen). Te Poperinge onderscheidt men drie doorlatende lagen, de Sokkel, de Formatie van Tienen en het Kwartair, die respectievelijk worden gescheiden door het Krijt samen met de Formatie van Hannut en door de Formatie van Kortrijk. De doorlatendheid van de Formatie van Tienen bedraagt $1,5 \cdot 10^{-5}$ m/s. De specifieke elastische berging van het zand bedraagt $1 \cdot 10^{-5}$ m⁻¹. De Formatie van Hannut heeft er een verticale doorlatendheid van $6,94 \cdot 10^{-9}$ m/s.

Te Oostduinkerke vormt het Kwartair een bovenste freatisch watervoerende laag. Daaronder vindt men de Formatie van Kortrijk (zeer slecht-doorlatend), de Formatie van Tienen (afgesloten watervoerende laag) en de Formatie van Hannut (slecht-doorlatend). Lager vormen de Krijtafzettingen met de daaronder liggende Sokkelafzettingen de onderste afgesloten watervoerende laag. De horizontale doorlatendheid van de Formatie van Tienen bedraagt $1,8 \cdot 10^{-6}$ m/s en de specifieke elastische berging $0,411 \cdot 10^{-5}$ m⁻¹. De gemiddelde verticale doorlatendheid van de slecht-doorlatende Formatie van Hannut bedraagt $1,68 \cdot 10^{-9}$ m/s.

In een te Ronse uitgevoerde pompproef in de Landen Groep werd het Lid van Grandglise, behorend tot de Formatie van Hannut aangepompt (GAUS, 1994). De hydraulische doorlatendheid aan de top van het lid bedraagt er $1,35 \cdot 10^{-5}$ m/s, de specifieke elastische berging $0,41 \cdot 10^{-4}$ m⁻¹. De horizontale doorlatendheid in de basis van het Landeniaan kon te Ronse moeilijk berekend worden. De waarde van $1,28 \cdot 10^{-5}$ m/s geeft enkel een grootte-orde aan.

De bekomen waarde te Ronse voor de horizontale doorlatendheid is groter dan deze bekomen bij de pompproeven te Poperinge en te Oostduinkerke. Deze geringere doorlatendheid van de Landen Groep in het NW van Vlaanderen is een gevolg van de grotere compactie van de laag door de omvangrijke deklagen. Te Oostduinkerke bereikt de Formatie van Kortrijk een dikte van 108 m ten opzichte van 11 m te Ronse. De pompproeven in het noordwesten van het land gebeurden in de Formatie van Tienen, te Ronse in het Lid van Grandglise. Voor de specifieke elastische berging meet men te Ronse ongeveer 10 maal grotere waarden dan te Poperinge en te Oostduinkerke.

III.2.2.4 Grondwaterwinningen

Volgens de officiële gegevens werden in 1990 in Oost- en West-Vlaanderen 861 008 m³ water

uit de Landen Groep opgepompt. Het vergunde debiet voor 1990 bedroeg 1.435.251 m³. Uit de inventaris van de Landenaanputten in West- en Oost-Vlaanderen (DE BREUCK et al., 1987) bleek dat er in 1986 ongeveer 1,5 miljoen m³ werd gewonnen. Naar aanleiding van de ijking van een mathematisch model werd vastgesteld dat de opgepompte waterhoeveelheid echter 2,5 miljoen m³ bedroeg (LEBBE et al., 1988).

De variaties in het opgepompte debiet zijn het grootst in West-Vlaanderen waar het debiet in 1989 het zesvoudige van dat in 1988 bedroeg. Dit is niet alleen een gevolg van een toename in de gewonnen hoeveelheid grondwater, maar heeft wellicht ook te maken met een betere melding van de gegevens. Aangezien de vergunde debieten voor de beschouwde jaren ongewijzigd zijn gebleven, mag men aannemen dat er geen belangrijke grondwaterwinningen in de Formatie van Tienen zijn bijgekomen (BOLLE & DE BREUCK, 1993).

a. Gebied Knokke

Volgens de gegevens van de AMINAL is er in Heist-aan-Zee een waterwinning, klasse A (vergund debiet: 10 950 m³/d), in de Landen Groep vergund. De opgegeven diepte (135 m) stemt niet in overeen met de diepte waarop de Landen Groep in dit gebied voorkomt. Mogelijk gaat het hier over een winning in het Lid van Egem.

b. Gebied Sint-Laureins - Assenede

In dit gebied zijn er geen waterwinningen in de Landen Groep vergund.

c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren

In het gebied zijn geen waterwinningen in de Landen Groep vergund.

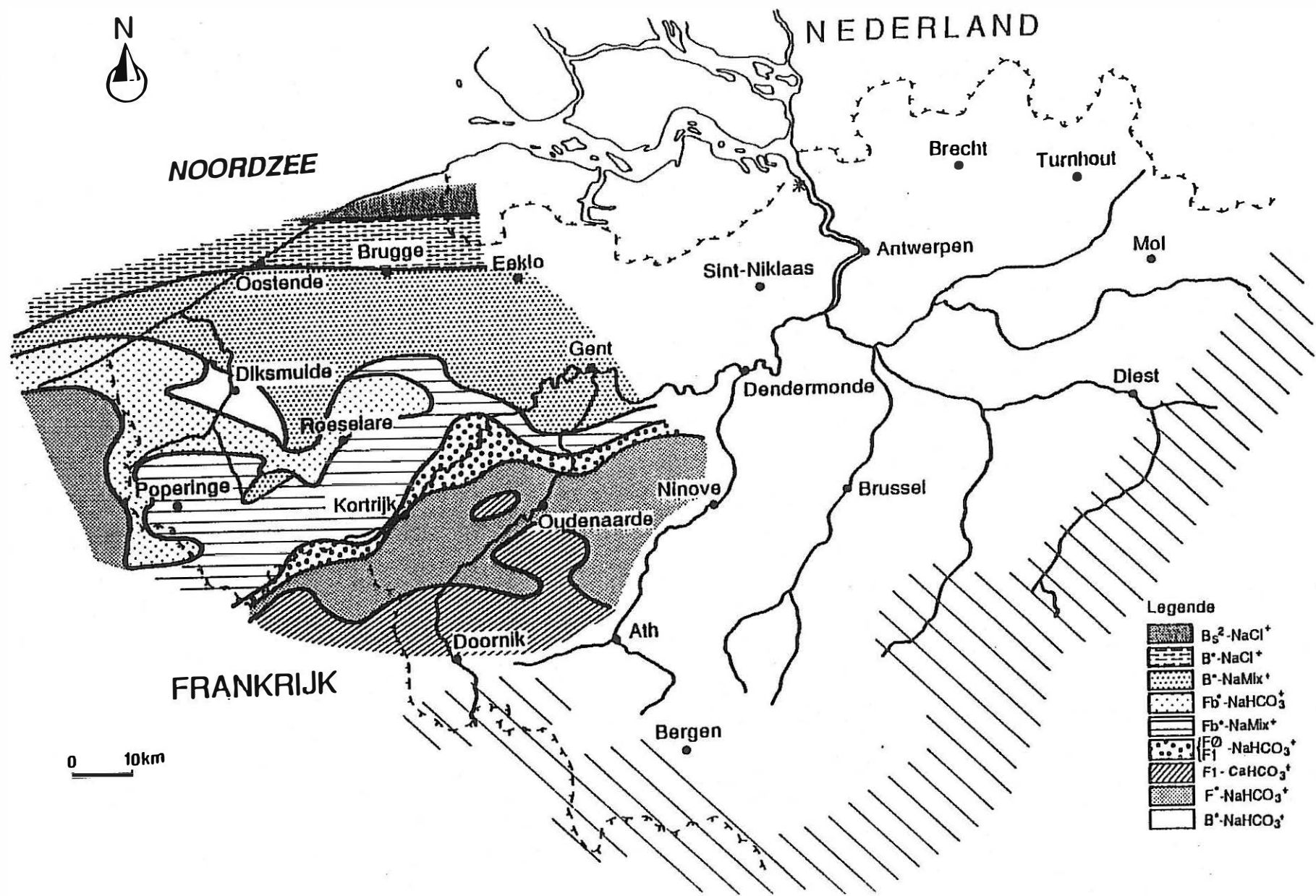
III.2.2.5 Grondwaterkwaliteit

Het grondwater in de Landen Groep in Oost- en West-Vlaanderen is doorgaans zeer zacht. Daarom wordt deze watervoerende laag, ondanks de lage specifieke capaciteit, door veel bedrijven gebruikt (BOLLE & DE BREUCK, 1993)

In de studie van WALRAEVENS et al. (1989) wordt verondersteld dat de grondwaterkwaliteit in de Landen Groep het gevolg is van het grondwaterstromingspatroon in natuurlijke toestand. De mariene invloed is nog merkbaar in de grondwaterkwaliteit. Na de terugtrekking van de zee infiltreerde zoet water in de hogergelegen gebieden en stelde het natuurlijk grondwaterstromingspatroon zich in. De mariene invloed werd geleidelijk vanaf de voedingsgebieden in de richting van de grondwaterstroming verdrongen. De verdeling van de grondwaterkwaliteit, zoals men ze thans in de beschouwde lagen aantreft, is het gevolg van een geleidelijk terugdringen van zout door zoet water. Het reliëf heeft steeds de grondwaterstroming bepaald. De hydraulische weerstand en dus ook de dikte van de bedekkende kleilagen bepalen het debiet van de voeding. De vermenging van infiltrerend zoet water, dat kationuitwisseling ondergaat bij doorstroming van de kleilagen, met het fossiel grondwater bepaalt de kwaliteit van het grondwater (Fig. III.2.10).

In en nabij het freatisch gedeelte van de Landen Groep is het grondwater hard, zoet en van het

RUG - Laboratorium voor Toegespaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)



Figuur III.2.10. Voorkomen van grondwatertypes in de Landen Groep (classificatie volgens STUYFZAND, 1986) (naar WALRAEYENS, 1989)

CaHCO₃-type. Naar het noorden toe vermindert de hardheid, wordt Na⁺ het dominerende kation en komt water van het NaHCO₃-type voor. Noordelijker neemt het Cl⁻-gehalte steeds meer toe. Wanneer meer dan 50% van de anionen bestaat uit Cl⁻ spreekt men van het NaCl-type. Het water is daar brak tot zout. Een uitzondering vormt het gebied tussen Duinkerke en Veurne, waar de stijging van de Cl⁻-concentratie in noordelijke richting minder vlug 50 % van de anionensom overschrijdt (WALRAEVENS et al., 1989) (Fig. III.2.10).

Als de stijghoogten onder de top van de watervoerende laag dalen, kan de kwaliteit van het grondwater wijzigingen ondergaan (BOLLE & DE BREUCK, 1993).

a. Gebied Knokke

In het gebied Knokke is het grondwater uit de Landen Groep brak tot zout en hard. Een klein deel in het zuiden van het gebied bevat brak, zeer zacht grondwater.

b. Gebied Sint-Laureins - Assenede

In het gebied Sint-Laureins - Assenede zijn geen gegevens over de grondwaterkwaliteit beschikbaar. Het water zal er waarschijnlijk een brakke tot zoute samenstelling hebben.

c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren

Er zijn geen gegevens voor de grondwaterkwaliteit bekend. Men kan aannemen dat het water er brak tot zout is.

III.2.3 Lid van Egem

III.2.3.1 Inleiding

Het Lid van Egem vormt de eerste watervoerende laag boven de Formatie van Kortrijk. Het bestaat uit een afwisseling van lagen kleihoudend fijn zand en zandhoudende kleilagen. Waar het onder een dun kwartair dek dagzoomt, is het lid freatisch; in het noorden, waar de Formatie van Gent het Lid van Egem bedekt, vormt het een afgesloten watervoerende laag. De zandlagen in het Lid van Egem, die bovenaan begrensd worden door zandhoudende kleilagen, vertonen een half-afgesloten tot afgesloten karakter (BOLLE & DE BREUCK, 1993).

In de omgeving van Gent kan men in de Formatie van Tielt hydrogeologisch de volgende lagen onderscheiden (van onderen naar boven) (LEBBE et al., 1992):

- halfdoorlatende zandige en silthoudende zandige klei met dunne lagen kleiig fijn zand;
- kleiig glauconiethoudend fijn zand;
- halfdoorlatende zandige klei tot klei;
- licht kleihoudend glauconiethoudend fijn zand met kleine schelpfragmenten;
- halfdoorlatende zeer zandige klei;
- licht kleihoudend glauconiethoudend fijn zand met kleine schelpfragmenten.

De onderste laag stemt overeen met het Lid van Kortemark, de vijf bovenste vormen het Lid van Egem.

a. *Gebied Knokke*

Wegens de geringe dikte (ongeveer 10 m) is deze laag van weinig belang in dit gebied.

b. *Gebied Assenede - Sint-Laureins*

De dikte van deze laag bedraagt in dit gebied ongeveer 15 m.

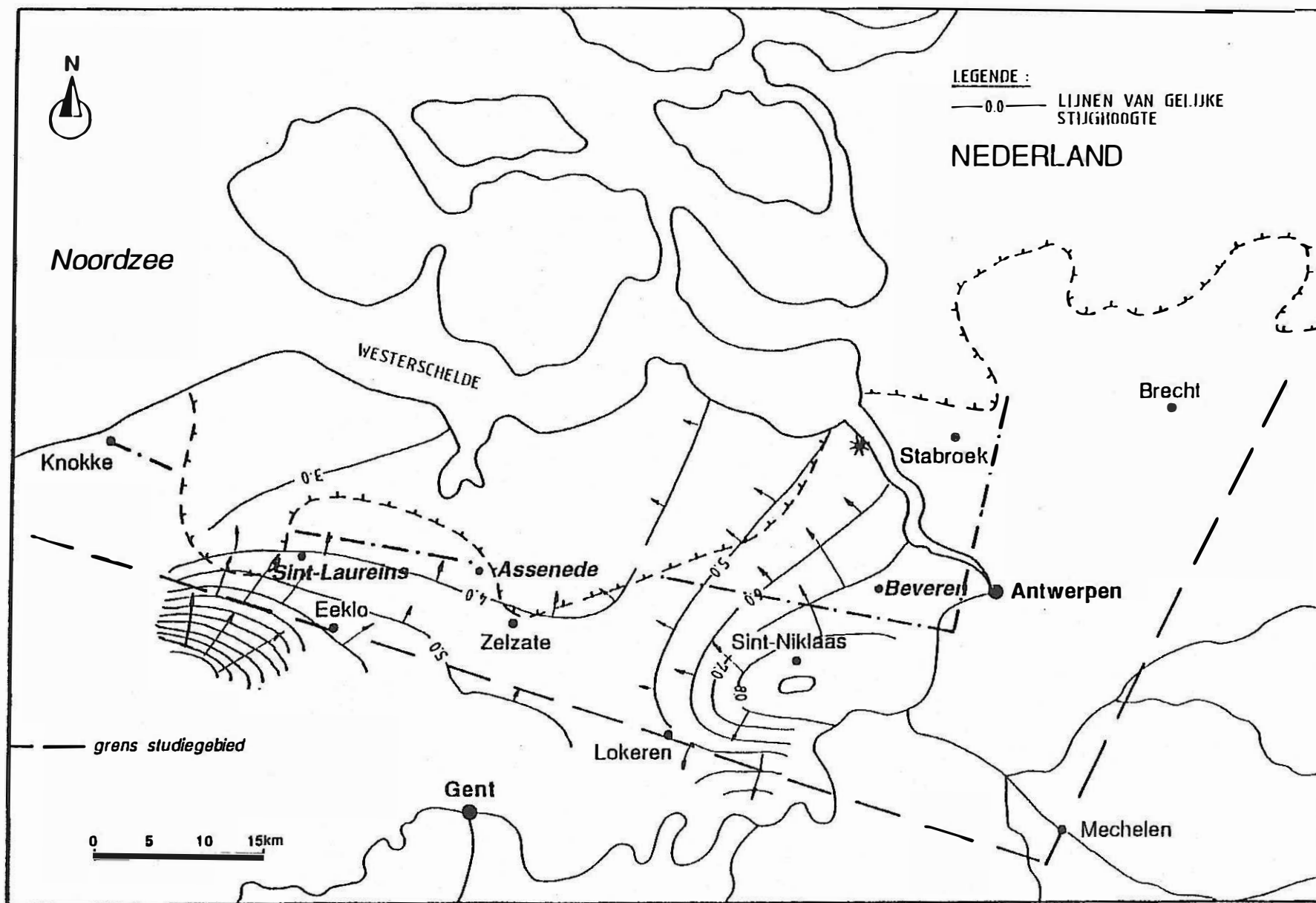
c. *Gebied Sint-Niklaas - Beveren*

De dikte van deze laag kan tot 20 m bedragen in dit gebied.

III.2.3.2 Grondwaterstroming

De voeding van deze laag gebeurt hoofdzakelijk door neerwaartse stroming vanuit de bovenliggende lagen in het heuvelcomplex Oedelem-Zomergem en in het hogergelegen gebied ten zuiden van Sint-Niklaas. In het overige gebied treedt meestal opwaartse stroming doorheen de bovenliggende Formatie van Gent op (WALRAEVENS, 1987).

De natuurlijke horizontale stroming (Fig. III.2.11) in het Lid van Egem verloopt in dezelfde richting als deze in de bovenliggende watervoerende laag, die naar het noordwesten is gericht. De grondwaterstromingssnelheid is, vergeleken met deze in de bovenliggende watervoerende laag, echter kleiner.



RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)

Figuur III.2.11. Stijghoogte in het Lid van Egem - natuurlijke toestand (naar WALRAEYENS, 1987)

Door waterwinningen uit de bovenliggende watervoerende laag is het grondwaterstromingspatroon in de streek van de Gentse Kanaalzone en rond Waasmunster - Sint-Niklaas grondig gewijzigd (Fig. III.2.12) (WALRAEVENS, 1987). In het grootste deel van het studiegebied doet zich een neerwaartse stroming voor.

a. Gebied Knokke

De horizontale grondwaterstroming in dit gebied is waarschijnlijk naar het noordoosten gericht.

b. Gebied Assenede - Sint-Laureins

Uit de stijghoogtekaartjes (WALRAEVENS, 1987) kan worden afgeleid dat de natuurlijke grondwaterstroming in het Gebied Sint-Laureins - Assenede noordwaarts gericht was. De grondwaterstromingssnelheid neemt af van zuid naar noord.

Door grondwaterwinning varieert de stroming van noordwaarts in het westen van het gebied tot zuidoostwaarts in het oosten. De snelheid van de grondwaterstroming neemt toe naar het oosten.

In natuurlijke toestand was de verticale grondwaterstroming opwaarts gericht. Deze toestand is niet gewijzigd in het westen van het gebied. In het oosten is de verticale grondwaterstroming, wegens onttrekkingen uit de bovenliggende watervoerende laag in de Genste Kanaalzone, echter neerwaarts gericht.

c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren

In het gebied Sint-Niklaas - Assenede was het natuurlijke grondwaterstromingspatroon zeer gevarieerd. Voeding trad op in het gebied Waasmunster - Sint-Niklaas. Van daaruit stroomde het grondwater zowat in alle richtingen; in het noorden van het gebied gebeurde dit westwaarts. De huidige grondwaterstroming is voornamelijk zuidwaarts gericht (in de richting van Waasmunster - Sint-Niklaas). In het zuidwesten is de stroming meer oostwaarts, in het oosten zuidwestwaarts. De verticale stroming is in het gebied voornamelijk neerwaarts gericht.

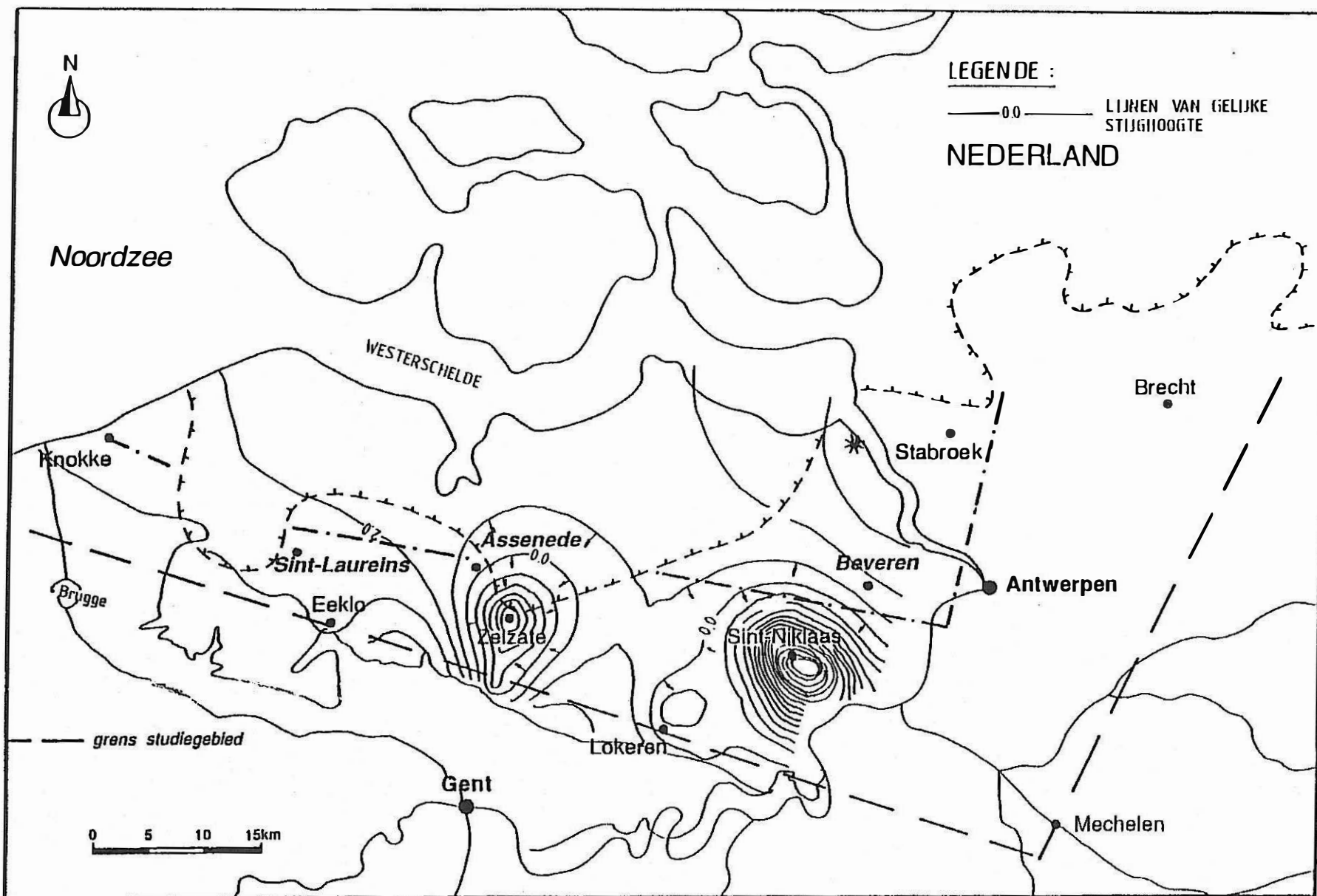
III.2.3.3 Doorlatendheid

De doorlatendheid van het Lid van Egem varieert sterk, zowel lateraal als verticaal.

Ten zuiden van de Gentse agglomeratie bedraagt de doorlatendheid $2,31 \cdot 10^{-5}$ m/s (VAN BURM et al., 1983).

Door het Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (LTGH) werden in het verleden enkele pompproeven in het Lid van Egem uitgevoerd. Hieruit werden via een invers model de verschillende hydraulische parameters van de lagen bepaald. Men kan deze gegevens in tabel III.2.2 terugvinden. De pompproeven die met de vroegere methoden zijn geïnterpreteerd, zijn niet opgenomen.

Te Bierbeek (DE SMET et al., 1993) bedraagt de horizontale doorlatendheid van de onderste 5 m van de uit kleiig zand bestaande doorlatende laag $6,6 \cdot 10^{-6}$ m/s en de specifieke elastische



RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)

Figuur III.2.12. Stijghoogte in het Lid van Egem - toestand met grondwaterwinningen (naar WALRAEVEN, 1987)

berging $7,41 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$; de specifieke elastische berging van gans de Formatie van Tielt bedraagt $5,19 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-1}$.

Uit de pompproef te Sint-Lievens-Houtem (CNUUDE et al., 1991), kon worden afgeleid dat het Lid van Egem er een horizontale doorlatendheid van $1,12 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ en een specifieke elastische berging van $1,09 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-1}$ heeft.

Te Tielt (LEBBE et al., 1992) bestaat het freatisch reservoir uit zand met kleihoudende zones en een dunne kleilaag. De basis wordt gevormd door de Formatie van Kortrijk. Stratigrafisch maken de aangeboorde afzettingen deel uit van de Formaties van Gent en van Tielt. Een pompproef gaf een horizontale doorlatendheid voor het Lid van Egem van $4,2 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ en een specifieke elastische berging van $3,44 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ aan.

Een pompproef te Zwijnaarde (BOLLE et al., 1990) leverde gegevens betreffende de hydraulische weerstand van de tussenliggende kleilagen. Hier kon de Formatie van Tielt worden opgedeeld in een doorlatende laag (weinig kleihoudend fijn zand), een slecht-doorlatende laag (stijve klei), een doorlatende laag (zeer fijn zand) en een slecht-doorlatend pakket (= Lid van Kortemark: vijf zeer slecht-doorlatende lagen stijve klei en vier slecht-doorlatende lagen zandhoudende klei tot kleihoudend zand). Eronder komt de zeer slecht-doorlatende laag van de Formatie van Kortrijk en erboven de sedimenten van de Formatie van Gent voor. De hydraulische weerstand tussen de aangepompte laag en de kwartaire laag bedraagt $3,52 \cdot 10^7 \text{ s}$ of 407 dagen. Deze hydraulische weerstand is vooral te wijten aan de kleilaag (hydraulische weerstand van $3,02 \cdot 10^7 \text{ s}$ of 350 dagen). De overige hydraulische parameters kan men in tabel III.2.2 terugvinden. Ze gelden voor de twee doorlatende lagen.

De in de Formatie van Tielt uitgevoerde pompproef te Gent (LEBBE et al., 1992), leverde eveneens parameters voor de kleihoudende pakketten. Men kan de resultaten in tabel III.2.2 terugvinden. Deze waarden gelden voor de verschillende hydrogeologisch te onderscheiden lagen (zie inleiding). De in de tabel vermelde bovenste waarde geldt voor de onderste hydrogeologische laag.

LOY en DE SMEDT (1978) vermelden de doorlatendheden van enkele formaties in België. Voor het Lid van Egem gaat het hier om de doorlatendheid te Melle.

Uit de bovenstaande gegevens kan worden afgeleid dat de hydraulische parameters van het Lid van Egem verschillen naargelang van de plaats. Dit moet waarschijnlijk worden toegeschreven aan het verschil in lithologie van de aangepompte lagen. In sommige pompproeven werd geen onderscheid tussen het Lid van Egem en de Formatie van Tielt gemaakt. De waarde te Melle is een relatief oud gegeven.

Hydraulische parameter (eenheid)	Bierbeek	St-Lievens-Houtem	Tielt	Zwijnaarde	Gent (S8)	Melle
k^h (m/s)	$6,6 \cdot 10^{-6}$	$1,12 \cdot 10^{-5}$	$4,2 \cdot 10^{-6}$	$1,33 \cdot 10^{-5}$	$1,49 \cdot 10^{-5}$ $2,31 \cdot 10^{-8}$ $1,28 \cdot 10^{-5}$ $2,00 \cdot 10^{-7}$ $9,90 \cdot 10^{-6}$	$2,89 \cdot 10^{-5}$
S'_A (m ⁻¹)	$5,19 \cdot 10^{-4}$	$1,09 \cdot 10^{-4}$	$3,44 \cdot 10^{-5}$	$4,38 \cdot 10^{-5}$	$0,42 \cdot 10^{-4}$ $0,36 \cdot 10^{-4}$ $0,36 \cdot 10^{-4}$ $0,56 \cdot 10^{-4}$ $0,56 \cdot 10^{-4}$	

Tabel III.2.2 - Gegevens afgeleid uit de in het Lid van Egem uitgevoerde pompproeven

k^h = horizontale doorlatendheid
 S'_A = specifieke elastische berging
 c = hydraulische weerstand

III.2.3.4 Grondwaterwinningen

Door de eerder geringe doorlatendheid is de capaciteit van de meeste grondwaterwinningen in het Lid van Egem laag tot zeer laag. Vandaar dat slechts op het zand uit het Lid van Egem wordt beroep gedaan als er geen alternatieven zijn of als de benodigde hoeveelheid water beperkt is (BOLLE & DE BREUCK, 1993).

In de periode 1986-1990 werden voor Oost-Vlaanderen jaarlijks volgende debieten vergund (BOLLE & DE BREUCK, 1993):

- industrie: $3.275.434 \text{ m}^3$ (1986),
 $2.896.514 \text{ m}^3$ (vanaf 1987);
- landbouw: 77.642 m^3 .

In West-Vlaanderen bedroegen de jaarlijks vergunde debieten voor 1987-1990:

- industrie: $3.282.144 \text{ m}^3$;
- Landbouw: 119.240 m^3 .

Door de drinkwatermaatschappijen wordt geen grondwater uit het Lid van Egem onttrokken.

In Oost-Vlaanderen wordt het vergunde debiet regelmatig overschreden. In West-Vlaanderen fluctueert de hoeveelheid opgepompt grondwater zeer sterk; in 1989 bedroeg het slechts ongeveer 30 % van het vergunde debiet (BOLLE & DE BREUCK, 1993).

Vergeleken met 1978 (DERYCKE et al., 1982) is in Oost-Vlaanderen geen noemenswaardige toename in de grondwaterwinning in het Lid van Egem vastgesteld, wat erop kan wijzen dat de limiet van exploitatie is bereikt. De gebieden die in Oost-Vlaanderen het meeste grondwater uit

het Lid van Egem onttrekken zijn de Gentse agglomeratie en de zone Aalst-Ninove. In West-Vlaanderen ligt het huidige opgepompte debiet ongeveer driemaal hoger dan in 1978. In West-Vlaanderen zijn er blijkbaar nog mogelijkheden voor grondwaterwinningen, temeer omdat het Lid van Egem in het centrale gedeelte van de provincie relatief ondiep voorkomt. Hier is het voornamelijk de zone Roeselare-Kortrijk waar het meeste grondwater uit het Lid van Egem wordt onttrokken (BOLLE & DE BREUCK, 1993).

Volgens de gegevens van de AMINAL is er in en rond het beschouwde gebied slechts één waterwinning uit het Lid van Egem vergund. Het gaat om een bedrijf, klasse B, gelegen in Zeebrugge.

Gemeente	Naam	X-coördinaat	Y-coördinaat	Maaiveld (m TAW)	diepte (m)	debiet (m ³ /jaar)	klasse ²
Brugge	Zeebrugse Behandelingsmaatschappij	70 135	223 040	3,50	100	175 200	B

Tabel III.2.3 - Vergunde grondwaterwinningen in het Lid van Egem in het gebied Knokke

III.2.3.5 Grondwaterkwaliteit

Van het grondwater in het Lid van Egem zijn er geen systematische analyseresultaten. Wel kan men uit beschikbare gegevens afleiden dat het in het noorden van de provincies Oost- en West-Vlaanderen veel zout bevat (BOLLE & DE BREUCK, 1993).

In de Gentse agglomeratie bevat het grondwater uit het Lid van Egem veel natriumcarbonaat. Het alkaligehalte schommelt meestal tussen 70 en 95 % van de kationen. Het relatief sulfaatgehalte bedraagt minder dan 1 % (DE BREUCK et al., 1983).

Waar het Lid van Egem freatisch is en slechts bedekt wordt door een dunne kwartaire bovenlaag, is de kwaliteit van het grondwater kwetsbaar. Door de geringe doorlatendheid en het voorkomen van slecht-doorlatende kleiige tussenlagen is het Lid van Egem wel minder kwetsbaar dan het bovenliggende Kwartair. Meer naar het noorden van de provincies Oost- en West-Vlaanderen wordt het lid beschermd door de Formatie van Gent. Daar staat echter tegenover dat door de toenemende natuurlijke verzilting naar het noorden toe, het aantal grondwaterwinningen in dit gebied aanzienlijk kleiner is (BOLLE & DE BREUCK, 1993).

² Klasse A= grondwaterwinning van minder dan 96 m³/d of minder dan 30.000 m³/j; Klasse B= grondwaterwinning van minstens 96 m³/d of minstens 30.000 m³/j; Klasse C=grondwaterwinningen bestemd voor de openbare drinkwatervoorziening.

III.2.4 Lid van Wemmel - Zenne Groep - Lid van Vlierzele

III.2.4.1 Inleiding

Het zand van de Zenne Groep vormt een watervoerende laag. Het onderste gedeelte van de Formatie van Gent bestaat uit kleiige sedimenten en vormt de scheiding tussen het bovenliggende zand van de Zenne Groep en het Lid van Vlierzele (samengevat in de oude benaming: Ledo-Paniseliaan) en het onderliggende kleiig zand van de Formatie van Tielt (WALRAEVENS et al., 1990). In de provincies West- en Oost-Vlaanderen komt deze laag zowel freatisch als artesisch voor (BOLLE & DE BREUCK, 1993).

De isohypsen van de top van de watervoerende laag worden voorgesteld op figuur III.2.13, de isopachen op figuur III.2.14. In het noorden van het studiegebied kan deze watervoerende laag een dikte van meer dan 100 m bereiken. Over het algemeen is de dikte kleiner.

III.2.4.2 Grondwaterstroming

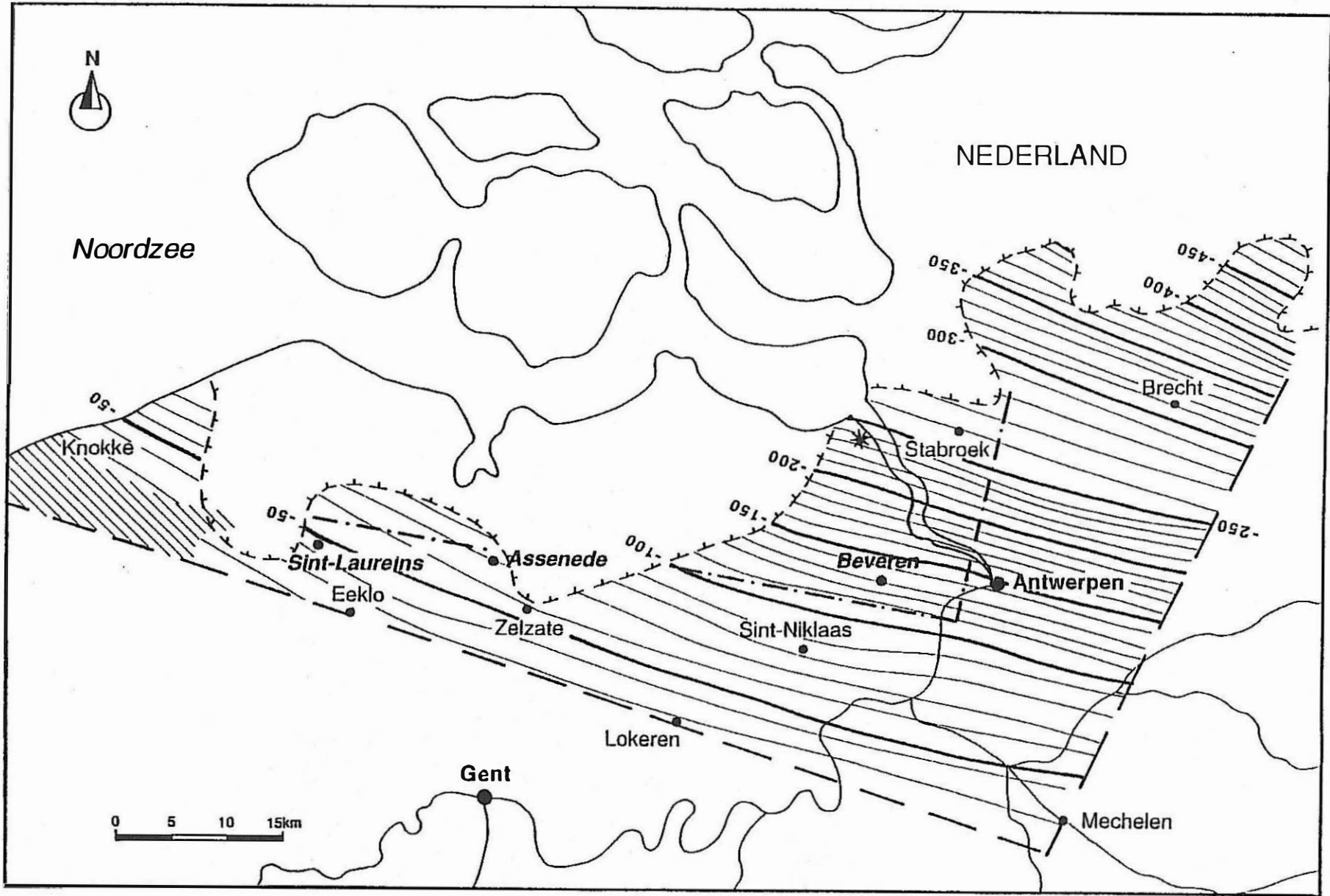
In natuurlijke toestand werd het grondwaterreservoir hoofdzakelijk gevoed in twee zones: het heuvelgebied Oedelem-Zomergem en het zuidelijk gedeelte van het Land van Waas (Fig. III.2.15). In beide hogergelegen gebieden treedt er neerwaartse stroming op. De aanwezigheid van de bovenliggende kleilagen van de Formatie van Maldegem remt de stroming wel af maar houdt ze niet tegen (WALRAEVENS, 1987).

Vanaf de infiltratiegebieden stroomde het water hoofdzakelijk in noordwestelijke richting. In de richting van de grondwaterstroming nemen de horizontale snelheden toe voor zover de voeding aanhoudt, waardoor geleidelijk een groter debiet doorheen de laag stroomt. De neerwaartse stroming vertraagt naarmate het reliëf daalt. Onder de polders wordt de stroming opwaarts gericht zodat hier uitstroming optreedt. Het debiet in de watervoerende laag neemt hierbij geleidelijk af, zodat de horizontale snelheden verkleinen. Nabij de noordzeekust zijn deze zeer klein geworden (WALRAEVENS, 1987).

Door grondwaterwinningen in de Gentse Kanaalzone en in de streek van Sint-Niklaas en Waasmunster zijn er afpompingsrechters ontstaan waardoor het horizontale stromingspatroon in het oosten van het gebied Sint-Laureins - Assenede en in het gebied Sint-Niklaas - Beveren grondig is gewijzigd (Fig. III.2.16). In deze gebieden doet zich een neerwaarts gerichte verticale stroming voor.

a. *Gebied Knokke*

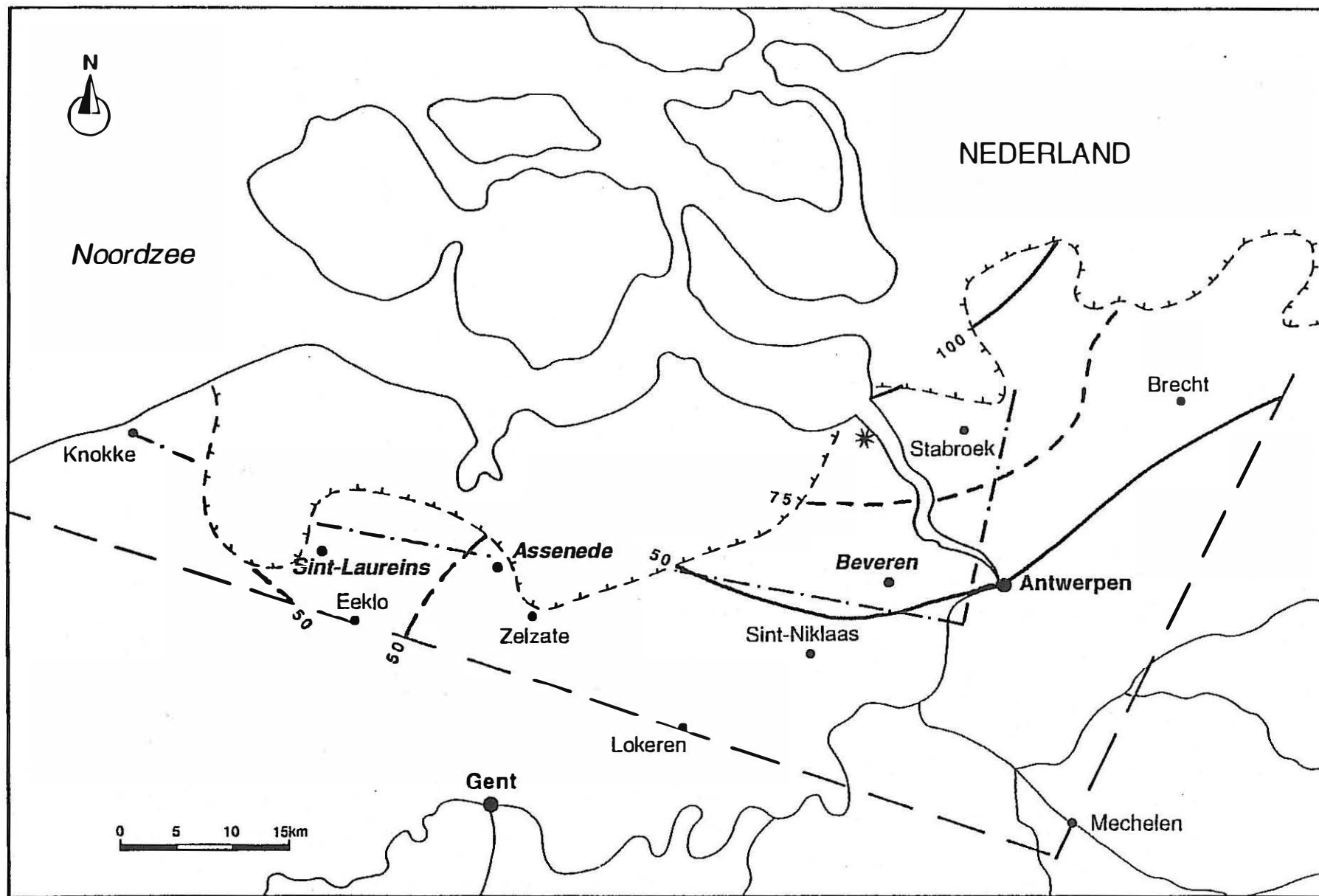
In de duinen te Knokke doet er zich, in tegenstelling tot het omringende gebied, een neerwaartse stroming voor. Dit veroorzaakt een lokaal stromingspatroon met een zuidwaartse stroming, dat zich superponeert op de regionale stroming die in noordelijke richting gebeurt. Tussen Zeebrugge en Oostkerke gebeurt uitstroming naar de freatische zone ten gevolge van de stroming, geïnduceerd door de voeding in het duingebied bij Knokke. Dit kan een verklaring zijn voor de ter plaatse vastgestelde ontzilting in het Kwartair (DE BREUCK et al., 1974).



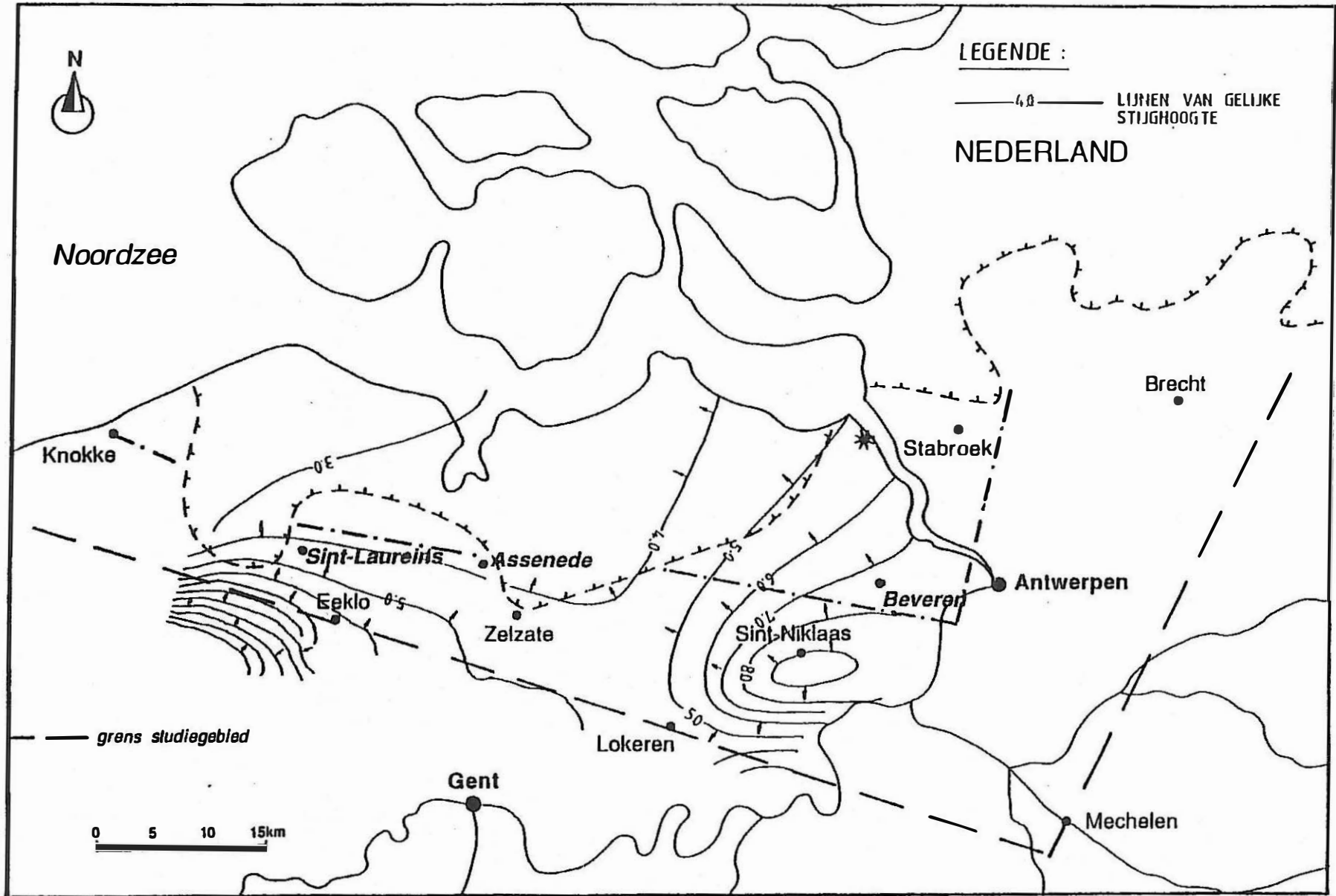
RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)

Figuur III.2.13. Isohypsens van de top van de watervoerende laag van het Lid van Vlierzele, de Zenne Groep en het Lid van Wemmel (naar WALRAEVENS, 1987), in het gearceerde gebied behoort deze laag tot het freatisch grondwaterreservoir

RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)

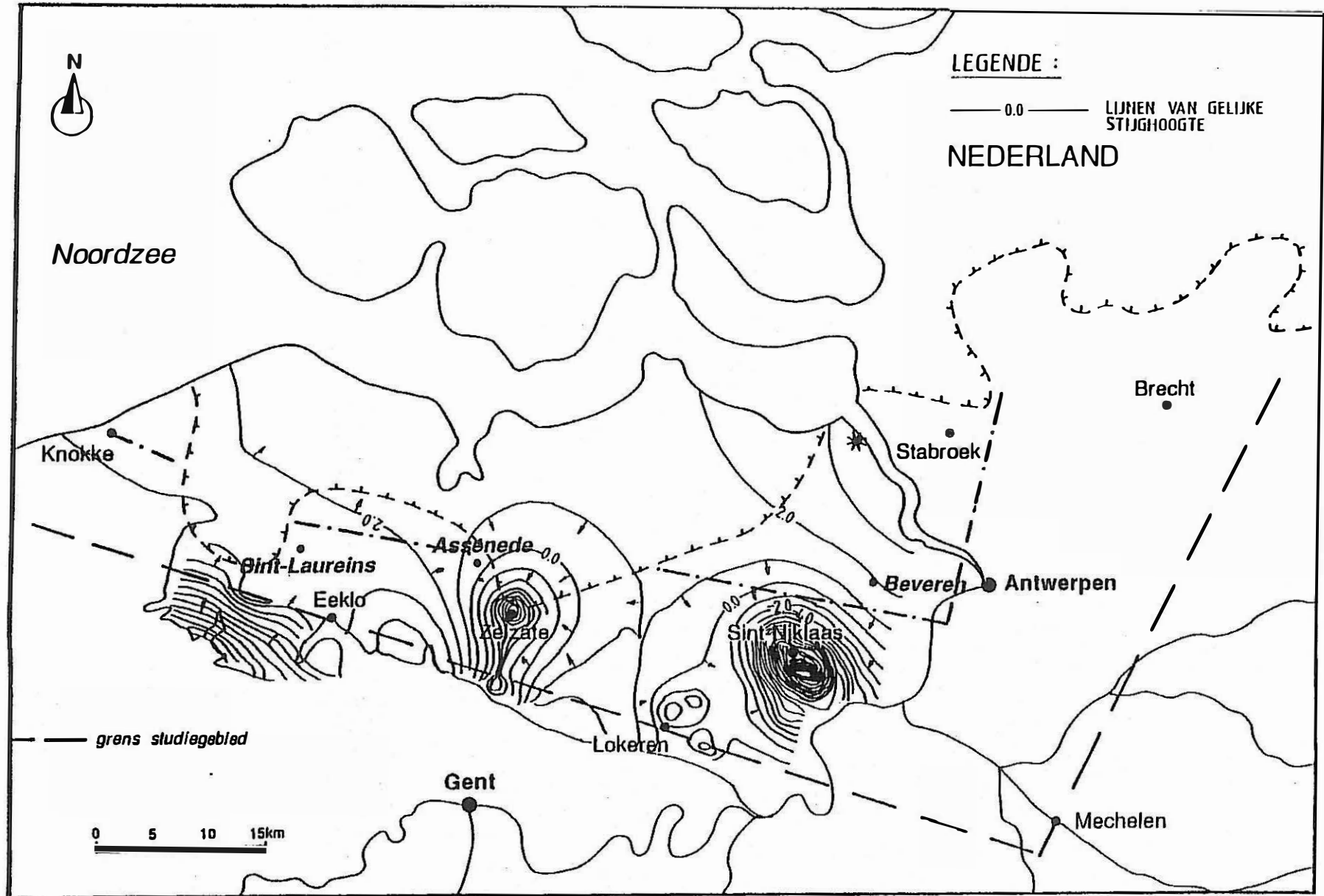


Figuur III.2.14. Isopachen van de watervoerende laag van het Lid van Vlierzele, de Zenne Groep en het Lid van Wemmel (naar WALRAEYENS, 1987)



RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)

Figuur III.2.15. Stijghoogte in de watervoerende laag van het Lid van Vlierzele, de Zenne Groep en het Lid van Wemmel - natuurlijke toestand (naar WALRAEYENS, 1987)



RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 9.4030)

Figuur III.2.16. Stijg hoogte in de watervoerende laag van het Lid van Vlierzele, de Zenne Groep en het Lid van Wemmel- toestand met grondwaterwinnings (naar WALRAEFENS, 1987)

b. Gebied Sint-Laureins - Assenede

In tegenstelling tot de toestand in de omgeving, doet er zich ter hoogte van de stuifzandrug Maldegem-Stekene eveneens een neerwaartse stroming voor (door het hoger reliëf). Dit veroorzaakt een lokaal stromingspatroon met een noordwaartse stroming, dat zich superponeert op de regionale stroming die er eveneens in noordwaartse richting gebeurt (WALRAEVENS, 1987).

In de heuvelzone Oedelem-Knesselare-Zomergem is het natuurlijke stijghoogtepatroon grotendeels bewaard. Enkel te Maldegem-Adegem en te Eeklo zijn belangrijke dalingen vastgesteld. In de huidige toestand is de verticale grondwaterstroming over het algemeen neerwaarts gericht (WALRAEVENS, 1987).

c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren

Doorheen de vaste stijghoogtegrens ten noorden van Antwerpen gebeurt instroming vanuit de provincie Antwerpen. In de provincie Antwerpen is de grondwaterstroming oost-west gericht (PATYN, 1982). In het gebied Sint-Niklaas - Beveren varieerde de natuurlijke grondwaterstromingsrichting van noordwaarts in het zuiden tot westnoordwestwaarts in het noorden van het gebied. De stroming was neerwaarts gericht in het zuiden van het gebied en opwaarts in het noorden.

De grondwaterstroming is thans zuidwestwaarts gericht in het noorden en naar de afpompingstrechtter ter hoogte van Sint-Niklaas-Waasmunster toe in het zuiden. De verticale stroming is over het algemeen neerwaarts gericht.

III.2.4.3 Doorlatendheid

De watervoerende laag, gevormd door de het Lid van Wemmel, de Zenne Groep en het Lid van Vlierzele heeft een gemiddelde horizontale doorlatendheid van $3,21 \cdot 10^{-5}$ m/s; $6,9 \cdot 10^{-6}$ m/s in het Lid van Wemmel (pompproef te Ursel); $2,31 \cdot 10^{-5}$ m/s in de Formatie van Aalter (pompproef te Ursel); $4,92 \cdot 10^{-5}$ m/s in het Lid van Vlierzele (monster) (WALRAEVENS, 1987).

Bij een pomproef te Dendermonde, uitgevoerd door het LTGH werd een doorlatendheid van $5,8 \cdot 10^{-5}$ m/s berekend voor het Lid van Vlierzele (BOLLE et al, 1991).

III.2.4.4 Grondwaterwinnings

De opgepompte debieten schommelen sterk van jaar tot jaar in West-Vlaanderen en in mindere mate in Oost-Vlaanderen, zodat niet kan gesproken worden van een duidelijke trend.

In tabel III.2.4 zijn de vergunde debieten (m^3/jaar) in West- en Oost-Vlaanderen voor 1990 weergegeven (gegevens AMINAL).

	landbouw (m ³ /j)	industrie (m ³ /j)	drinkwatermaatschappijen (m ³ /j)
Oost-Vlaanderen	221 856	7 357 647	0
West-Vlaanderen	5 500	1 373 495	4 745 000
Totaal	227 356	8 731 142	4 745 000

Tabel III.2.4 - Vergunde debieten in de watervoerende laag gevormd door het Lid van Wemmel, de Zenne-Groep en het Lid van Vlierzele in West- en Oost-Vlaanderen (uit BOLLE & DE BREUCK, 1992)

Van 1987 tot 1990 wisselden de opgepompte debieten sterk van jaar tot jaar in West-Vlaanderen en in mindere mate in Oost-Vlaanderen. Er kan niet gesproken worden van een duidelijke trend. Er is een zeer kleine daling van het vergund debiet merkbaar in Oost-Vlaanderen; in West-Vlaanderen blijft dit gelijk. Het opgepompte debiet in Oost-Vlaanderen benadert het vergunde debiet (83,9 %). Voor West-Vlaanderen bedraagt het opgepompte debiet voor de beschouwde periode gemiddeld slechts 47,1 % van het vergunde debiet. De Vlaamse Maatschappij voor Watervoorziening (VMW) beschikt in West-Vlaanderen over twee drinkwatervoorzieningen (Snellegem en Beernem) (BOLLE & DE BREUCK, 1992).

a. Gebied Knokke

Volgens de gegevens van de AMINAL is er in het gebied Knokke 1 winning uit de watervoerende laag vergund (Tab. III.2.5). Het gaat om een vergunning van klasse B (ziekenhuis). Het vergund debiet is relatief klein.

gemeente	naam	X-coördinaat	Y-coördinaat	maaiveld (m TAW)	diepte (m)	debiet (m ³ /jaar)	klasse
Knokke-Heist	Kliniek O.L.V. Ter Linden	75 793	225 515	5,00	90	30 000	B

Tabel III.2.5 - Vergunde grondwaterwinningen in de watervoerende laag gevormd door het Lid van Wemmel, de Zenne-Groep en het Lid van Vlierzele in het gebied Knokke

b. Gebied Sint-Laureins - Assenede

Volgens de gegevens van de AMINAL zijn er in het gebied (Tab. III.2.6) 5 waterwinningen uit deze watervoerende laag vergund. Het gaat om vergunningen van klasse A. De vergunde debieten zijn eerder gering.

gemeente	naam	X-coördinaat	Y-coördinaat	maaiveld (m TAW)	diepte (m)	debiet (m ³ /jaar)	klasse
Bassevelde	De Grootte	101 600	212 700	-	72	1 825	A
Boekhoute	Coussens	104 700	214 600	-	82	1 825	A
Sint-Laureins	Van Hijfte	93 600	215 300	-	62	2 750	A
Sint-Jan-in-Eremo	Windey	95 600	215 900	-	67	1 800	A
Watervliet	De Muur	94 040	219 540	3.00	80	2 500	A

Tabel III.2.6 - Vergunde grondwaterwinningen in de watervoerende laag gevormd door het Lid van Wommel, de Zenne-Groep en het Lid van Vlierzele in en rond het gebied Sint-Laureins - Assenede

c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren

Volgens de gegevens van de AMINAL zijn er in en rond het gebied Sint-Niklaas - Beveren 11 grondwaterwinningen uit deze watervoerende laag vergund. 10 zijn vergunningen van klasse B. De 4 winningen met het grootste vergunde debieten bevinden zich op het grondgebied van de Stad Antwerpen. De overige winningen, waarvan sommige met een relatief groot vergund debiet, zijn gelegen in Sint-Niklaas.

gemeente	naam	X-coördinaat	Y-coördinaat	maaiveld (m TAW)	diepte (m)	debiet (m ³ /jaar)	klasse
Antwerpen	Union Minière NV	147 560	206 260	14,00	150	580 000	B
Antwerpen	Union Minière NV	147 535	206 490	11,00	125	580 000	B
Antwerpen	Union Minière NV	147 500	208 085	-	160	580 000	B
Antwerpen	Union Minière NV	147 500	206 400	-	152	580 000	B
Sint-Niklaas	Stadsbestuur	137 600	207 220	17,00	130	60 000	B
Sint-Niklaas	DeBacker	135 135	206 930	17,00	131	4 994	A
Sint-Niklaas	NVG NV	134 635	207 175	16,00	130	60 000	B
Sint-Niklaas	Filteint NV	133 470	206 750	15,00	114	1 450 m ³ /dag	B
Sint-Niklaas	Al-Appret	135 740	207 240	16,00	122	6 250	B
Sint-Niklaas	Schoeters Retorderie NV	134 965	206 430	19,00	120	80 300	B
Sint-Niklaas	Janssens	133 125	207 335	13,50	110	1 000 m ³ /dag	B

Tabel III.2.7 - Vergunde grondwaterwinningen in de watervoerende laag gevormd door het Lid van Wommel, de Zenne-Groep en het Lid van Vlierzele in en rond het gebied Sint-Niklaas - Beveren

d. Zuid-Nederland

In Zeeland wordt water gewonnen uit de watervoerende laag van het Lid van Wemmel, de Zenne-Groep en het Lid van Vlierzele (7 vergunde winningen nabij het gebied Knokke). Ze zijn alle in westelijk Zeeuws-Vlaanderen gelegen. De jaarlijkse opgepompte debieten zijn eerder gering: ze variëren van 12 tot 5395 m³/jaar per winning (VERMOORTELT, 1994).

III.2.4.5 Grondwaterkwaliteit

De grondwaterkwaliteit van de watervoerende laag van het Lid van Wemmel, de Zenne Groep en het Lid van Vlierzele werd bestudeerd door WALRAEVENS (1987).

In de freatische zone en in het voedingsgebied van Oedelem-Zomergem is het grondwater zoet, hard en van het CaHCO₃-type. Nabij Lochristi gebeurt er voeding doorheen de Bartoonklei en wordt hetzelfde watertype teruggevonden. Ten noorden van het CaHCO₃-type vinden we het MgHCO₃-type, dat eveneens zoet en hard is en ontstaan is door kation-uitwisseling van Ca²⁺ door Mg²⁺. In een brede WNW-OZO-gerichte strook ten noorden van deze vermelde watertypes komt het NaHCO₃-type voor.

In het voedingsgebied van Waasmunster-Sint-Niklaas is het grondwater als gevolg van de infiltratie door een dik kleipakket zeer zacht. De meest noordelijke zones bevatten als gevolg van de bijmenging van fossiel zeewater brak tot zout en matig hard grondwater van het NaCl-type.

Het freatische gedeelte in de Westvlaamse polders is sterk beïnvloed door holocene verzilting wat zich uit in brak en zout water van het NaCl-type.

Het recente, in de voedingsgebieden geïnfiltrerde water verdringt de aanwezige grondwatertypes in noordwestelijke richting naar de diepere delen van de watervoerende laag. De regionale grondwaterkwaliteit wordt dan ook bepaald door de natuurlijke grondwaterstromingen. Enkel in het freatisch gedeelte komen sterk wisselende kwaliteiten voor.

De kwaliteit van het grondwater (Fig. III.2.17) is sterk plaatsafhankelijk. In België bedraagt het zoutgehalte minder dan 1000 mg/l in West-Vlaanderen en ongeveer 1 400 mg/l in Oost-Vlaanderen. Nabij de Belgisch-Nederlandse grens bedraagt het zoutgehalte in het grondwater 2 000 tot 3 000 mg/l (VERMOORTELT, 1994).

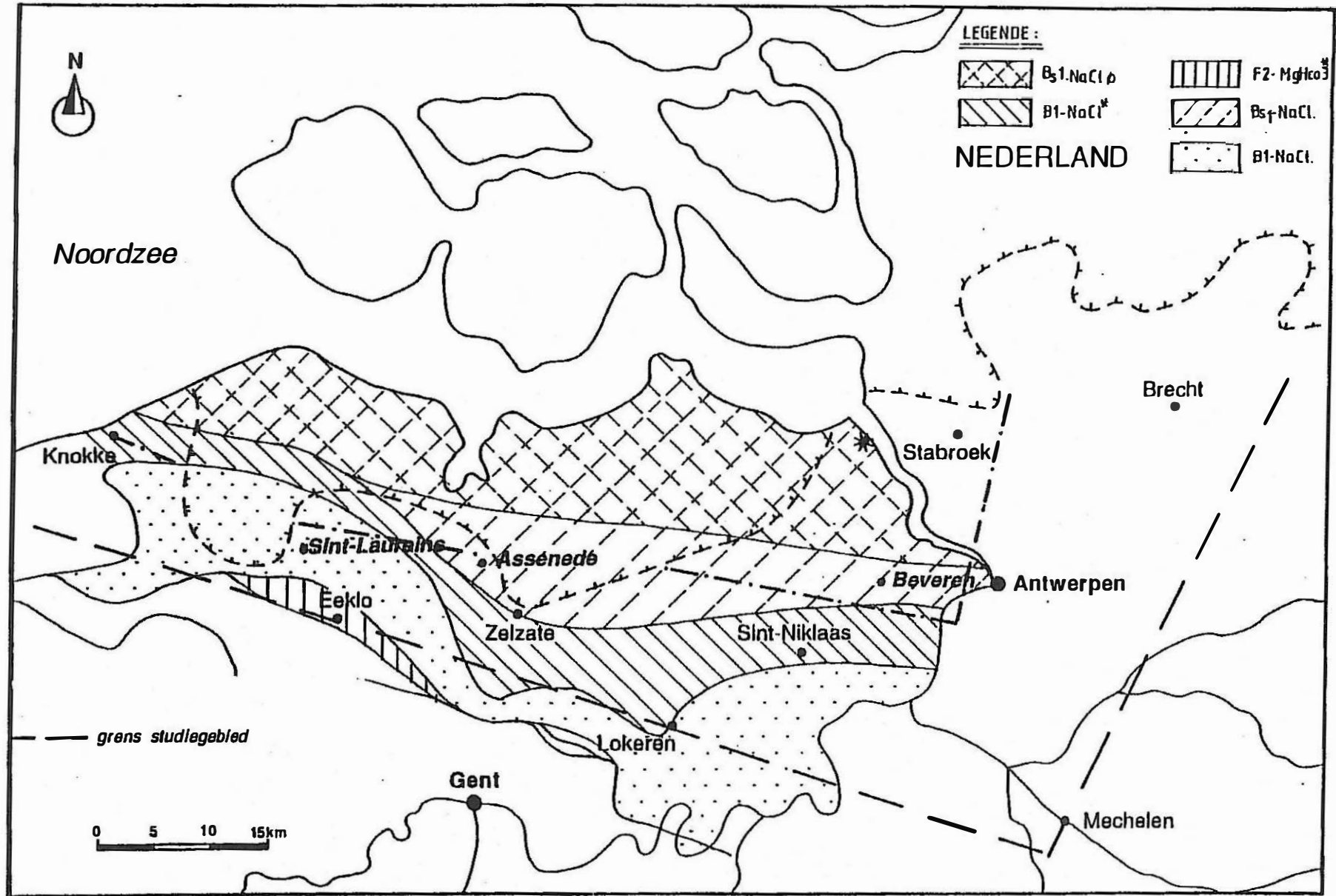
a. Gebied Knokke

In het gebied Knokke bevat de watervoerende laag brak tot zout-brak, matig hard water van het NaCl-type. In het uiterste zuidwesten van het gebied komt de bovenliggende Formatie van Maldegem niet voor en vormt deze laag één watervoerend reservoir met het bovenliggende Kwartair (VERMOORTELT, pers. meded.).

b. Gebied Sint-Laureins - Assenede

Het gebied Sint-Laureins - Assenede bevat brak tot zout-brak matig hard water van het NaCl-type. In het zuidwesten van dit gebied is het grondwater van deze laag zoet tot zoet-brak en matig zacht (NaHCO₃-type).

RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)



Figuur III.2.17. Voorkomen van de verschillende watertypes in de watervoerende laag van het Lid van Vlierzele, de Zenne Groep en het Lid van Wemmel (classificatie volgens STUYFZAND, 1986) (naar WALRAEVENS, 1987)

c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren

Het grootste deel van het gebied Sint-Niklaas - Beveren bevat brak tot zout-brak, matig hard tot zacht grondwater van het NaCl-type. Het uiterste zuidoosten bevat zoet tot zoet-brak, zeer zacht water van het NaHCO₃-type.

d. Zuid-Nederland

Grondwateranalyses in Zeeuws-Vlaanderen geven een chloridegehalte tussen 71 en 1718 mg/l aan. In Kortgene (Noord-Beveland) is een zoutgehalte van meer dan 25.000 mg/l gemeten. In Walcheren en Beveland is het grondwater relatief zout (2.000 tot 13.000 mg/l chloride), in Zeeuws-Vlaanderen relatief zoet: 300 tot 2.000 mg/l chloride. De rest van Zuid-Nederland bevat meestal brak tot zout grondwater (VERMOORTEL, 1994).

III.2.5 Formaties van Zelzate en Niel

III.2.5.1 Inleiding

Boven de Formatie van Maldegem komen de overwegend zandige afzettingen van de formaties van Zelzate en Niel (met het Lid van Ruisbroek) voor. Deze kunnen beschouwd worden als doorlatende lagen, alhoewel het dunne Lid van Watervliet in werkelijkheid slecht-doorlatend is.

a. *Gebied Knokke*

De watervoerende laag komt ter hoogte van de referentieboring Knokke niet voor, maar is wel aanwezig in het noorden van het gebied. Ze behoort er tot het ondiep freatisch grondwaterreservoir.

b. *Gebied Sint-Laureins - Assenede*

In het gebied Sint-Laureins - Assenede behoort de watervoerende laag tot het ondiep freatisch grondwaterreservoir.

c. *Gebied Sint-Niklaas - Beveren*

De watervoerende laag komt in het hele gebied voor en wordt er afgesloten door de klei van de Formatie van Boom.

III.2.5.2 Grondwaterstroming

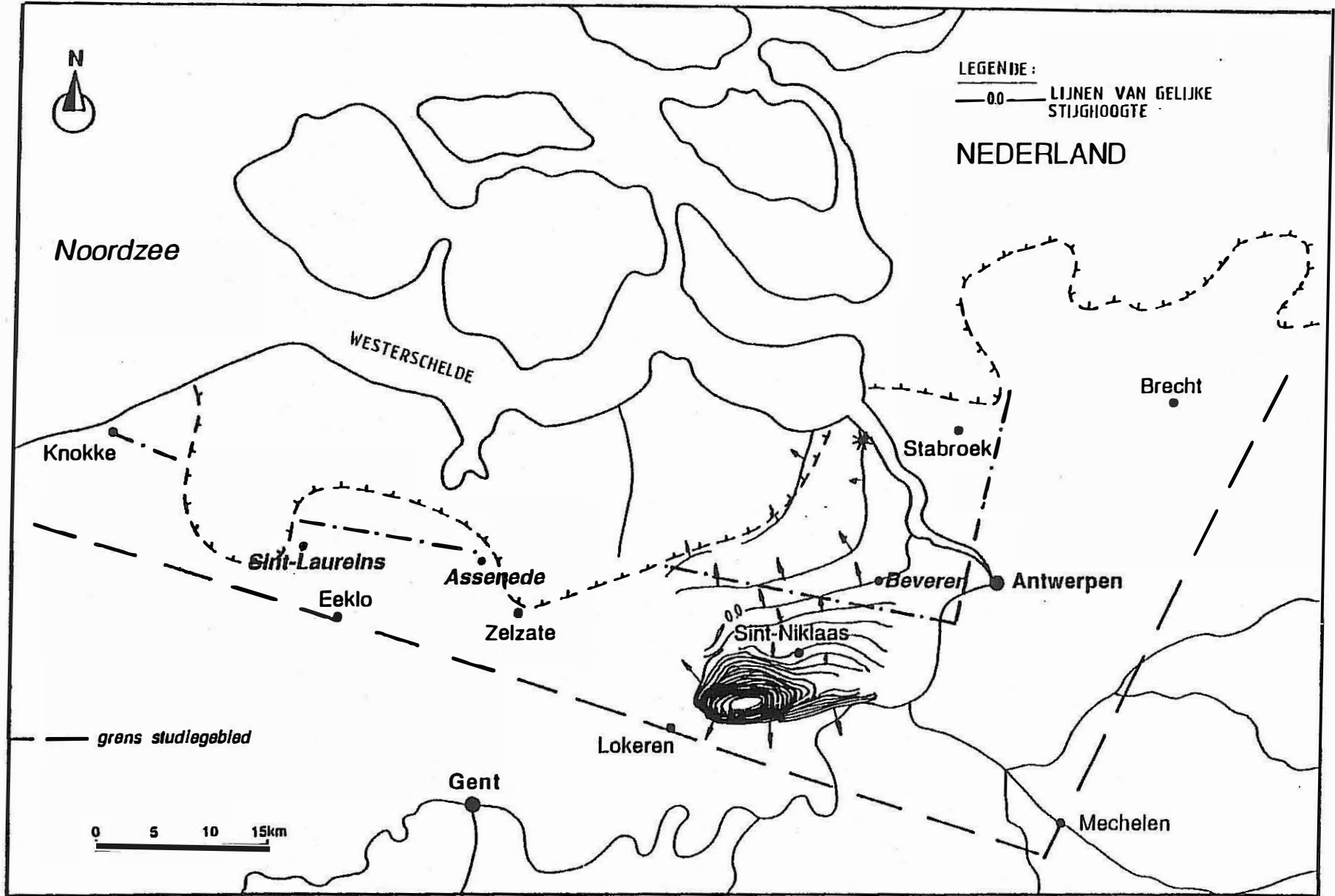
In het gebied Sint-Niklaas - Beveren was de natuurlijke verticale grondwaterstroming in deze watervoerende laag neerwaarts gericht in het zuiden en opwaarts gericht in het noorden van het gebied. De horizontale stroming varieerde van noordwaarts in het zuiden tot westwaarts in het noorden (Fig. III.2.18).

De richting van de grondwaterstroming is thans, met grondwaterwinningen, nagenoeg onveranderd gebleven (Fig. III.2.19). De grondwatersnelheid is in het zuiden kleiner.

III.2.5.3 Doorlatendheid

Voor de horizontale doorlatendheid van zand van het Lid van Bassevelde werden de volgende waarden bepaald (VERMOORTELT, 1994):

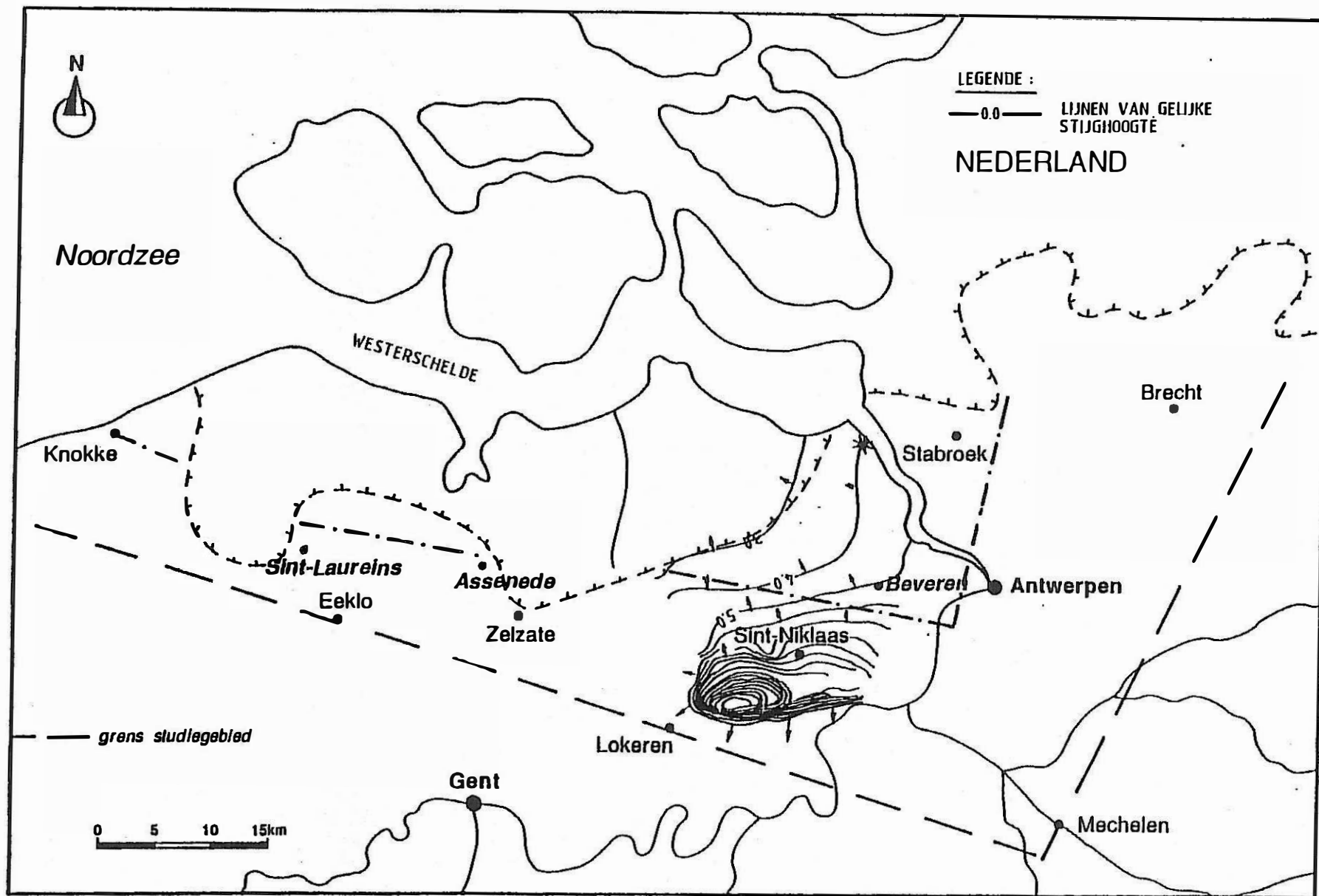
- $3,47 \cdot 10^{-5}$ m/s (WALRAEVENS, 1987);
- $4,05 \cdot 10^{-5}$ m/s (TISON, 1954);
- $3,47 \cdot 10^{-5}$ m/s te Sint-Niklaas (LEBBE, 1975);
- $1,62 \cdot 10^{-5}$ m/s te Kemzeke (DE BREUCK et al., 1974);
- $1,56 \cdot 10^{-5}$ m/s (PEDE);
- $1,69 \cdot 10^{-5}$ m/s (Assenede) tot $1,64 \cdot 10^{-5}$ m/s (Boekhoute) (BOUGHRIBA, 1992).



RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)

Figuur III.2.18. Stijghoogte in de watervoerende laag van de Formaties van Niel en Zelzate - natuurlijke toestand (naar WALRAEYENS, 1987)

RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)



Figuur III.2.19. Stijghoogte in de watervoerende laag van de Formaties van Niel en Zelzate - toestand met grondwaterwinningen (naar WALRAEYENS, 1987)

Voor de doorlatendheid van de klei van het Lid van Watervliet werden volgende waarden bepaald (VERMOORTEL, 1994):

- $2,3 \cdot 10^{-6}$ m/s voor de horizontale doorlatendheid door LEBBE (1984) (pompproef);
- $1,03 \cdot 10^{-8}$ m/s voor de horizontale doorlatendheid en $2,89 \cdot 10^{-5}$ m/s voor de verticale doorlatendheid (lab-test) in het bestek van het onderzoek voor de Westerschelde-Oever-Verbinding (WOV);
- $1,0 \cdot 10^{-7}$ m/s voor de horizontale doorlatendheid, afgeleid uit een pompproef te Kemzeke (DE BREUCK et al., 1974).

Voor de doorlatendheid van het zand van het Lid van Ruisbroek worden waarden gevonden variërend tussen de $1,1 \cdot 10^{-5}$ en de $3,5 \cdot 10^{-5}$ m/s. Te Steendorp werd een waarde van $1,1 \cdot 10^{-5}$ m/s gevonden (DE SMET et al, 1994).

III.2.5.4 Grondwaterwinningen

In het studiegebied wordt uit de Leden van Bassevelde en Ruisbroek vooral in het Land van Waas en in de Rupelstreek water onttrokken.

Volgens de AMINAL wordt in en rondom het gebied Sint-Niklaas - Beveren op 4 plaatsen grondwater uit het Lid van Bassevelde en op 34 plaatsen uit het Lid van Ruisbroek gewonnen. De winningen uit het Lid van Bassevelde zijn vergunningen voor een eerder gering debiet (klasse A). Van de watervoerende lagen die onder de klei van de Formatie van Boom zijn gelegen is het Lid van Ruisbroek de laag waar in het gebied Sint-Niklaas - Beveren het meeste water uit wordt gewonnen. Dit heeft te maken met de eerder geringe voorkomingsdiepte. Zeer grote debieten kunnen uit deze laag niet onttrokken worden. Van de gekende winningen zijn er 14 in Sint-Niklaas, 5 in Beveren-Waas, 4 in Sint-Gillis-Waas en 4 in Stekene gelegen. Bij de AMINAL is men op de hoogte van 6 onvergunde winningen in het gebied.

gemeente	naam	X-coördinaat	Y-coördinaat	maaiveld (m TAW)	diepte (m)	debiet (m ³ /jaar)	klasse
Wilrijk	RMS Wilrijk	151 900	206 550	18,00	90	2 000	A
Zwijndrecht	Finaneste	146 740	215 380	2,00	96	15 m ³ /d	A
Zwijndrecht	Dredging International	145 750	214 310	-	102	20 m ³ /d	A
Temse	Van Hoey NV	141 280	206 540	13,00	28	15 000	B

Tabel III.2.8 - Vergunde grondwaterwinningen in het Lid van Bassevelde in en rond het gebied Sint-Niklaas - Beveren

gemeente	naam	X-coördinaat	Y-coördinaat	maaiveld (m T A W)	diepte (m)	debiet (m ³ /jaar)	Kl.
Antwerpen	Indaver B,	148 765	222 929	5,8	52	800000	B
Hoboken	De Bruyn & Gouffeau	148 685	207 840	7,00	90	15 m ³ /dag	A
Wilrijk	Antwerpco	151 240	207 350	22,00	70	115 m ³ /dag	B
Mortsel	Sint-Amadeus Psych Ce	155 700	208 300	-	32	0	0
Zwijndrecht	Zelfwasserij Kristal	148 600	210 900	-	75	0	0
Zwijndrecht	Gralex	146 400	208 500	5,00	56	96 m ³ /dag	A
Sint-Gillis-Waas	Van Buynder	132 430	210 120	8,00	40	11 700	A
Beveren-Waas	Algemeen Ziekenhuis	141 760	211 095	12,80	76	14 600	A
Kieldrecht	Wasserij Poppe	136 305	220 295	2,00	98	30 m ³ /dag	A
Beveren	Manufact de Biscuits	143 080	212 155	8,00	97	100 m ³ /d	B
Beveren-Waas	Krijgsmacht	138 575	208 600	15,00	60	34 000	A
Sint-Gillis-Waas	Kliniek Sint-Helena	132 900	216 00	-	43	0	0
Beveren-Waas	Krijgsmacht	138 620	208 570	15,00	63	34 000	A
Sint-Gillis Waas	OCMW	132 860	212 605	5,00	43	30 m ³ /d	A
Sint-Gillis-Waas	Bosomec	133 395	211 575	5,00	52	7 600	A
Sint-Niklaas	Waasse Bottel Mij	136 960	207 010	21,00	44	20 440	A
Sint-Niklaas	Waasse Bottel Mij	136 995	206 980	21,00	44	8 800	A
Sint-Niklaas	Fuji Hunt	136 020	206 515	20,10	50	36 000	B
Sint-Niklaas	Arsenaal Materieel MVL	138 600	208 600	-	60	0	0
Sint-Niklaas	Foodmachin Europe NV	135 190	206 540	19,00	46	24 000	B
Sint-Niklaas	Filteint NV	133 400	206 700	15,00	42	1 450 m ³ /d	B
Sint-Niklaas	Fuji Hunt	136 080	206 450	20,00	50	51 000	B
Sint-Niklaas	Mi-Wa Intercomm Huisv	132 380	207 000	13,00	38	113 800	B
Sint-Niklaas	Bad St, Michel	133 700	207 300	-	45	1 400	A
Sint-Niklaas	Reychler	134 535	206 525	17,00	46	18 000	A
Sint-Niklaas	Schoeters Retorderie NV	134 910	206 270	19,00	40	80 300	B
Stekene	Camping "Vlassard"	124 600	208 380	7,50	21	7 500	A
Stekene	De Paepe	129 000	213 100	-	40	30 000	A
Stekene	Van Steen Transport NV	126 700	209 900	-	40	300	A
Sint-Niklaas	Janssens	133 310	207 195	13,50	42	1 000 m ³ /d	B
Sint-Niklaas	Fuji Hunt	136 120	206 470	-	50	15 000	B

Tabel III.2.9 - Bij de AMINAL bekende grondwaterwinningen in het Lid van Ruisbroek in en rond het gebied Sint-Niklaas - Beveren

III.2.6 Neogene zanden

III.2.6.1 Inleiding

De neogene zanden komen enkel in het gebied Sint-Niklaas - Beveren voor. Ze vormen de meest omvangrijke watervoerende laag van Vlaanderen. Hierin onderscheidt men verschillende lagen, gekenmerkt door een eigen doorlatendheid.

In de het gebied Sint-Niklaas - Beveren is de watervoerende laag van het Neogeen en het Kwartair samen ongeveer 25 m dik ter hoogte van Kallo en 120 m dik ter hoogte van Woensdrecht. Ze wordt dikker naar het oosten toe.

III.2.6.2 Grondwaterstroming

Men kan aannemen dat het regionale stromingspatroon in deze freatische laag in het gebied door de Schelde beïnvloed wordt.

III.2.6.3 Doorlatendheid

Door het LTGH werden in dit gebied en iets meer naar het oosten toe verschillende hydrogeologische studies uitgevoerd, waarbij vaak doorlatendheden werden bepaald. Het gaat om de studies te Beveren - Zwijndrecht (pompproef ten behoeve van de stormvloedkering op de linkerscheldeoever), te Antwerpen, BASF (pompproef door DE SMET et al., 1994), te Brecht (pompproef door MAHAUDEN et al., 1990) en in de Kalmthoutse Heide (pompproef door VAN DIJCK et al., 1989). Door TRACTEBEL (1980) werden de doorlatendheden aan de hand van laboratoriumtesten bepaald te Doel. De resultaten van deze studies zijn samengevat in tabel III.2.10.

Formatie	Lid	Doel	Beveren- Zwijndrecht	Kalmthout-Essen	Brecht	Zandvliet
Lillo	Zandvliet Merksem	$1,1 \cdot 10^{-4} - 4,4 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4} - 2,7 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$
	Kruisschans					$2 \cdot 10^{-7} (k^*)$
	Oorderen					
Kattendijk		$3,7 \cdot 10^{-5} - 6,9 \cdot 10^{-2}$		$3,3 \cdot 10^{-5} - 8,2 \cdot 10^{-4}$		$5,31 \cdot 10^{-5}$
Diest						
Berchem		$3,7 \cdot 10^{-5} - 6,9 \cdot 10^{-2}$				

Tabel III.2.10 - Doorlatendheden van de neogene formaties en leden (in m/s)

III.2.6.4 Grondwaterwinningen

Volgens de gegevens van de AMINAL worden er in en rond het gebied Sint-Niklaas - Beveren op 58 plaatsen water uit de miocene afzettingen gewonnen. Het grootste deel van deze winningen is gelegen in de stad Antwerpen en omgeving. Niet al de winningen werden in tabel III.2.11 opgenomen. Omdat de miocene afzettingen van de onderliggende watervoerende lagen zijn gescheiden door de kleilaag van de Formatie van Boom, werden enkel de waterwinningen van klasse C (drinkwatermaatschappijen) opgenomen. De PIDPA heeft 3 vergunde waterwinningen in het gebied (1 in Essen en 2 in Kapellen). Ook de effectief in het gebied gelegen vergunde waterwinningen van klasse A en B staan in de tabel vermeld.

gemeente	naam	X-coördinaat	Y-coördinaat	maaiveld (m TAW)	diepte (m)	debiet (m ³ /jaar)	klasse
Essen	PIDPA	154 260	235 200	-	130	7 300 000	C
Kapellen	PIDPA	153 180	227 170	-	80	5 475 000	C
Kapellen	PIDPA	153 180	227 170	-	80	3 750 000	C
Stabroek	Van de Poel & Co	149 750	224 330	500	52	219 000	B
Stabroek	Wasserij Stabroek	149 480	224 670	500	41	40 m ³ /dag	A
Stabroek	Mouterij Dingemans	149 280	224 310	500	50	60 000	B

Tabel III.2.11 - Vergunde grondwaterwinningen in de miocene afzettingen in het gebied Sint-Niklaas - Beveren

In het geselecteerde gebied zijn er volgens de gegevens van de AMINAL 4 grondwaterwinningen uit de Formatie van Kattendijk vergund. In het gebied Sint-Niklaas-Beveren zelf zijn 2 vergunningen van klasse B gelegen (Beveren en Kieldrecht). Beide hebben een relatief hoog vergund debiet. Enkel deze laatste werden in tabel III.2.12 opgenomen.

gemeente	naam	X-coördinaat	Y-coördinaat	maaiveld (m TAW)	diepte (m)	debiet (m ³ /jaar)	klasse
Kieldrecht	De Meyer-Van Laere-Betona	139 400	218 500	2,00	26	2 750 000	B
Beveren	Piet Heintunnelcombinatie	139 500	218 350	2,00	30	491 436	B

Tabel III.2.12 - Vergunde grondwaterwinningen in de Formatie van Kattendijk in het gebied Sint-Niklaas - Beveren

Volgens de gegevens van de AMINAL zijn er in en rond het gebied Sint-Niklaas - Beveren 11 grondwaterwinningen in de Formatie van Lillo aanwezig. Enkel de in het eigenlijke gebied gelegen winningen werden in tabel III.2.13 opgenomen. Ze zijn gelegen in Kapellen, Zwijndrecht en Sint-Gillis-Waas. Vier ervan zijn niet vergund. Van de overige behoren er 4 tot klasse A en 1 tot klasse B. De vergunde debieten zijn eerder klein.

gemeente	naam	X-coördinaat	Y-coördinaat	maaiveld (m TAW)	diepte (m)	debiet (m ³ /jaar)	klasse
Kapellen	Gomoli	153 680	222 500	8,00	35	20 m ³ /d	A
Kapellen	OOVan Ostra	154 025	222 720	9,00	40	90 m ³ /d	A
Kapellen	Suchard	155 080	222 960	10,00	30	12 400	A
Kapellen	Royal Antwerp Golfclub	156 590	225 900	19,00	33	120 m ³ /d	B
Kapellen	Jonathan BVBA	154 700	220 900	-	50	0	0
Zwijndrecht	D'Hollander	147 250	213 000	5,50	12	2 260	A
Zwijndrecht	D'Hollander	147 200	213 000	-	9	0	0
Sint-Gillis-Waas	Kamping Fort Bedmar	131 800	217 200	-	30	0	0
Sint-Gillis-Waas	Kamping Fort Bedmar	131 800	217 200	-	7	0	0

Tabel III.2.13 - Vergunde grondwaterwinningen in de Formatie van Lillo
in het gebied Sint-Niklaas - Beveren

III.2.6.5 Grondwaterkwaliteit

Ter hoogte van Beveren-Zwijndrecht is het grondwater in de Formatie van Kattendijk zeer brak tot matig zout (BOLLE et al., 1989). Nagenoeg de volledige Formatie van Kattendijk zou in de Melselepolder gevuld zijn met dergelijk grondwater. De verziltingsgrens in het Land van Waas kan ruwweg gesitueerd worden volgens een lijn die loopt ten noorden van Meerdonk en ten zuiden van Kallo (LEBBE & DE BREUCK, 1974). Buiten de verzilte gebieden zijn de waters van het freatisch reservoir matig zoet en matig hard, sulfaathoudend en ijzerrijk. In Zandvliet, nabij de Schelde bevat de neogene watervoerende laag brak tot zout, verzilt water (DE SMET et al., 1994).

III.2.7 Kwartair

III.2.7.1 Inleiding

Vooraf in het oosten van het studiegebied en aan de kust vormen de kwartaire afzettingen vanuit hydrogeologische standpunt een belangrijke laag.

a. Gebied Knokke

De kwartaire zandige sedimenten zijn doorlatend in het gebied Knokke. Ze vormen er het ondiep freatisch grondwaterreservoir en zijn er ongeveer 30 m dik. Algemeen kan men stellen dat het kwartair grondwaterreservoir is opgebouwd uit (van onderen naar boven):

- een doorlatende laag bestaande uit de afzettingen van Damme, Zeebrugge, Moerkerke en Kaprijke (MARTENS et al., 1995);
- een relatief slecht-doorlatende laag bestaande uit de afzettingen van Eeklo;
- een doorlatende laag bestaande uit de afzettingen van Duinkerken.

b. Gebied Sint-Laureins - Assenede

In het gebied Sint-Laureins - Assenede is het freatisch grondwaterreservoir opgebouwd uit pleistocene afzettingen en de watervoerende laag gevormd door de Formaties van Niel en Zelzate.

Het Kwartair is er van onderen naar boven opgebouwd uit een slecht-doorlatende laag, een doorlatende laag, een slecht-doorlatende leemlaag en een zeer dunne doorlatende laag (BOUGHRIBA, 1992).

c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren

In het gebied Sint-Niklaas - Beveren vormen de kwartaire afzettingen samen met de neogene formaties één watervoerende laag.

III.2.7.2 Grondwaterstroming

Het grondwaterstromingspatroon is sterk plaatsgebonden, omdat het afhankelijk is van de topografie, de samenstelling van de freatische laag, de infiltratie en sterk kan beïnvloed worden door oppervlaktewaters.

III.2.7.3 Doorlatendheid

a. Gebied Knokke

In de omgeving van Zeebrugge (nabij Heist) werden de doorlatendheden van de kwartaire eenheden bepaald aan de hand van hun granulometrische kenmerken (DEPRET, 1983). Van onderen naar boven vindt men:

- de afzettingen van Kaprijke met een doorlatendheid van $1,74 \cdot 10^{-4}$ m/s;

- de afzettingen van Moerkerke met een doorlatendheid van $1,16 \cdot 10^{-4}$ m/s;
- de afzettingen van Zeebrugge (zandig pakket) met een doorlatendheid van $1,15 \cdot 10^{-4}$ m/s;
- de afzettingen van Damme met een doorlatendheid van $1,04 \cdot 10^{-4}$ m/s;
- de afzettingen van Eeklo (zandig pakket) met een doorlatendheid van $3,47 \cdot 10^{-5}$ m/s;
- de afzettingen van Duinkerken met een doorlatendheid van $1,11 \cdot 10^{-4}$ m/s.

b. Gebied Sint-Laureins - Assenede

Het Pleistoceen heeft te Assenede een doorlatendheid van $1,88 \cdot 10^{-4}$ m/s (BOUGHRIBA, 1992).

c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren

De voor de neogene afzettingen vermelde studies (zie hierboven) vermelden ook de doorlatendheden voor de bovenliggende kwartaire afzettingen. De doorlatendheid van het Kwartair te Beveren - Zwijndrecht werd bepaald in het laboratorium (BOLLE et al., 1989). Deze studies maken onderscheid tussen verschillende kwartaire lagen, die elk worden gekenmerkt door een verschillende doorlatendheid. De resultaten werden samengevat in tabel III.2.14.

	Doel	Beveren- Zwijndrecht	Zandvliet
leem - klei: k^v	$2 \cdot 10^{-6} - 2,1 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-7}$
fijn zand: k^h	$7,7 \cdot 10^{-4} - 2,46 \cdot 10^{-2}$		$2,2 \cdot 10^{-5}$
veen - klei: k^v	$2,67 \cdot 10^{-6} - 3 \cdot 10^{-3}$	$6,1 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-7}$
zand : k^h		$1,6 \cdot 10^{-4}$	

Tabel III.2.14 - Doorlatendheden van de kwartaire afzettingen in de omgeving van het gebied Sint-Niklaas - Beveren (in m/s)

III.2.7.4 Grondwaterwinningen

a. Gebied Knokke

Volgens de gegevens van de AMINAL zijn er in en rond het gebied Knokke 7 grondwaterwinningen uit het kwartair reservoir. Zes ervan zijn gelegen in Knokke-Heist, waarvan 3 met vergunning klasse C (waterbedrijf Knokke-Heist). Eén is onvergund en de twee overige zijn bronbemalingen. Eén waterwinning van klasse A is gelegen in Heist-aan-Zee (tabel III.2.15).

gemeente	naam	X-coördinaat	Y-coördinaat	maaiveld (m TAW)	diepte (m)	debiet (m ³ /jaar)	kl.
Knokke-Heist	Saelens	72 300	226 300	3,75	5	144 000	D
Knokke-Heist	Saelens	74 750	226 830	3,75	5	144 000	D
Knokke-Heist	Waterbedrijf Knokke-Heist	76 000	226 150	-	23	1 050 000	C
Knokke-Heist	Waterbedrijf Knokke-Heist	73 400	226 200	-	23	1 050 000	C
Knokke-Heist	Waterbedrijf Knokke-Heist	76 000	226 150	-	23	1 050 000	C
Heist-aan-Zee	Vandaele	72 000	225 835	4,00	30	1 000	A
Knokke-Heist	Casino Knokke-Heist	72 970	226 150	4,50	9	0	0

Tabel III.2.15 - Vergunde waterwinningen in het kwartair reservoir in het gebied Knokke

b. Gebied Sint-Laureins - Assenede

Volgens de gegevens van de AMINAL zijn er twee waterwinningen, klasse A, in Boekhoute en in Assenede vergund (Tab. III.2.16).

gemeente	naam	X-coördinaat	Y-coördinaat	maaiveld (m TAW)	diepte (m)	debiet (m ³ /jaar)	klasse
Boekhoute	Neyt	102 000	216 000	-	11	1 348	A
Assenede	NV Constructie Industrie	104 400	212 100	-	10	7 300	A

Tabel III.2.16 - Vergunde grondwaterwinningen in het kwartair reservoir in en rond het gebied Sint-Laureins - Assenede

c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren

Volgens de gegevens van de AMINAL zijn er in en rond het gebied Sint-Niklaas - Beveren 22 grondwaterwinningen in de kwartaire afzettingen. Wegens de dikte van de afzettingen die zich tussen het Kwartair en de Formatie van Kortrijk bevindt, werden enkel de waterwinningen in het gebied zelf in tabel III.2.17 opgenomen. Een waterwinning van de VMW in het kwartair reservoir is gelegen in Sint-Niklaas. Verder zijn er 4 waterwinningen van klasse A en 1 van klasse B in het gebied gelegen. Drie onvergunde waterwinningen zijn bij de AMINAL bekend. De waterwinningen zijn gelegen in Beveren-Waas, Sint-Gillis-Waas, Sint-Niklaas en Stekene.

gemeente	naam	X-coördinaat	Y-coördinaat	maaiveld (m TAW)	diepte (m)	debiet (m ³ /jaar)	KI
Beveren-Waas	Joris	141 900	211 600	-	6	0	0
Sint-Gillis-Waas	Smet	124 400	210 700	-	35	0	0
Sint-Gillis-Waas	Smet	124 400	210 700	-	5	0	0
Zwijndrecht	Cellenbeton Burcht	147 200	209 600	9,00	10	1000 m ³ /dag	B
Sint-Niklaas	VMW	122 450	210 250	-	13	2 555 000	C
Sint-Niklaas	Reychler	134 500	206 500	17,00	23	18 000	A
Stekene	De Bock-Van Haevermaet	123 900	211 600	-	20	2 190	A
Stekene	camping "Vlasaard"	124 760	208 430	7,50	9	7 500	A
Stekene	VKT Camping Reinaert	124 500	208 400	7,00	12	13 000	A

Tabel III.2.17 - Grondwaterwinningen in het kwartaire reservoir in het gebied Sint-Niklaas - Beveren

III.2.7.5 Grondwaterkwaliteit

a. Gebied Knokke

In het grootste gedeelte van het gebied bevat de kwartaire laag verzilt grondwater. Het duingebied van Knokke heeft een grote zoetwaterlens.

b. Gebied Sint-Laureins - Assenede

In het gebied bevat de bovenste watervoerende laag verzilt grondwater.

c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren

De resultaten betreffende de grondwaterkwaliteit van de neogene zanden gelden voor het volledige freatische grondwaterreservoir dat is opgebouwd uit kwartaire en neogene afzettingen.

III.3 VERZILTING

III.3.1 Inleiding

Figuur III.3.1 toont de zones in Vlaanderen met verzilt grondwater in de bovenste winbare watervoerende laag.

III.3.2 Gebied Knokke

In het grootste deel van het gebied Knokke is de bovenste watervoerende laag verzilt. In een deel van het gebied (zuidwesten) wordt een ontzilting in het Kwartair vastgesteld (DE BREUCK et al., 1974).

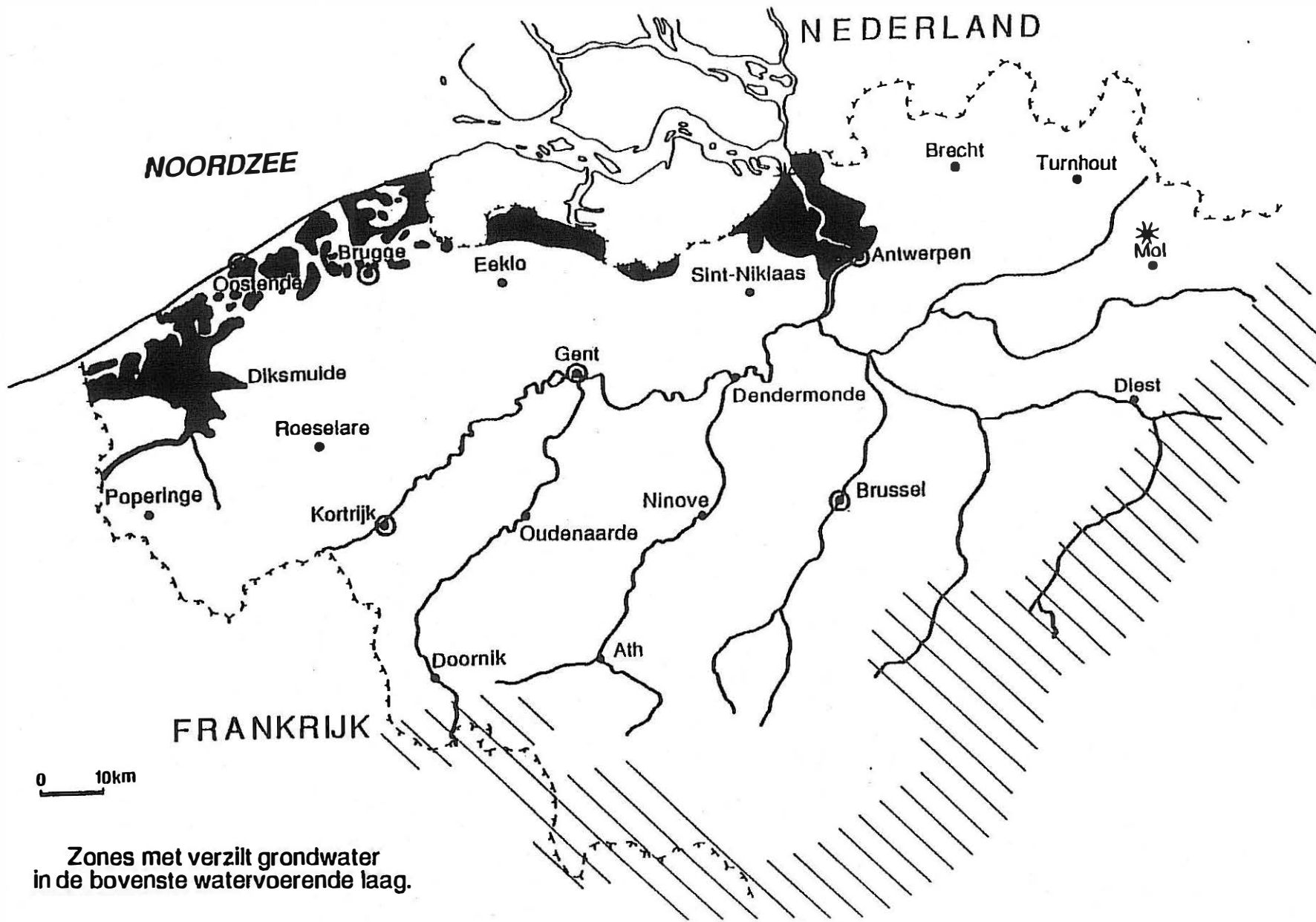
III.3.3 Gebied Sint-Laureins - Assenede

In het grootste gedeelte van het gebied Sint-Laureins - Assenede is de bovenste watervoerende laag verzilt. Dit is niet het geval voor het uiterste noordwesten.

III.3.4 Gebied Sint-Niklaas - Beveren

In het grootste deel van het gebied Sint-Niklaas - Beveren is de bovenste watervoerende laag verzilt. Dit geldt niet voor het zuiden en het noordoosten.

RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)



Figuur III.3.1. Zones met verzilt grondwater in de bovenste watervoerende laag

III.4 BESLUIT

De hydrogeologische bouw van het gebied Knokke en het gebied Sint-Laureins - Assenede is ongeveer dezelfde. In beide gebieden vindt men onder de Formatie van Kortrijk twee watervoerende lagen (het bovenste gedeelte van de Paleozoïsche Sokkel en het grootste gedeelte van de Landen Groep), gescheiden door een slecht-doorlatende laag (voornamelijk Krijt en eventueel het kleiige deel van de Landen Groep). Boven de Formatie van Kortrijk komt het slecht-doorlatende Lid van Kortemark voor. Daarop volgt de watervoerende laag van het Lid van Egem, gescheiden door het onderste slecht-doorlatende gedeelte van de Formatie van Gent van de watervoerende laag gevormd door het Lid van Vlierzele, de Zenne Groep en het Lid van Wemmel. Deze laatste wordt door de Formatie van Maldegem gescheiden van het freatisch grondwaterreservoir (Kwartair ter hoogte van de boring Knokke, Kwartair en Formaties van Zelzate en Niel in Assenede).

In het gebied Sint-Niklaas - Beveren treft men grotendeels dezelfde hydrogeologische bouw aan. De Landen Groep bestaat er uit een onderste slecht-doorlatend en een bovenste watervoerend gedeelte. In dit gebied komt boven de Formatie van Maldegem de watervoerende laag, gevormd door de Formaties van Zelzate en van Niel voor, die hier artesisch is. Deze laag wordt van de neogene en kwartaire watervoerende afzettingen gescheiden door de zeer slecht-doorlatende klei van de Formatie van Boom.

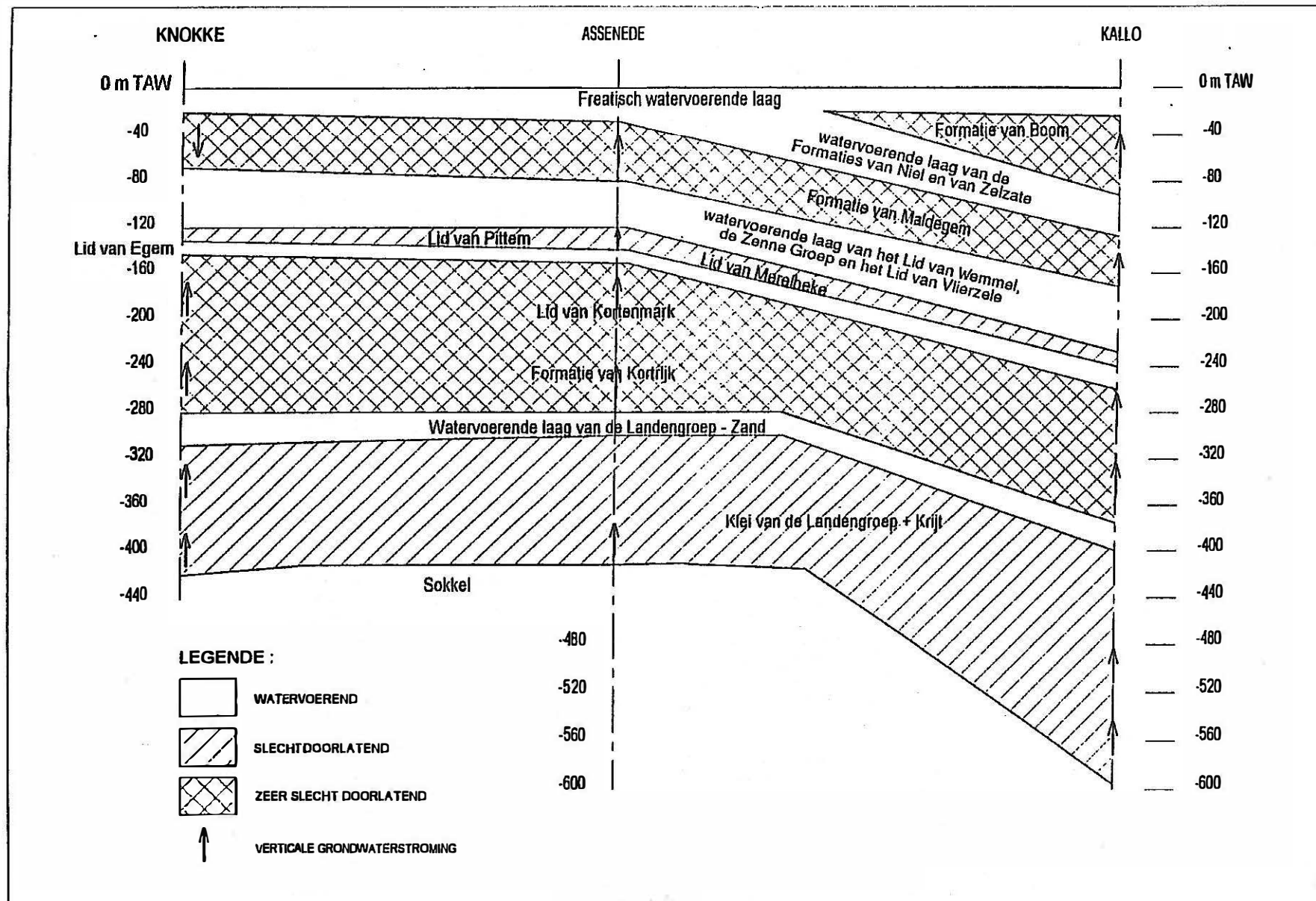
In de geselecteerde gebieden lenen de Sokkel en de Landen Groep zich weinig tot winning wegens de grote diepte. Bovendien heeft het grondwater in beide lagen een betrekkelijk hoog zoutgehalte. In de gebieden en in de onmiddellijke omgeving ervan wint men geen water uit de Sokkel en/of de Landen Groep (wel in het zuidwesten van België). Het slecht-doorlatende Krijt bevat eveneens een relatief hoog zoutgehalte; er wordt in de geselecteerde gebieden geen water uit gewonnen.

De hydrogeologische bouw en de verticale stroming in natuurlijke toestand en met grondwaterwinningen is schematisch weergegeven op de figuren II.4.1 en III.4.2.

In natuurlijke omstandigheden (toestand zonder grondwaterwinningen) werden zowel Sokkel als Landen Groep in het zuidelijk gedeelte van Vlaanderen gevoed doorheen de Formatie van Kortrijk (zeer traag). Thans treedt er, door grondwaterwinning, bijna overal neerwaartse stroming op. De horizontale grondwaterstroming in de Paleozoïsche Sokkel en in de Landen Groep, die noordwaarts was gericht in natuurlijke omstandigheden, is thans gewijzigd. Stijghoogtegegevens zijn in de geselecteerde gebieden niet beschikbaar; via modellering (LEBBE et al., 1987) werd afgeleid dat het water in beide lagen in de gebieden Knokke en Sint-Laureins - Assenede naar het zuidwesten stroomt. Het gebied Sint-Niklaas - Beveren werd niet in dit model opgenomen.

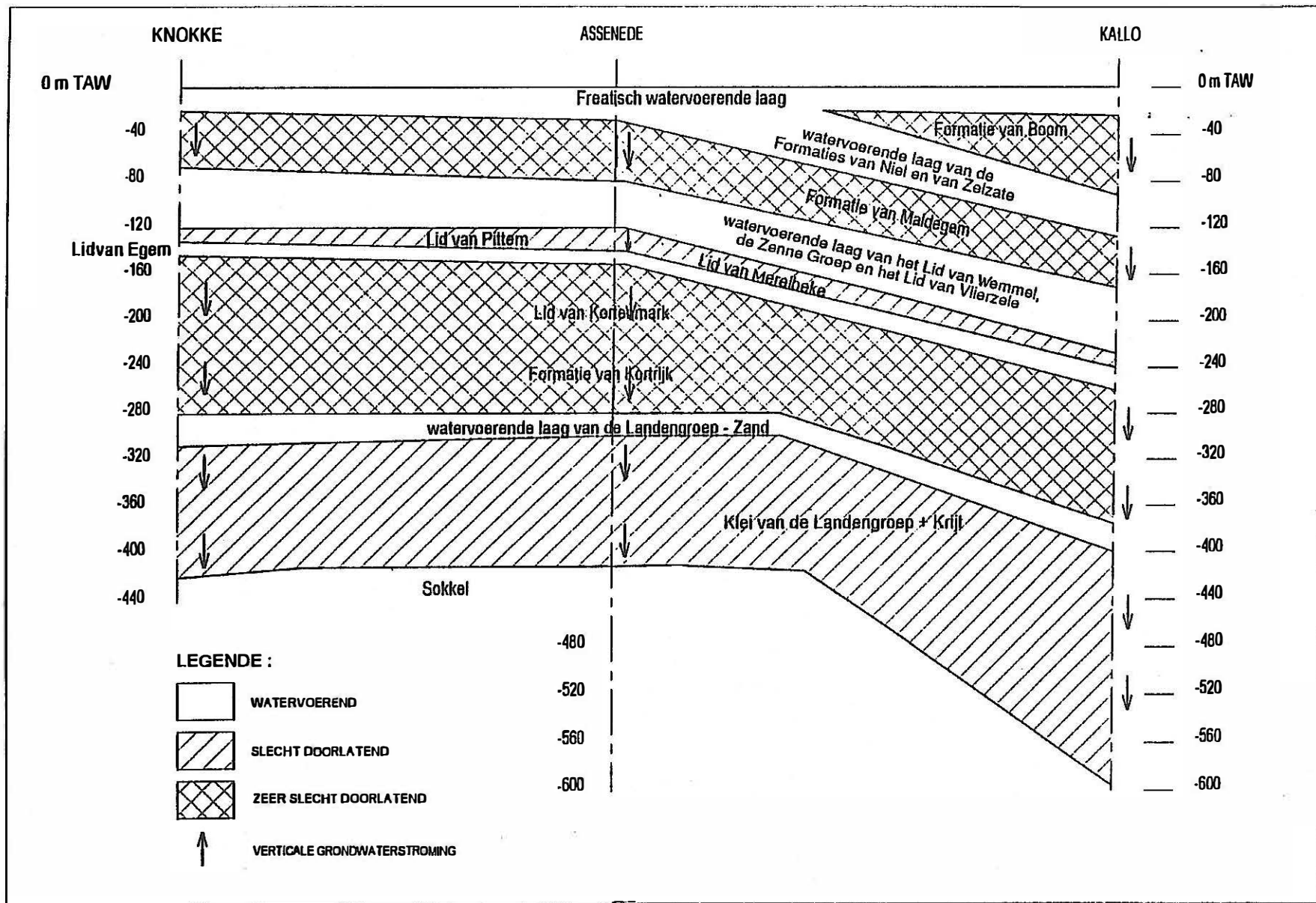
Uit de watervoerende laag van het Lid van Egem wordt er in de geselecteerde gebieden bijna geen water gewonnen. Volgens de gegevens van de AMINAL is er in en in de omgeving slechts één waterwinning (klasse B), vergund. Ze is gelegen in de omgeving van het gebied Knokke, te Zeebrugge. Het grondwaterstromingspatroon is grotendeels gelijk aan dat in de bovenliggende watervoerende laag.

Het Lid van Wemmel, de Zenne Groep en het Lid van Vlierzele vormen een belangrijke



Figuur III.4.1. Hydrogeologische opbouw van het studiegebied - Verticale grondwaterstroming in natuurlijke omstandigheden

RUG - Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (TGO 94030)



Figuur III.4.2. Hydrogeologische opbouw van het studiegebied - Verticale grondwater stroming in de huidige omstandigheden met grondwaterwinningen

watervoerende laag in het noorden van West- en Oost-Vlaanderen. In natuurlijke toestand was in een groot gedeelte van het studiegebied de stroming opwaarts gericht. Thans is de grondwaterstroming (door wateronttrekking) meestal neerwaarts gericht. In het gebied Knokke is het huidige grondwaterstromingspatroon vooral zuidwaarts gericht. In het gebied Sint-Laureins - Assenede is de stroming sterk beïnvloed door verschillende afpompingsrechters. In het zuidwesten van het gebied Sint-Laureins - Assenede en in het zuidoosten van het gebied Sint-Niklaas - Beveren is het water zoet tot brak. In het overige gedeelte van de gebieden Knokke, Sint-Laureins - Assenede en Sint-Niklaas - Beveren bevat het grondwater een relatief hoog zoutgehalte.

Volgens de gegevens van de AMINAL zijn er in het gebied Knokke 2 en in het gebied Sint-Laureins - Assenede 5 grondwaterwinningen in deze watervoerende laag. Het gaat meestal om vergunningen van klasse A, met een relatief klein vergund debiet. In en het gebied Sint-Niklaas - Beveren daarentegen zijn er 11 waterwinningen met een relatief groot debiet vergund. Ze zijn gelegen te Antwerpen en te Sint-Niklaas.

Zowel in het gebied Knokke als in het gebied Sint-Laureins - Assenede behoort de watervoerende laag, gevormd door de formaties van Niel en Zelzate tot het ondiep freatisch grondwaterreservoir. In het gebied Sint-Niklaas - Beveren is de laag artesisch. In natuurlijke omstandigheden was de stroming naar het noordwesten gericht, de verticale stroming was opwaarts in het noorden en neerwaarts in het zuiden. Deze toestand is vandaag nog grotendeels actueel.

In en rond het gebied Sint-Niklaas - Beveren wordt er relatief veel water uit deze watervoerende laag gewonnen. Op 4 plaatsen wordt er water gewonnen uit het Lid van Bassevelde, op 34 uit het Lid van Ruisbroek. De debieten die worden gewonnen zijn eerder gering.

De bovenste freatisch watervoerende laag bestaat vooral uit kwartaire afzettingen in het gebied Knokke. In het uiterste noordoosten maakt ook het Lid van Bassevelde deel uit van deze watervoerende laag. In dit gebied kunnen de 30 m dikke kwartaire afzettingen in hun geheel als doorlatend worden beschouwd. Men treft er 7 winningen aan. Drie ervan zijn winningen van de drinkwatermaatschappij van Knokke-Heist. De laag bevat een relatief groot zoutgehalte, maar in het duingebied komt een zoetwaterlens voor. In het gebied Sint-Laureins - Assenede bestaat het freatisch reservoir uit afzettingen van het Kwartair en van het Lid van Bassevelde. Voor de waterwinning is het Kwartair in dit gebied niet belangrijk: slechts 2 vergunningen van klasse A bevinden zich in het gebied. Ook hier bevat de laag een relatief groot zoutgehalte, behalve in het uiterste noordwesten.

De bovenste watervoerende laag in het gebied Sint-Niklaas - Beveren bestaat uit neogene en kwartaire afzettingen. De neogene afzettingen kunnen globaal als watervoerend worden beschouwd. In veel studies wordt het Lid van Kruisschans van de Formatie van Lillo als relatief slecht-doorlatend beschouwd. In en rond het gebied zijn er 73 winningen in de neogene afzettingen bij de AMINAL bekend. De PIDPA wint water in het Mioceen in Essen en in Kapellen. Het Kwartair bestaat in het gebied Sint-Niklaas - Beveren in twee zandige watervoerende lagen, gescheiden door een veen-kleilaag. Bovenaan komt een leem-kleicomplex voor. In en rond het gebied zijn er 22 waterwinningen uit het Kwartair. De VMW wint grondwater uit het Kwartair in Sint-Niklaas. In het grootste gedeelte van het gebied Sint-Niklaas - Beveren bevat de bovenste watervoerende laag een relatief hoog zoutgehalte. Dit geldt niet voor het zuiden en het noordoosten.

DEEL IV

STRUCTURELE GEOLOGIE

IV.1 INLEIDING

In dit deel wordt een bondig overzicht gegeven van de seismotektonische eenheden in de grote omgeving van de gebieden, die op basis van lithologie en geometrie van de kleilagen in de Formatie van Kortrijk in aanmerking komen voor verder onderzoek, met aanduiding van de ligging van breuken en plaatsen waar zich aardbevingen hebben voorgedaan.

Op de kleivervormingsverschijnselen werd in deel I ingegaan.

IV.2 SEISMOTEKTONISCHE EENHEDEN

IV.2.1 Inleiding

Op figuur IV.2.1 worden de vanaf de Middeleeuwen waargenomen aardbevingen voorgesteld. Hieruit blijkt dat er in en rond ons land vier streken zijn waar zich aardbevingen voorgedaan hebben: het Massief van Brabant, Noord-Frankrijk, Henegouwen en rond het drielandpunt België-Nederland-Duitsland. Aardbevingen kunnen verschillende effecten op het geologisch milieu veroorzaken (scheuren, verzakkingen, landafschuivingen, verstoring van de hydrogeologische toestand, reactivatie van breuken,...). Uit de gegevens blijkt dat het oosten van het land de Rijngraben met de Graben van Roermond seismologisch het meest actieve gebied van België is (CAMELBEECK, 1989).

Op figuur IV.2.2 worden de in België en omgeving voorkomende breuken aangegeven.

De seismotektonische eenheden die voorkomen in en rond België werden geïnventariseerd door TRACTIONEL (1984).

IV.2.2 Het Ardennen-Rijnland Massief

Het Ardennen-Rijnland Massief bestaat uit de Belgische en de Franse Ardennen (met inbegrip van de Enclave van het Boulonnais) en het Rijnlands leisteenmassief. Dit massief werd in de loop van de Varistische orogenese geplooid, waardoor de formaties die vóór het Ordovicium waren afgezet en dus eveneens de Caledonische orogenese hebben ondergaan tweemaal werden geplooid.

Het massief bevat het synclitorium van Namen, de anticlinale van de Condroz, het synclitorium van Dinant, het synclitorium van de Eifel en de anticlinale van Givonne. De richting van de plooiingen van de Varistische fase loopt evenwijdig met Samber- en Maasgleuf. De weinig talrijke zuidwaarts hellende opschuivingsbreuken bevestigen de noord-zuid gerichte orogeenetische samendrukking. Het massief is over zijn geheel als stabiel te beschouwen.

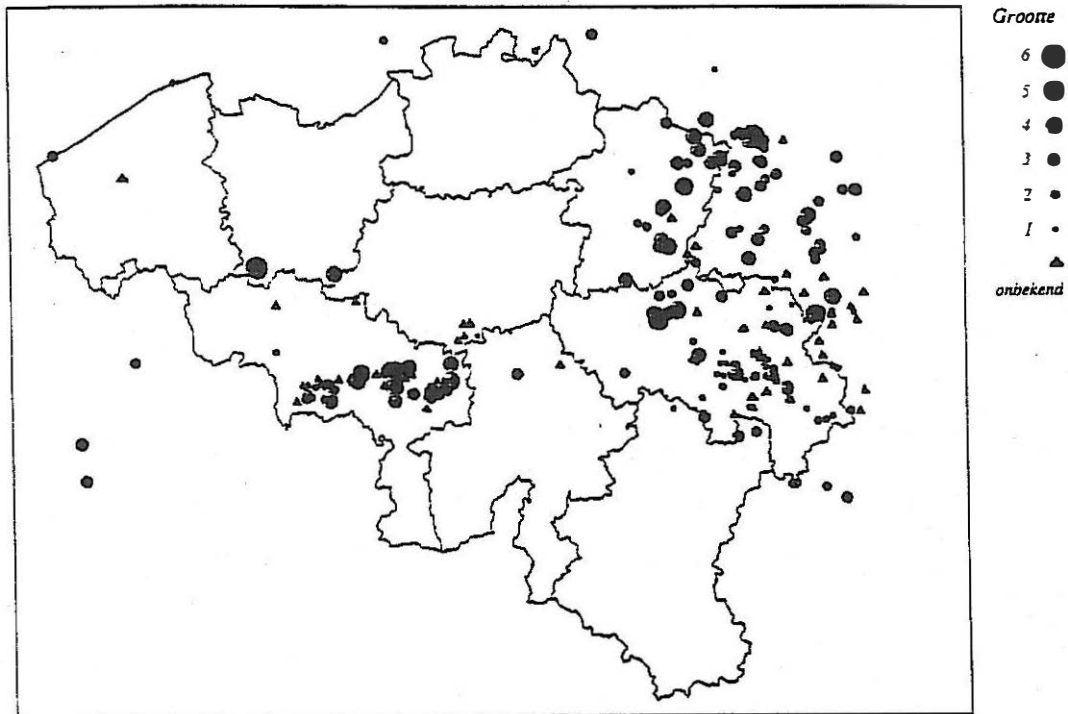
Het synclitorium van Namen wordt in het noorden begrensd door een randbreuk en leunt op het Massief van Brabant; in het zuiden is het begrensd door de naar het noorden overhellende Eifelbreuk. Het heeft zijn eigen seismologisch gedrag met twee seismisch actieve zones:

IV.2.2.1 de streek van Luik

In de streek van Luik is de seismologische activiteit te wijten aan de reactivatie van langsbreuken met horizontale verplaatsing. De hypocentra zijn gelegen op een diepte van 10 tot 13 km en uitzonderlijk op 3 tot 4 km. De intensiteit van de aardshokken kan oplopen tot VII op de MSK-schaal (vb. Luik, 1983). De MSK-schaal is de seismologische intensiteitsschaal van MEDVEDEV, SPONHEUER en KARNIK (1964).

IV.2.2.2 het Bekken van Bergen

Het Bekken van Bergen wordt door een uitgesproken seismologische activiteit gekenmerkt.



*Figuur IV.2.1. Overzichtskaart van de geregistreerde aardbevingen in België
(uit WOUTERS & VANDENBERGHE, 1994) (naar CAMELBEECK, 1993)*

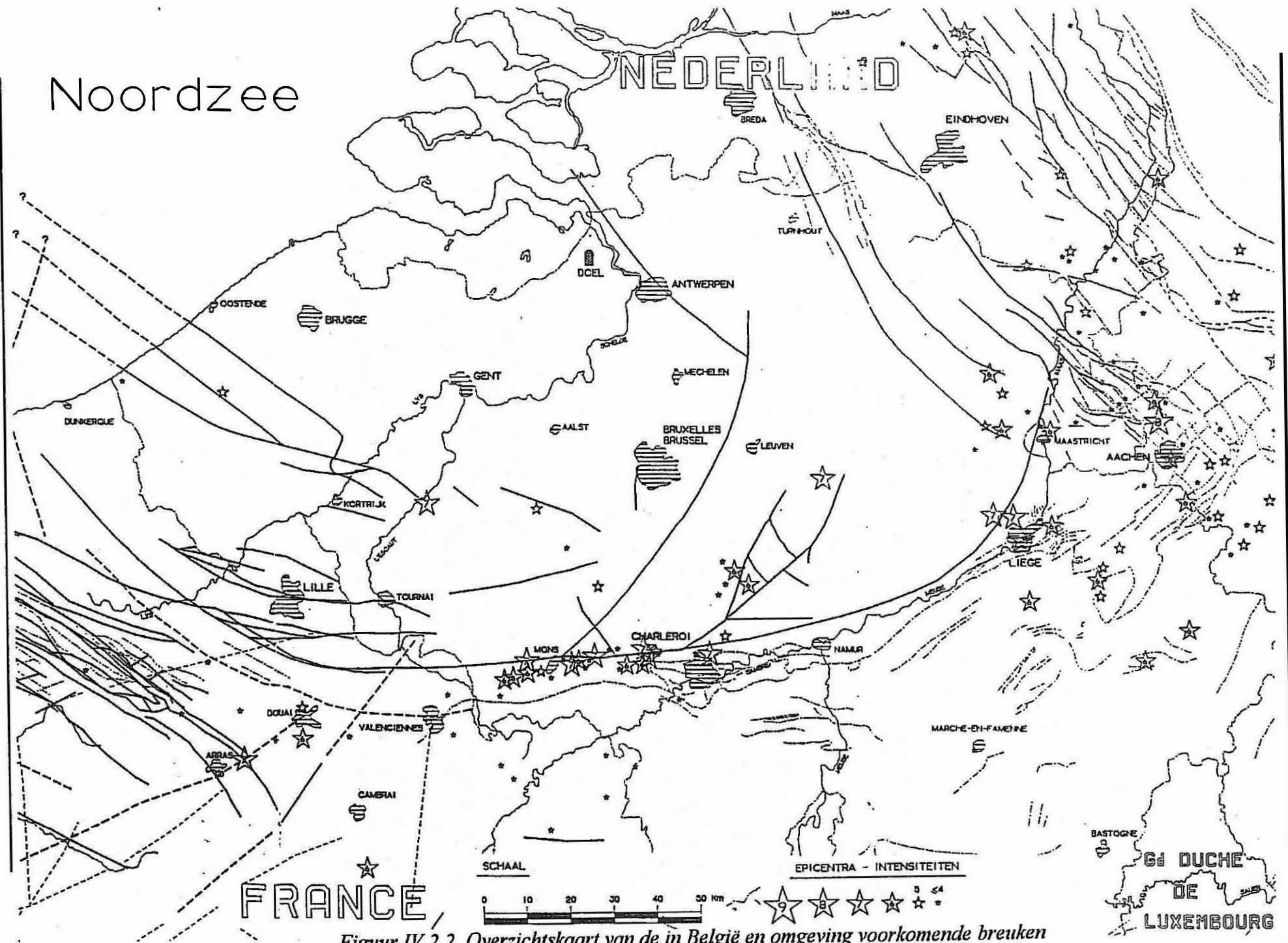
Noordzee

NEDERLAND

FRANCE

BASTOGNE
DU CHE
DE
LUXEMBOURG

RUG - Laboratorium voor Toegespits Geologie en Hydrogeologie (TUGO 94030)



Figuur IV.2.2. Overzichtkaart van de in België en omgeving voorkomende breuken (gegevens van TRACTIONEL, 1984)

Talrijke aardbevingen, met hypocentra die altijd minder dan 8,5 km en meestal tussen 3 en 6 km diep zijn gelegen, hebben er zich voorgedaan. Deze seismologisch actieve zone houdt waarschijnlijk verband met de Varistische structuren, die rusten op de Caledonische Sokkel (CAMELBEECK, 1989). De maximale intensiteit van de aardbevingen bedraagt VII op de MSK-schaal.

Een eerste groep aardbevingen ligt in de nabijheid van de randbreuk en kunnen het gevolg zijn van recente activiteit van deze breuk. Een tweede groep aardbevingen is tussen de randbreuk en de Eifelbreuk gelegen.

De activiteit wordt gekenmerkt door seismische sequenties met voor- en nabevingen. De meeste van deze sequenties zijn kenmerkend voor een heterogene of extreem heterogene seismogene zone en dus voor een belangrijke fracturatie van het gebied. Uit de aardbevingen kon worden afgeleid dat de maximale horizontale drukspanning NW-ZO gericht is.

Uit analyse van de aardbeving van Dour in 1987 kan in dit gebied van het Bekken van Bergen een noord-zuid gerichte rek afgeleid worden. Deze kan in verband gebracht worden met de sedert het Krijt optredende subsidentie van het Bekken van Bergen.

In het verlengde van het Bekken van Bergen in Frankrijk hadden eveneens bevingen plaats. Men heeft vastgesteld dat alle bevingen snel door de steenkoollagen worden gedempt zodat ze van gering belang zijn op middelgrote afstand.

Over kwartaire activiteit van de Eifelbreuk is niets bekend.

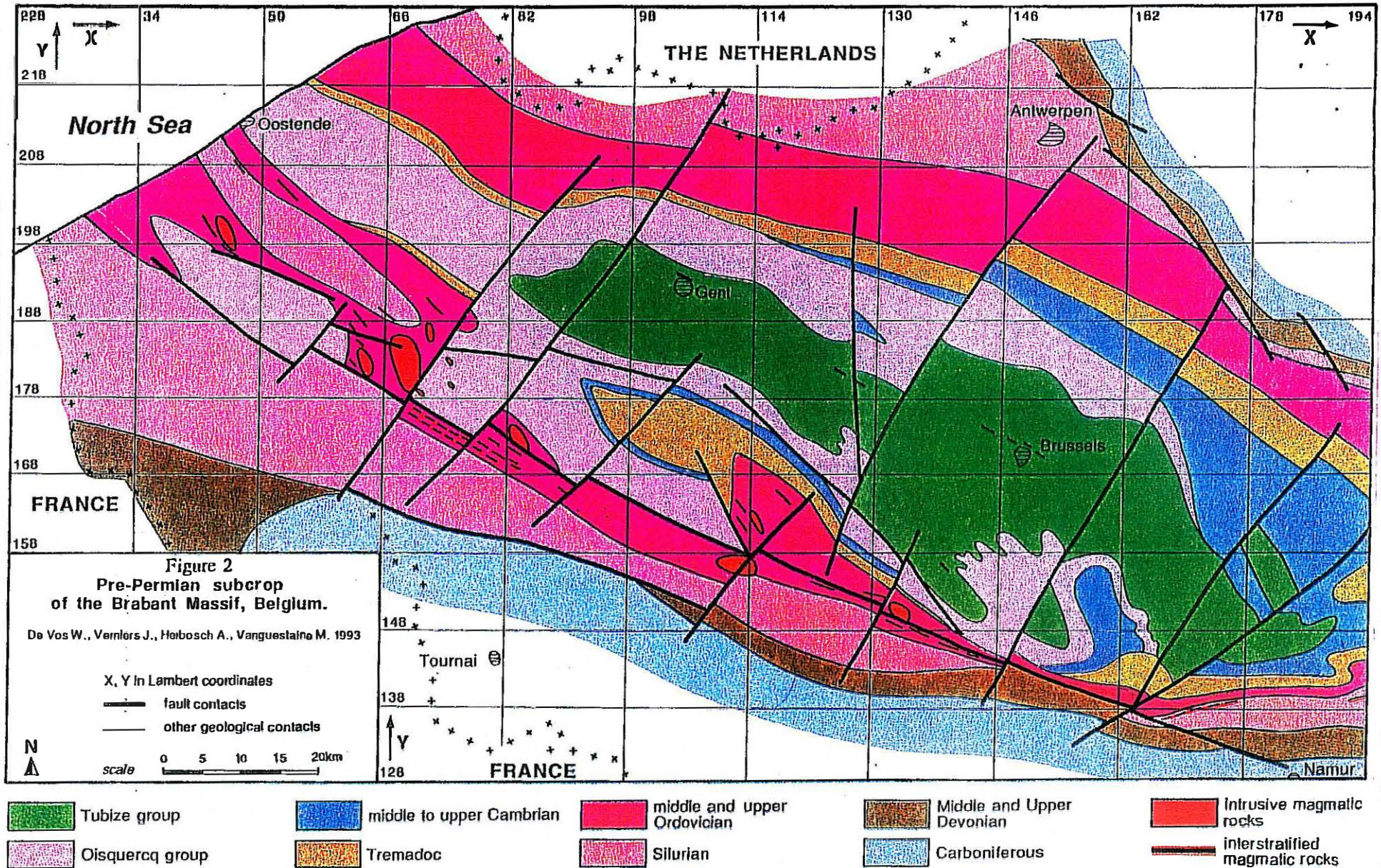
IV.2.3 Het Massief van Brabant

Het Massief van Brabant bestaat hoofdzakelijk uit Cambro-Silurische afzettingen, die de Caledonische orogenese hebben ondergaan. Het vormt een anticlinorium waarin de tijdens de Caledonische orogenese ontstane breuken hoofdzakelijk WNW-OZO gericht zijn. Langs deze breuken treden bij voorkeur relatieve bewegingen op.

De vroegere aardbevingen vormen een bewijs voor een belangrijke tektonische activiteit. Tot heden werd hier echter geen seismotektonische verklaring voor gevonden. Sedert de Middeleeuwen hebben vier aardbevingen schade veroorzaakt. Deze grepen plaats in 1382, 1449, 1580 en 1938 (CAMELBEECK, 1989). Het breukenpatroon in het Massief van Brabant geeft aanleiding tot aardschokken die een intensiteit tot VII op de MSK-schaal kunnen bereiken.

De geologie van het Massief van Brabant is voorgesteld op figuur IV.2.3. Longitudinale breuken komen voor langs de zuidelijke flank van de anticlinale van het Massief van Brabant (van Nieuwpoort in het westen tot Asquempont in het oosten). Hiertoe behoort de breukzone van Oudenaarde-Bierghes (ontstaan tijdens het Midden-Devoon). De longitudinale breuken werden later zelf gebroken door transversale bewegingen en breukblokwerking. Ook transversale breuken komen in het Massief van Brabant voor (DE VOS et al., 1993).

Waarschijnlijk zijn er in werkelijkheid meer breuken in het Massief van Brabant aanwezig dan voorgesteld op figuur IV.2.3.



Figuur IV.2.3. Geologie van de paleozoïsche sokkel in België - het Massief van Brabant
(naar DE VOS et al., 1994)

Waarschijnlijk was het grootste deel van de structuren van het Massief van Brabant reeds aanwezig voor het Siluur. Erna traden nog bewegingen op.

De breuken werden opnieuw actief tijdens de Varistische tektonische fase. Sinds het Boven-Krijt herleven deze breuken door de samendrukking die zijn oorzaak vindt in de Alpiene orogeenese (TRACTIONEL, 1984).

IV.2.4 Het Bekken van Parijs

Het Bekken van Parijs wordt afgebakend door het Armoricaans Massief in het westen, het Ardennen-Rijnland Massief in het noorden en het Massief van Brabant en de Vogezen in het oosten. Het wordt gekenmerkt door een systeem van NW-ZO en NO-ZW gerichte breuken. De NW-ZO gerichte breuken zijn de hoofdbreuken. Ze zijn ontstaan tijdens de Varistische Orogeese. Onder invloed van de Alpiene compressie zijn deze breuken tegenwoordig weer actief en worden door schuifspanningen evenwijdig aan deze in de Boven-Rijngraben gekenmerkt.

IV.2.5 Het Bekken van de Noordzee-Nederland-Noord-Duitsland

Dit bekken bevindt zich ten noorden van het Massief van Brabant. Ten gevolge van de Varistische compressie werd het gebied intens gefractureerd en traden er horizontale verschuivingen in de Noordzee op. Deze breuken lopen evenwijdig met de breuken in het Bekken van Parijs. De belangrijkste seismologische activiteit viel samen met de in het Jura en het Krijt optredende vorming van de Centrale Graben en de Vikinggraben tussen Schotland en Scandinavië. Omdat er geen duidelijke aanwijzingen voor latere seismologische activiteit bestaan, wordt het Bekken van de Noordzee algemeen als een stabiele eenheid beschouwd. In het Nauw van Calais herleven de breuken van Boulogne en Gravelines.

IV.2.6 De Rijngraben

De Rijngraben is ontstaan als gevolg van samendrukkende krachten en schuifspanningen in Midden- en West-Europa tijdens de Alpiene orogenese. Ze is voorgesteld op figuur IV.2.4.

Zowel uit de historische als uit instrumentale gegevens blijkt dat dit gebied het meest actieve van België is. Het grensgebied met Nederland en Duitsland werd sedert de Middeleeuwen meerdere malen door aardbevingen getroffen (CAMELBEECK, 1989).

De graben kan in verschillende zones worden opgedeeld:

IV.2.6.1 De Boven-Rijngraben

De Boven-Rijngraben strekt zich uit van Baal tot Mainz en wordt gekenmerkt door NNO-NO gerichte breuken. De zone heeft een huidige seismologische activiteit met aardbevingen, die een intensiteit van VIII op de MSK-schaal bereiken.

IV.2.6.2 De Graben van Hesse

De Graben van Hesse is het NNO gerichte verlengstuk van de Rijngraben, dat sedert het einde van het Cenozoïcum niet meer actief is.

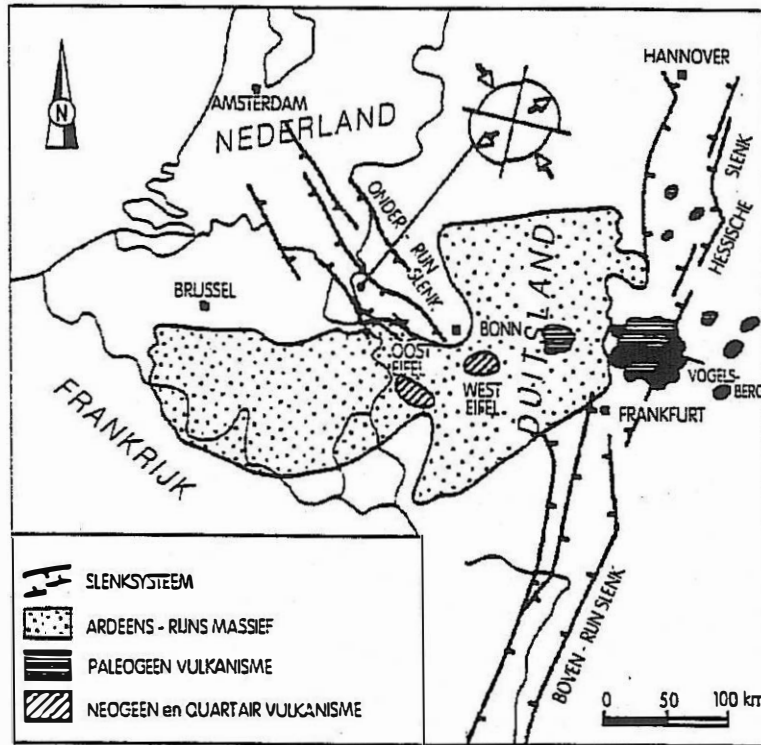
IV.2.6.3 De Graben van Roermond (= de Onder-Rijngraben)

De Graben van Roermond ontstond tijdens het Boven-Krijt door inversie van bestaande normaalbreuken. Deze graben is nog altijd actief, het meest op de binnenrandbreuken (de Peelrandbreuk en de Feldisbreuk). De maximale seismologische intensiteit werd geregistreerd in 1992: de aardbeving van Roermond bereikte een intensiteit van VII op de MSK-schaal.

De tektonische activiteit in het oosten van België blijft slecht gekend (CAMELBEECK, 1989). Uit de gedetailleerde analyse van de vier meest recente aardbevingen kon worden afgeleid dat er breukbewegingen met een maximale SW-NE rekspanning zijn opgetreden.

Het mechanisme van de aardbeving van Malmédy (1985) wijst op een ZW-NO gerichte rekspanning langsheen een breuk met Rijnoriëntatie. Dit element past in de hypothese die zegt dat de grote kwartaire buitenrandbreuken van de Rijngraben tot in de Ardennen kunnen gevolgd worden.

De analyse van de aardbevingen van Bilzen (1985), Gulpen (1988) en Sprimont (1988) geven aanwijzingen over de tektoniek van het grensgebied tussen de Graben van Roermond, het Massief van Brabant en het Rijnlands Leisteenmassief. Het bevingsmechanisme van de laatste twee vermelde bevingen zijn de enige aanwijzingen voor het bestaan van een verkortingszone ten westen van de Onder-Rijngraben.



Figuur IV.2.4. Situering en onderverdeling van de Rijnslenk - situering van vulkanische gebieden in de Eifel (uit WOUTERS & VANDENBERGHE, 1994)

IV.2.7 Seismotektonische eenheden

De geologische en seismotektonische studie van TRACTIONEL (1984) legt een duidelijk verband tussen de historisch waargenomen aardbevingen en de breuklijnenpatronen en/of geologische discontinuïteiten. In en rond België treft men de volgende breuken aan:

- 1) de breuken van het Massief van Brabant;
- 2) de breuken in het Ardennen-Rijnland Massief met het Synclitorium van Namen (dat o.a. het Bekken van Bergen en de streek van Luik omvat), dat in het noorden wordt begrensd door de randbreuk en leunt op het Massief van Brabant en in het zuiden door de naar het noorden overhellende Eifelbreuk;
- 3) de NW-ZO gerichte hoofdbreuken en NO-ZW gerichte toegevoegde breuken in het Bekken van Parijs en de ermee evenwijdig lopende breuken in het Bekken van de Noordzee - Nederland - Noord-Duitsland;
- 4) het breuklijnenpatroon geassocieerd met de Rijngraben; de noordwestelijke arm van de Rijngraben, de Graben van Roermond kan als de meest uitgesproken Cenozoïsche tektonische structuur worden beschouwd; ze is tot 2000 m diepte gevuld met voornamelijk boven-oligoceen tot kwartaire sedimenten (GELUK et al., 1994).

IV.2.8 Vulkanische activiteit

In gans het studiegebied is er geen recente vulkanische activiteit bekend. De meest nabije vulkanische activiteit deed zich voor in de Eifel (Fig. IV.2.4). Hoewel deze als uitgedoofd wordt beschouwd, treedt hier nog steeds diepe magmatische activiteit op. De Graben van Roermond kan beschouwd worden als een potentieel vulkanisch gebied (WOUTERS & VANDENBERGHE, 1994).

IV.3. ONDIEP WATER SEISMISCH ONDERZOEK

In 1989 werd door het RCMG (Universiteit Gent) een verkennend reflectieseismisch onderzoek op Belgische waterlopen uitgevoerd. Het studiegebied omvatte:

- de Schelde van aan de Nederlandse grens tot in Baasrode;
- het Zeekanaal van in Wintham Sluis tot in Brussel;
- de Rupel tot iets voorbij Boom.

Uit de profielen kan men o.a. het volgende afleiden.

- Het seismisch faciës van de Formatie van Kortrijk is in het grootste gedeelte van de studie-sector vrij homogeen en tamelijk transparant. Dit weerspiegelt vooral in het noorden een zeer homogene lithologie. Het bijna reflectievrij seismisch faciës verandert geleidelijk naar het zuiden toe. Steeds meer en duidelijke interne reflectoren tekenen zich af. Dit is vermoedelijk het effect van veranderingen in het lithofaciës, eventueel gebonden aan de aanwezigheid van zandcomponenten in de Formatie van Kortrijk. De bovengrens van de sequentie wordt plaatselijk benadrukt door een lichte erosie of, naar het zuiden toe, door toplap van de zwakke interne reflectoren.

- Iets ten noorden van een opwelling in de Sokkel nabij Hoboken kan men een soort intraformationele ploi, die voornamelijk de eocene sequenties beïnvloedt, waarnemen. De ploi wordt discordant afgedekt door de O1-reflector van de bovenliggende oligocene afzettingsreeks en de amplitude van de ploi vermindert geleidelijk naar onderen toe. Een lichte faciësverandering in de onderliggende paleocene sequentie en de waarneming van een enkele diffractiehyperbool nabij de top van het Krijt, suggereert een door een zwakke, diepe breuk veroorzaakte en in bovenliggende, meer plastische sedimenten versterkte vervorming. De nabijheid van de opwelling in de Sokkel is misschien niet geheel toevallig. Een intraformationele afglijding in de Formatie van Kortrijk, zoals reeds gesuggereerd voor analoge plooiën voor de Belgische Oostkust (HENRIET et al., 1982) zou een andere verklaring kunnen zijn.

DEEL V

VOORSTEL VOOR

TOEKOMSTIG ONDERZOEK

V.1 DOELSTELLINGEN

Men beschikt over slechts weinig gegevens betreffende de Formatie van Kortrijk op grote diepte. Daarom zijn verkenningsboringen noodzakelijk. Deze laten toe om de geologische bouw in detail waar te nemen en om de verschillende lagen te bemonsteren. De granulometrische, de chemische en de mineralogische samenstelling en het gehalte aan organisch materiaal van de monsters moeten in het laboratorium worden onderzocht. Ook de thermische, fysische en grondmechanische eigenschappen van de klei moeten worden bestudeerd. Tomografische bepalingen kunnen informatie verschaffen over de microstructuren van de kleilaag. Om een beter beeld te krijgen van de doorboorde lagen voert men in het onverbuisde boorgat geofysische metingen uit. Door analyse van verschillende boringen kan men de lithologische variatie in de Formatie van Kortrijk bestuderen.

Kennis omtrent het stromingspatroon in de watervoerende lagen boven en onder de Formatie van Kortrijk en omtrent de chemische eigenschappen van het grondwater is eveneens vereist. Het meten van stijghoogten in de verschillende watervoerende lagen geeft een aanwijzing omtrent het stromingspatroon. Grondwaterstalen en -analyses geven informatie omtrent de waterkwaliteit. Isotopenonderzoek zal toelaten het water te dateren en zijn oorsprong en evolutie te bepalen. De doorlatendheid van de Formatie van Kortrijk kan eventueel bepaald worden aan de hand van pompproeven. Pompproeven in zeer slecht-doorlatende lagen behoren echter niet tot het standaardonderzoek en moeten methodologisch op punt worden gezet.

V.2 TERREINVERKENNING

V.2.1 Boringen

V.2.1.1 Uitvoering

Verkenningboringen hebben als eerste doel de ondergrond zo gedetailleerd mogelijk te leren kennen. Spoelboringen hebben het voordeel snel en goedkoop te zijn, maar als nadeel dat de informatie weinig precies is. De bekomen monsters zijn geroerd en weinig representatief. Daarom worden ze meestal aangevuld met geofysische boorgatmetingen die onrechtstreekse informatie over de lithologie en de grondwaterkwaliteit van de aangeboorde lagen verschaffen. Gekernde boringen (gestoken boring of kernboring) verschaffen een gedetailleerd stratigrafisch profiel, met de precieze ligging van de grenzen tussen de formaties. De bekomen monsters laten toe de lithologie van de verschillende formaties in detail te bestuderen.

De Formatie van Kortrijk moet zeker worden gekernd. Om voldoende informatie te bekomen over de boven- en onderliggende lagen wordt voorgesteld om gekernde monsters te nemen vanaf het Lid van Pittem. Omdat de informatie over de lagen onder de Formatie van Kortrijk in de omgeving van de voorgestelde boorplaatsen eerder schaars is, zijn ook hier gestoken monsters aan te raden. Deze gekernde monsters kunnen dan op alle aspecten van detail, met inbegrip van het interstitieel water, worden onderzocht. Een proefboring dient in de Paleozoïsche Sokkel te worden gedreven, ten einde informatie te verkrijgen over de samenstelling.

V.2.1.2 Plaats

a. Gebied Knokke

In het gebied Knokke wordt de Formatie van Kortrijk en meer bepaald het Lid van Saint-Maur gekenmerkt door zijn homogeniteit en zijn hoog kleigehalte.

b. Gebied Sint-Laureins - Assenede

In dit gebied wordt de Formatie van Kortrijk en meer bepaald het Lid van Saint-Maur gekenmerkt door zijn homogeniteit en een hoog kleigehalte. Ook de geometrische kenmerken van het Lid van Saint-Maur voldoen aan de vereiste criteria.

Uit de beschikbare gegevens blijkt dat de homogeniteit en het kleigehalte van de Formatie van Kortrijk stijgen naar het westen van het gebied toe. De dikte van en de diepte tot het homogene Lid van Saint-Maur nemen toe naar het noorden. Daarom lijkt het aangewezen een proefboring in het noordwesten van het gebied uit te voeren (in de streek van Waterland-Oudeman of eventueel Sint-Margriete) uit te voeren.

c. Gebied Sint-Niklaas - Beveren

Uit de studie is gebleken dat de lithologische kenmerken van het gebied Sint-Niklaas - Beveren in de Formatie van Kortrijk gunstiger zijn in het westen. De top van de Formatie van Kortrijk daalt naar het noordoosten toe (van ca. -170 tot ca. -420).

Op grond van voorgaande gegevens lijkt het aangewezen om een verkenningsboring in de zone tussen De Klinge, Meerdonk en het zuidelijk gelegen valleigebied uit te voeren.

In het oosten van het gebied zijn de lithologische eigenschappen van de Formatie van Kortrijk minder gunstig. De beschikbare gegevens (o.a. de boring van Kallo) in het oosten van het gebied Sint-Niklaas - Beveren wijzen op een duidelijke heterogeniteit van het Lid van Moen. Een verkenningsboring, bijvoorbeeld ter hoogte van Doel, zou hierover meer informatie kunnen verschaffen.

V.2.1.3 Te verwachten geologische bouw

Aan de hand van boorbeschrijvingen in de archieven van de BGD, het LTGH en de isohypsenkaarten van deze studie, werden boorprofielen afgeleid. Deze geven enkel een aanwijzing omtrent de te verwachten opeenvolging, diepte en dikte van de verschillende geologische lagen.

a. Omgeving Sint-Margriete - Waterland-Oudeman

Naargelang van de boorplaats verschilt de diepte van de verschillende leden. Daarom werden twee boorprofielen, één ter hoogte van Sint-Margriete (Fig. V.2.1) en één ter hoogte van de Oudemanspolder (Waterland - Oudeman) opgesteld (Fig. V.2.2). In de directe omgeving van deze zone zijn geen diepe boringen beschikbaar. Gedetailleerde boringen werden hier enkel voor de studie van kwartaire sedimenten uitgevoerd.

b. Omgeving De Klinge - Meerdonk

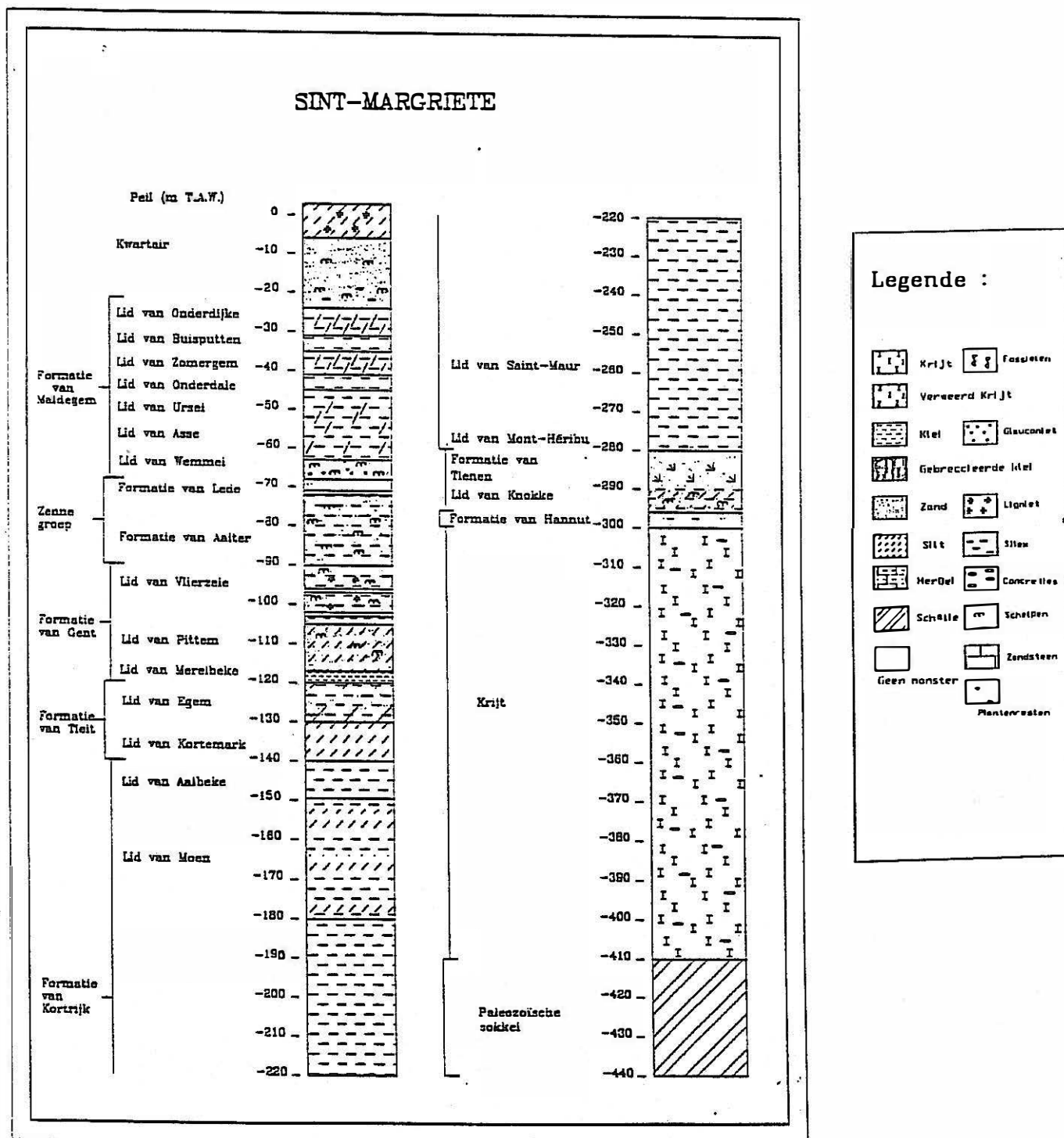
Het te verwachten boorprofiel in de omgeving van De Klinge - Meerdonk wordt voorgesteld op figuur V.2.3. In de omgeving is geen enkele diepe boring beschikbaar. De diepste boring reikt tot 62 m diepte en bereikt de Formatie van Maldegem.

c. Omgeving Doel

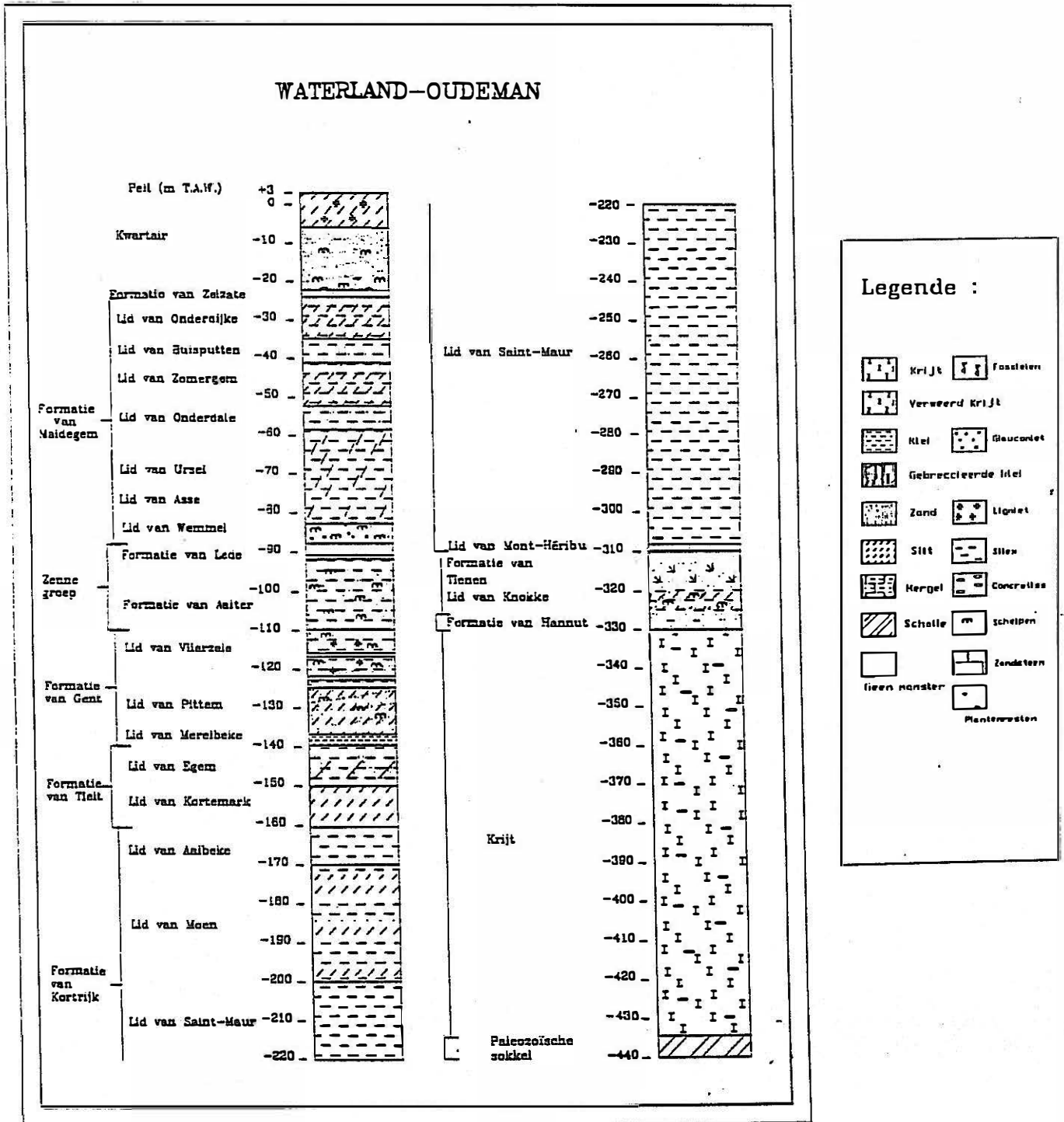
In de omgeving van Doel werden reeds verscheidene boringen uitgevoerd. De meeste reiken echter slechts tot aan de Formatie van Boom; in één boring werd de Formatie van Lede bereikt. Het gaat hier echter meestal om niet gekernde boringen. De nabijgelegen boring van Kallo is een belangrijk aanknopingspunt. Het te verwachten boorprofiel in de omgeving van Doel wordt voorgesteld op figuur V.2.4.

V.2.2 Geofysische boorgatmetingen

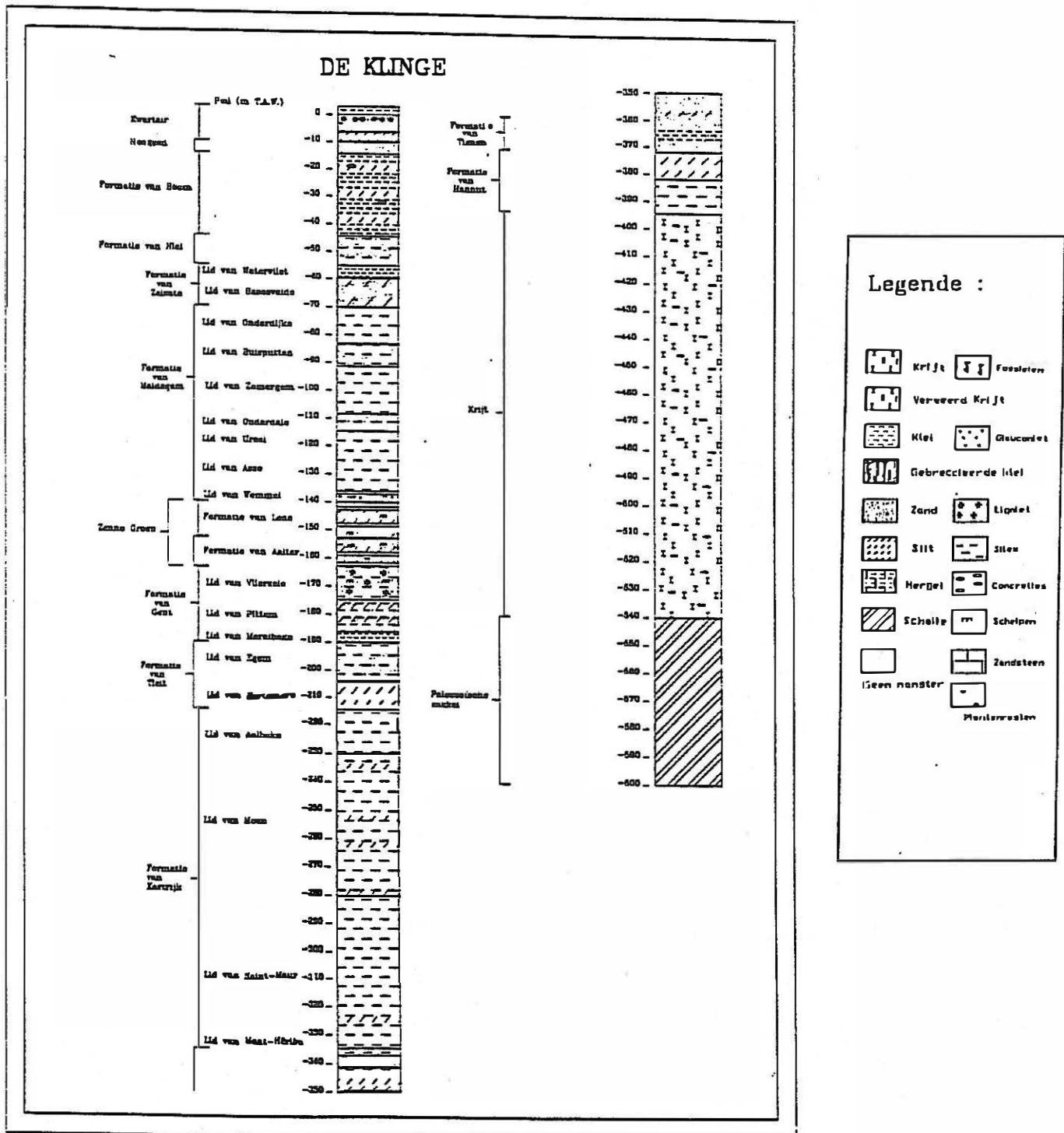
Het is nuttig de proefboring te laten volgen door een uitgebreide reeks boorgatmetingen. Aan de hand van de moderne technieken (boorgatmetingen met een hoge resolutie) kan men ook kleine alternaties in de lithologische kolom waarnemen. De geofysische boorgatmetingen en de boorkernen vullen elkaar aan.



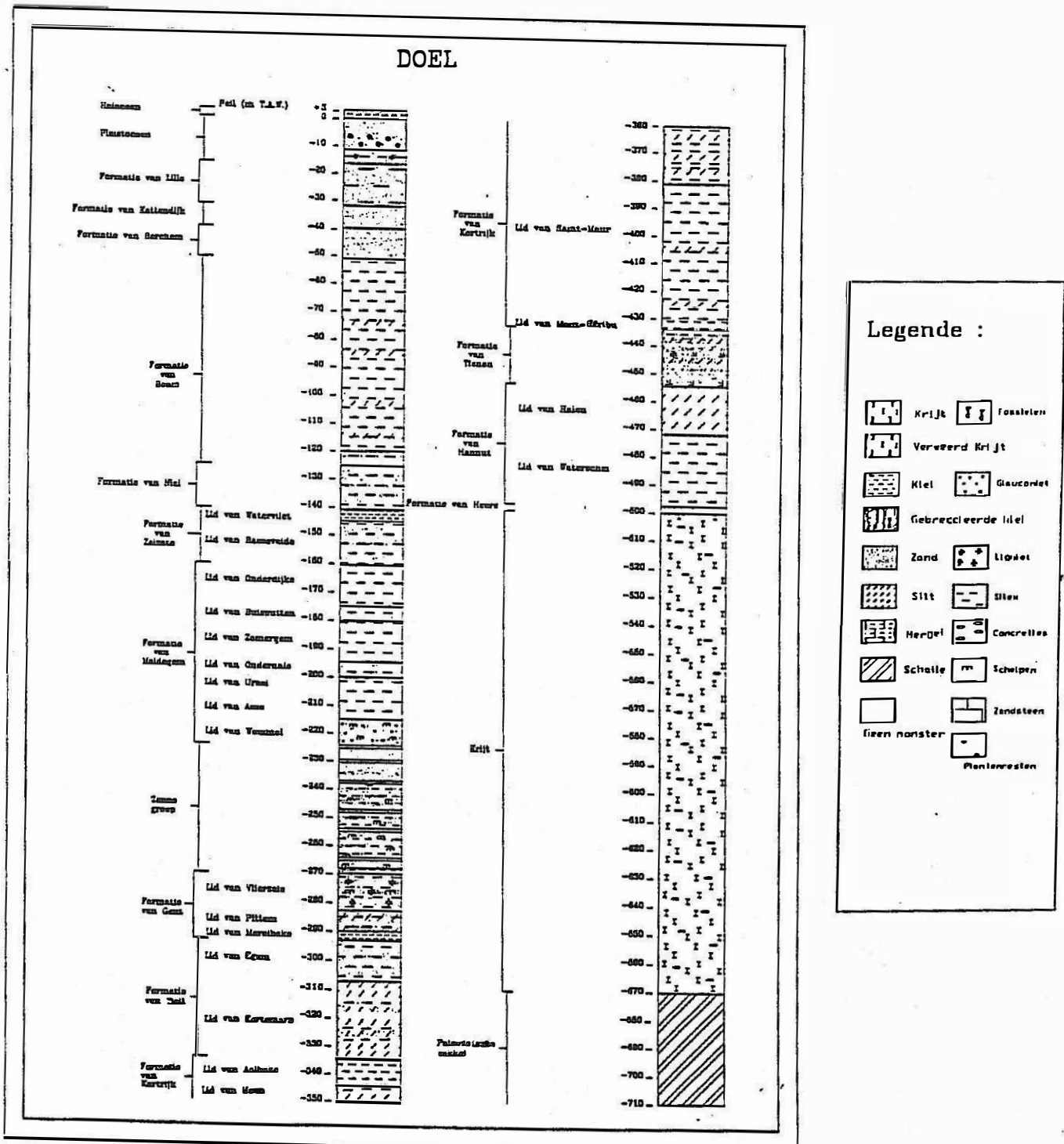
Figuur V.2.1. Afgeleide geologische opbouw ter hoogte van Sint-Margriete (extrapolatie)



Figuur V.2.2. Afgeleide geologische opbouw ter hoogte van Waterland - Oudeman (extrapolatie)



Figuur V.2.3. Afgeleide geologische opbouw ter hoogte van De Klinge - Meerdonk (extrapolatie)



Figuur V.2.4. Afgeleide geologische opbouw ter hoogte van Doel (extrapolatie)

Een boorgatmeting registreert een fysische, een geometrische of een andere eigenschap van de aangeboorde grondlagen in functie van de diepte. De meeste boorgatmetingen worden uitgevoerd in het voltooide boorgat, dat niet voorzien is van buizen maar gevuld is met boorspoeling.

De registratie van de spontane potentiaal, de natuurlijke gammastraling, de resistiviteit (lange normaal, korte normaal en puntweerstand) en de boorgatdiameter zijn de meest aangewende boorgatmetingen. Ook de gamma-gamma meting (densiteitsmeting) en de temperatuur zijn courante metingen. Samen met een resistiviteitsmeting is de natuurlijke gammastraling zeer geschikt voor een lithologische identificatie. Met de gamma-gammadichtheidsmeting kan de dichtheid en de porositeit van de aangeboorde sedimenten geschat worden. Uit de registratie van de snelheid van het geluid (sonic log) en de neutron-log kan men de porositeit berekenen.

V.2.3 Afwerking van de peilputten

De geologische verkenningsboringen dienen te worden uitgebouwd als hydrogeologische waarnemingspunten. Hiertoe moeten ze worden uitgerust met filters en stijgbuizen. Het is aan te raden om op basis van de boorbeschrijvingen en geofysische boorgatmetingen peilputten te plaatsen in elke watervoerende laag (zie boorprofielen). Hierin kan men peilen meten en watermonsters nemen. Hierdoor verkrijgt men informatie over de stijghoogte en over de grondwaterkwaliteit van de watervoerende lagen. Deze peilputten zijn blijvend.

V.2.4 Pompproeven

De doorlatendheid van de Formatie van Kortrijk kan bepaald worden aan de hand van pompproeven. Pompproeven in zeer slecht-doorlatende lagen behoren niet tot het standaardonderzoek en moeten methodologisch op punt worden gezet.

V.3 ANALYSEN

Door granulometrisch onderzoek van systematisch genomen monsters kan men de textuur en textuurvariaties in het lithologisch profiel achterhalen. Deze variaties kunnen worden gekoppeld aan de stratigrafische opeenvolging van de verschillende leden. Uit de granulometrische samenstelling kan de doorlatendheid van een laag worden geschat. Het klei- en siltgehalte moet worden gedoseerd omdat deze in grote mate de doorlatendheid van een afzetting bepalen. De doorlatendheid kan echter beter bepaald worden aan de hand van een pompproef. Tomografische bepalingen kunnen informatie verschaffen over de microstructuren van de kleilaag.

De onderzochte monsters moeten representatief zijn voor de aangeboorde eenheden. Na afzondering van de grintfractie, wordt het zand afgescheiden door natte zieving. De zandfractie wordt dan geschud op een stel genormaliseerde TYLER-zeven, gerangschikt in dalende volgorde. De klasse-intervallen hebben meestal een breedte van 0,25 of 0,5 op de schaal van KRUMBEIN (1934). Bij een voldoende groot gehalte klei en silt wordt deze fractie verder geanalyseerd met de sedimentatiebalans of met de sedigraf.

Men kan de glauconietmineralen uit de zandmonsters afscheiden met een magnetische separator. Het vermogen van het zand om radio-elementen te adsorberen houdt verband met het glauconietgehalte. Dit kan worden vergeleken met de door boorgatmetingen bepaalde natuurlijke gammastraling.

Men kan de chemische samenstelling van de Formatie van Kortrijk over de gehele dikte bepalen. Verschillende technieken voor het bepalen van hoofd-, neven- en sporebestanddelen kunnen worden toegepast (X-stralenfluorescentie, atomaire adsorptie en emissiespectroscopie). Het gehalte aan organisch materiaal is eveneens interessant daar het de eigenschap heeft mobiel uranium te binden (DE PUTTER & CHARLET, 1994).

Mineralogisch onderzoek heeft als doel de juiste samenstelling van de Formatie van Kortrijk en elke eventuele heterogeniteit te bepalen. Verschillende granulometrische klassen kunnen worden onderzocht. Door middel van X-stralendiffractie kan een volledige karakterisering van de kleibestanddelen gebeuren.

Indien de lithologische en geometrische eigenschappen van de kleilaag gunstig zijn, kunnen de thermische, fysische en geotechnische eigenschappen van de klei worden onderzocht.

De kwaliteit van het grondwater in de watervoerende lagen en van het interstitieel water kan worden onderzocht. Door isotopenonderzoek kan men het water dateren en zijn oorsprong en evolutie achterhalen.

DEEL VI

SAMENVATTING EN BESLUIT

Deze studie beoogt de inventarisatie van de gegevens over de Ieper Groep en in het bijzonder van de gegevens over de klei van de Formatie van Kortrijk. Op basis van de sedimentologische en de geometrische eigenschappen van de Formatie van Kortrijk werden gebieden afgebakend die in aanmerking komen voor verder onderzoek. Het betreft de gebieden Knokke, Sint-Laureins - Assenede en Sint-Niklaas - Beveren. Deze gebieden werden meer in detail bestudeerd.

De Formatie van Kortrijk vertoont algemeen een vergroving van faciës naar het oosten toe. Vooral in het oosten van het gebied Sint-Niklaas - Beveren vindt men meerdere siltlagen in het middelste gedeelte van de klei. Bovendien neemt ook de dikte van de Formatie van Kortrijk en vooral van het onderste meest homogene en kleijige gedeelte, het Lid van Saint-Maur, af naar het oosten toe. In het noorden van het gebied Knokke en het gebied Sint-Laureins - Assenede is het homogene Lid van Saint-Maur waarschijnlijk 100 m dik. De top ervan bevindt zich op een diepte van ongeveer 180 m in Knokke en waarschijnlijk dieper dan 200 m in het noorden van het gebied Sint-Laureins - Assenede. De ganse Formatie van Kortrijk is in deze gebieden overal minstens 100 m dik (140 m in het noorden van de gebieden Knokke en Sint-Laureins - Assenede), behalve in een strook langs de lijn Lillo - 's Gravenwezel. In het gebied Sint-Niklaas - Beveren varieert de top van de Formatie van Kortrijk van -170 in het zuidwesten tot -420 in het noordoosten.

De Formatie van Kortrijk wordt gekenmerkt door belangrijke kleitektonische vervormingen. Zowel intraformationele breuken, golvingen als diaklazen komen erin voor. Er bestaan geen gegevens betreffende de invloed van deze vervormingen op de doorlatendheid. Ze werden tot nog toe enkel waargenomen in West-Vlaanderen en in het Noordzeegebied.

Boven en onder de Formatie van Kortrijk komen er watervoerende lagen voor, waarvan het belang voor de grondwaterwinning regionaal gebonden is. Juist onder de klei van de Formatie van Kortrijk komt de watervoerende laag in het zand van de Landen Groep voor. De onderliggende slecht-doorlatende klei van de Landen Groep ontbreekt in de gebieden Knokke en Sint-Laureins - Assenede, waardoor enkel Krijtgesteenten tussen het zand van de Landen Groep en de watervoerende laag in de Sokkel zijn gelegen. In de huidige toestand stroomt het grondwater neerwaarts naar de watervoerende lagen in de Landen Groep en de Sokkel, waarin de huidige horizontale grondwaterstroming naar het zuidwesten is gericht. In het zuiden van België zijn deze lagen belangrijk voor de drinkwatervoorziening. In natuurlijke omstandigheden (zonder waterwinningen) zou het grondwater in de gebieden Knokke, Sint-Laureins - Assenede en Sint-Niklaas - Beveren voornamelijk opwaarts stromen, waardoor het grondwater uit de Formatie van Kortrijk in de bovenliggende watervoerende lagen terecht zou komen. De tussenliggende kleilagen zouden dit proces vertragen. Boven de Formatie van Kortrijk komt de Formatie van Tielt voor. Het bovenste Lid van Egem is van lokaal belang voor de watervoorziening. De Leden van Pittem en van Merelbeke scheiden het Lid van Egem van de bovenliggende watervoerende laag in het Lid van Vlierzele, de Zenne Groep en het Lid van Wemmel. De natuurlijke horizontale grondwaterstroming in beide watervoerende lagen zou naar het noordwesten gericht zijn. De watervoerende laag in het Lid van Vlierzele, de Zenne Groep en het Lid van Wemmel is vooral in het noorden van West- en Oost-Vlaanderen belangrijk voor de watervoorziening. In het noordwesten van België is het grondwaterreservoir op geringe diepte verzilt.

Noordwest-België kan beschouwd worden als een tektonisch relatief stabiel gebied. De dichtsbijgelegen seismologisch actieve gebieden zijn het Massief van Brabant, Noord-Frankrijk, de

streek van Luik, het Bekken van Bergen, het Nauw van Calais en de Graben van Roermond. Het Massief van Brabant is de belangrijkste tektonische eenheid in de buurt van het studiegebied.

Rekening houdend met de lithologische en de geometrische kenmerken van de Formatie van Kortrijk is het wenselijk verkenningsboringen te verrichten ter hoogte van de afgebakende gebieden. Voorgesteld wordt om de Formatie van Kortrijk, maar beter ook de boven- en onderliggende lagen te kernen. Deze monsters moeten verder in het laboratorium worden onderzocht. Voorgesteld wordt om geofysische boorgatmetingen, liefst met de bestaande hoge-resolutietoestellen, uit te voeren. Men moet de boorgaten met peilbuizen uitrusten voor stijghoogtemetingen en het nemen van watermonsters (grondwaterkwaliteit). Een pompproef in de Formatie van Kortrijk behoort tot de mogelijkheden maar is echter geen standaardonderzoek.

Uit de resultaten van deze studie blijkt dat de Formatie van Kortrijk voor verder onderzoek weerhouden kan worden.

REFERENTIES

ALEXANDRE, P. (1989). *La sismicité historique du Hainaut, de la Flandre en de l'Artois*. Ann. Soc. Géol. Belg. 112, 329-343.

BEEUWSAERT, E. & DE BREUCK, W. (1992). *Boorgatmetingen te Oostduinkerke - Gent* : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG). TGO 92/56.

BELGISCH GEOLOGISCHE DIENST. Archieven - Brussel.

BESTUUR NATUURLIJKE RIJKDOMMEN EN ENERGIE (1993). *Inventaris van de provincie West-Vlaanderen*- Brussel: Ministerie van de Vlaamse gemeenschap.

BOLLE, I., VAN CAMP, M., DE CEUKELAIRE M., LEBBE, L. & DE BREUCK, W. (1990). *Hydrogeologisch onderzoek van de industriële stortplaats Fabelta en omgeving te Zwijnaarde (partim karakterisatie)*- Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 86/73 (1), 40 p.

BOLLE, I., VAN BURM, P. & DE BREUCK, W. (1989). *Hydrogeologisch onderzoek in de Melsele polder (Beveren - Zwijndrecht)* - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 88/12, 44 p.

BOLLE, I., LEBBE, L., VAN CAMP, M., DE CEUCKELAIRE, M. & DE BREUCK, W. (1991). *Hydrogeologische studie van de klasse II stortplaats van de Intercommunale DDS te Dendermonde* - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG). TGO 91/21.

BOLLE, I. & DE BREUCK, W. (1993). *Inventarisatie van de watervoerende systemen in de provincies Oost- en West-Vlaanderen, Antwerpen en West-Limburg. Voorstelling en interpretatie van gegevens met betrekking tot het grondwaterbeleid* - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 93/05, 162 p.

BOUGHRIBA, M. (1992). *La salinisation du système aquifère oligo-pleistocène dans la région de Boekhoute et d' Assenede (Belgique)*, 248 p. - Gent : RUG (doctoraatsthesis).

BRONDERS, J. & DE SMEDT, F. (1991). Geostatistische analyse van de hydraulische geleidbaarheid van watervoerende lagen in Midden-België. *Water* 59, 127-132.

BRYSSSE, Y. (1984). *Chemisch-granulometrische evaluatie van de Klei van Ieper ten zuiden van Kortrijk als grondstof voor de grofkeramische industrie*, 60 p. - Gent : RUG (licentiaats-thesis).

CAMELBEECK, T. (1989). L' activité seismique actuelle (1985-1988) en Belgique. Comparaison avec les données de sismicité historique et instrumentale. Analyse seismotectonique. *Ann. Soc. Géol. Belg.* 112, 347-365.

CAMERMAN, C. (1939). Données sur la constitution chimique des argiles belges. *Bull. Soc. belge Géol.* 49, 104-108.

CARTWRIGHT, J.A. (1994a). Episodic basin-wide fluid expulsion from geopressed shale sequences in the North Sea basin. *Geology* 22, 447-450.

CARTWRIGHT, J.A. (1994b). Episodic basin-wide hydrofracturing of overpressured Early Cenozoic mudrock sequences in the North Sea Basin. *Mar. Petrol. Geol.* preprint.

CEC (1979). *European catalogue of geological formations having favourable characteristics for the disposal of solidified high-level and/or long-lived radioactive wastes*. Vol. 2: Belgium.

CNUUDE, J.P. & DE BREUCK, W. (1986). *Studie over een grondwaterwinning voor de Home Boudewijn* - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG). TGO 86/16.

CNUUDE, J.P., DE SMET, D. & DE BREUCK, W. (1990). *Hydrogeologisch en technisch verslag betreffende het gebruik van de Sokkelput 227S1478 ten behoeve van de firma INEX te Bavegem (Sint-Lievens-Houtem)* - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG). TGO 89/41a.

DE BATIST, M. (1989). *Seismostratigrafie en structuur van het Paleogeen in de zuidelijke Noordzee*, 107 p. - Gent : RUG (doctoraatsthesis).

DE BREUCK, W., DE MOOR, G., MARÉCHAL, R. EN TAVERNIER, R. (1974). *Diepte van het grensvlak tussen zoet en zout water in de freatische laag van het Belgisch kustgebied (1963-1973)* - Gent : SWIM4.

DE BREUCK, W., FOBE, B., LEBBE, L., STEURBAUT, E., VAN DYCK, E. EN WALRAEVENS, K. (1989). *De boringen van Ursel en Maldegem (kaartblad Knesselare 39W nrs. 212 en 213). Bijdrage tot de kennis van het Eoceen in Noordwest-België*, 98 p. Prof. Pap. 236 - Brussel: Geologische Dienst België.

DE BREUCK, W., VAN BURM, P., STEYAERT, M. & VAN CAMP, M. (1988). *Hydrogeologische studie van de Sokkel en het Landeniaan onder het oostelijk gedeelte van Oost-Vlaanderen en het westelijk gedeelte van Vlaams-Brabant* - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), 34 p. (eindverslag).

DE BREUCK, W., VAN BURM, P. & VAN CAMP, M. (1983). *Hydrogeologische studie van de Gentse Kanaalzone* - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), 243 p.

DE BREUCK, W., VAN DYCK, E. & STEYAERT, M. (1987). *Kwetsbaarheidskaart van het grondwater in Oost-Vlaanderen* - Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 31 p.

DE BREUCK, W., WALRAEVENS, K., VAN BURM, P., DE CEUKELAIRE, M. & STEYAERT M. (1990). *Kaart van de grondwaterkwaliteit in de Provincie West-Vlaanderen. Watervoerende lagen van het Landeniaan, van het Ledo-Paniseliaan en van het Kwartair*, 34 p. - Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.

DE CEUCKELAIRE, M., WALRAEVENS, K. & VAN BURM, P. (1992). *Evolutie van de stijghoogten in het Landenaan en de Sokkel vanaf de eeuwwisseling tot 1986 (West-Vlaanderen en aangrenzend deel Oost-Vlaanderen)*. Prof. Paper 257 - Brussel: Geologische Dienst van België.

DE CONINCK, J. (1988). Ypresian organic-walled phytoplankton in the Belgian Basin and adjacent areas. *Bull. Belg. Veren. Geol.*, **97**, 287-319.

DE CONINCK, J. (1990). Signification stratigraphique du phytoplancton fossile à paroi organique dans quelques échantillons du sondage du Mont-Panisel. *Bull. Belg. Veren. Geol.* **99**, 311-314.

DE CONINCK, J. (1993). Diachronism of the *Deflandrea Oebisfeldensis* acme towards the southern margin of the Belgian Basin. *Bull. Belg. Veren. Geol.*, **102** 105-115.

DE CORTE, B. (1994). *Lithostratigrafie en geofysische karakterisatie van de Formatie van Tielt in Oost- en West-Vlaanderen*, 104 p. Gent : RUG (licentiaatsthesis).

DE GEYTER, G. (1980). *Bijdrage tot de kennis van de sedimentpetrologie en de lithostratigrafie van de Formatie van Landen in België*. 204 p. Gent : RUG (doctoraatsthesis).

DE GEYTER, G. (1987). "The Landen Formation". *Bull. Belg. Veren. Geol.* **96**, 353-356

DE MOOR, G. EN GEETS, S. (1976). Sedimentologie en lithostratigrafie van de eocene afzettingen in het zuidoostelijk gedeelte van de Gentse agglomeratie. *Natuurwet. Tijdschr.* **55**, 129-192.

DE MOOR, G. & JACOBS, P. (1974). *Coupe doorheen het Massief van Brabant, het Bekken van Namen, het Secundair Bekken, het Bekken van Parijs en het Massief van Baugnies* - Gent : RUG (Ongepubliceerd).

DEPRET, M. (1983). *Studie van de lithostratigrafie van het Kwartair en van het tertiaire substraat te Zeebrugge onder meer met diepsonderingen*. 235 p. Prof. Pap. 201 - Brussel: Belg. Geol. Dienst.

DE PUTTER, T. & CHARLET, J.-M. (1994). *Natuurlijke analogieën in klei - een bibliografische synthese*, 183 p. - Brussel: NIRAS.

DERYCKE, F., LAGA, P. & NEYBERGH H. (1982). *Bilan des ressources en eau souterraine de la Belgique*, 260 p. - Hannover: Commission des Communautés Européennes.

DE SMET, D., MAHAUDEN, M., LEBBE, L. & DE BREUCK, W. (1994). *Hydrogeologische studie van de bedrijfsterreinen van BASF Antwerpen NV*, 99 p. - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 90/11.

DE SMET, D., VAN CAMP, M., LEBBE, L. & DE BREUCK, W. (1993). *Studie van de invloed van de tunnel voor de HSL op het grondwater te Bierbeek*, 114 p. - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 92/55.

DE VOS, W., VERNIERS, J. HERBOSCH, A. & VANGUESTAINE, M. (1993). A new geological map of the Brabant Massif, Belgium. *Geol. Mag.* **130**, 605-611.

DISTRIGAZ. Interne documenten. Boorgatmetingen Oostmalle, Rijkevorsel, Sint-Lenaarts en Wuustwezel.

DUPUYDT, F. (1978). *Oro-hydrografie*. In : *Nationale Atlas van België* - Brussel: Nationaal Geografisch Instituut.

FOBE, B. (1988). Limestones and sandstones of the Ieper Formation - their nature and stratigraphic significance. *Bull. Belg. Veren. Geol.* **97**, 473-479.

GAUS, I. (1994). *Koppeling van geofysische boorgatparameters aan de interpretatie van een dubbele pompproef uitgevoerd te Ronse*, 123 p. - Gent : RUG (licentiaatsthesis).

GEETS, S. (1969). *Bijdrage tot de sedimentologische kennis van het Paniseliaan* - Gent; RUG (doctoraatsthesis).

GEETS, S. (1988). The evolution of the grain-size distribution in the sediments of the Ieper Formation in Belgium. *Bull. Belg. Veren. Geol.* **97**, 451-456.

GEETS, S. (1990). Sedimentological investigation of the Mont-Panisel boring. *Bull. Belg. Veren. Geol.* **99**, 315-323.

GEETS, S. (1993). The "abnormal" heavy-mineral distribution at the base of the Kortrijk Formation (Ieper Group). *Bull. Belg. Veren. Geol.* **102** (1-2), 165-173.

GEETS, S. & DEBREUCK, W. (1982). De zware-mineraleninhoud van Belgische mesozoïsche en cenozoïsche afzettingen. D. Onder-Eoceen. *Natuurwet. Tijdschr.* **64**, 3-25.

GELUK, M.C., DUIN, E.J.TH., DUSAR, M., RIJKERS, R.H.B., VAN DE BERG, M.W. (1994). Stratigraphy and tectonics of the Roer Valley Graben. *Geol. Mijnb.* **73**, 129-141.

GULINCK, M. (1967). Profils de l' Ypresien dans quelques sondages profonds de la Belgique. *Bull. Soc. belge Géol., Paléont. Hydrol.* **76**, 108-113.

GULINCK, M. (1969). Coupe résumée des terrains traversés au sondage de Kallo et profil géologique NS passant par Woensdrecht-Kallo-Halle. In : Le sondage de Kallo (au Nord-Ouest d'Anvers). *Toelicht. Verhand. Geol. Krt. Mijnkrt. Belg.* **11**, 3-7.

HELDENS, P. (1983). *Een seismische studie van de Klei van Boom en de Klei van Ieper*, 237 p. - Gent : RUG (doctoraatsthesis).

HENRIET, J.P., DE BATIST, M., VAN VAERENBERGH, W. & VERSCHUREN, M. (1988). Seismic facies and clay tectonic features of the Ypresian Clay in the Southern North Sea. *Bull. Belg. Veren. Geol.* **97**, 457-472.

- HENRIET, J.P., DE BATIST, M. & VERSCHUREN, M. (1991). Early fracturing of Paleogene clays, southernmost North Sea: relevance to mechanisms of primary hydrocarbon migration. In : *Generation, accumulation and production of Europe's hydrocarbons* (ed. A.M. Spencer) - Oxford: Special Publication of the European Association of Petroleum Geoscientists 1, 217-227. Oxford University Press.
- HENRIET, J.P., D'OLIER, B., AUFFRET, J.P., & ANDERSEN, H.L. (1982). Seismic tracking of geological hazards related to clay tectonics in the Southern Bight of the North Sea. Roy. Soc. Flem. Eng. (K.VIV), Symposium Engineering in Marine Environment - Brugge: 1.5 - 1.15.
- JACOBS, P., DE CEUCKELAIRE, M., DE BREUCK, W. & DE MOOR, G. (1993). *Geologische kaart van België - Vlaams Gewest - Toelichtingen en databank - Kaartblad 14, Lokeren* - Brussel: Belg. Geol. Dienst en Bestuur Natuurlijke Rijkdommen en Energie.
- JACOBS, P., MARÉCHAL, M. DE CEUCKELAIRE, M., SEVENS, E., DE BREUCK, W. & DE MOOR, G. (1993). *Geologische kaart van België - Vlaams Gewest - Toelichtingen en databank - Kaartblad 13, Brugge* - Brussel: Belg. Geol. Dienst en Bestuur Natuurlijke Rijkdommen en Energie.
- JACOBS, P., DE CEUCKELAIRE, M., DE BREUCK, W. & DE MOOR, G. (1995). *Geologische kaart van België - Vlaams Gewest - Toelichtingen en databank - Kaartblad 22, Gent* - Brussel: Belg. Geol. Dienst en Bestuur Natuurlijke Rijkdommen en Energie.
- JACOBS, P., DE CEUCKELAIRE, M., DE BREUCK, W. & DE MOOR, G. (1995). *Geologische kaart van België - Vlaams Gewest - Toelichtingen en databank - Kaartblad 21, Tielt* - Brussel, Belg. Geol. Dienst en Bestuur Natuurlijke Rijkdommen en Energie.
- KAASSCHIETER, J.P. (1961). Foraminefera of the Eocene of Belgium. *Verhandelingen van het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen* 147, 1-271.
- KING, C. (1988). Stratigraphy of the Ieper Formation and Argile de Flandres (Early Eocene) in Western Belgium and Northern France. *Bull. Belg. Veren. Geol.* 97, 349-372.
- KRUMBEIN, W.C. (1934). Size frequency distribution of sediments. *J. Sed. Petrol.* 4, 65-77.
- LAGA, P. (1966). Kleidiapir in de uitgraving voor de spoorwegtunnel van de E3-weg op de rechteroever te Antwerpen. *Ingenieursbl.* 35, 552-553.
- LAGA, P. & VANDENBERGHE, N. (1990). The Knokke Well (11E 138) with a description of the De Haan (22W 276) and Oostduinkerke (35E -142) wells. *Toelichtende Verhandelingen bij de Geologische en Mijnskaarten van België* 29, 118 p.
- LALIEUX, PH. (1994). *Potentialité des argiles de l' Yprésien en matière d' évacuation profonde. Cadre géologique et plan de travail*, 14 p. - Brussel: NIRAS/ONDRAF.
- LEBBE, L. (1974). *Hydrogeologie van de stad Sint-Niklaas en omgeving* (intern rapport), 46 p. - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG).

LEBBE (1975). *Hydrogeologie van de stad Sint-Niklaas en omgeving (fase 2)* (intern rapport) - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG).

LEBBE, L., VAN CAMP, M., DE CEUCKELAIRE, M., VAN BURM, P., & DE BREUCK, W. (1987). *Hydrogeologisch mathematisch model van de grondwaterstromingen in de gedeeltelijk afgesloten watervoerende lagen onder West-, Oost-, Zeeuws- en Frans-Vlaanderen* - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 86/53.

LEBBE, L., VAN CAMP, M., VAN BURM, PH., DE CEUCKELAIRE, M., WATTIEZ R. & DE BREUCK, W. (1988). Het grondwater in de paleozoïsche sokkel en in het Landeniaan in West- en Oost-Vlaanderen. *Water* 41, 104-108.

LEBBE, L., MAHAUDEN, M. & DE BREUCK, W. (1989). *Resultaten van de boorgatmetingen en de pompproef bij "Blistrapack" te Wetteren* - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 89/09.

LEBBE, L., MAHAUDEN, M. & DE BREUCK, W. (1989). *Pompproeven en waterstaalnamen in gespleten vaste gesteenten (Oost- en West-Vlaanderen). Resultaten van de pomp- en stijgproef bij het Klooster van de Zusters Benedictinessen te Poperinge*, 39 p. - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 89/53.

LEBBE, L., MAHAUDEN, M. & DE BREUCK, W. (1990). *De pompproefresultaten en berekening van de winbare grondwaterhoeveelheden in de watervoerende lagen van Landeniaan en Sokkel, te Hoegaarden*, 58 p. - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 90/34.

LEBBE, L. MAHAUDEN, M. & DE BREUCK, W. (1992). Execution of a triple pumping test and interpretation by an inverse numerical model. *Appl. Hydrogeol.* 4, 20-34.

LEBBE, L., MAHAUDEN, M. & DE BREUCK, W. (1992). *Hydrogeologische studie van de freatische watervoerende laag op het bedrijfsterrein van de firma I.T.C. te Tielt*, 35 p. - Gent: Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 91/45.

LEBBE, L., VAN CAMP, M., DE CEUCKELAIRE, M. VAN BURM, P. & DE BREUCK, W. (1987). *Hydrogeologisch mathematisch model van de grondwaterstroming in de gedeeltelijk afgesloten watervoerende lagen onder West-, Oost-, Zeeuws- en Frans-Vlaanderen* - Gent: Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 86/53.

LEBBE, L., VAN CAMP, M., VAN BURM, PH., DE CEUCKELAIRE, M., WATTIEZ R. & DE BREUCK, W. (1988). Het grondwater in de paleozoïsche sokkel en in het Landeniaan in West- en Oost-Vlaanderen. *Water* 41, 104-108.

LEBBE, L., VAN HOUTTE, E. & DE BREUCK, W. (1993). *Interpretatie van de pompproef in het Landeniaan en berekening van de waterwinningscapaciteit in het waterwinningsgebied van de IWVA te Oostduinkerke* 43 p. - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 93/04.

LEGRAND, R. (1968). *Le Massif du Brabant*, 148 p. - Brussel: Mémoire, Serv. Géol. Belg. 9.

- LINSTER, J.M. (1975). *Bijdrage tot de kennis van het zogenaamde Paniseliaan op het kaartblad Moeskroen-Zwevegem*, 60 p. - Gent : RUG (licentiaatsthesis).
- LOUWYE, S. (1993). Dinoflagellate cyst stratigraphy of the upper cretaceous of western Belgium. *Bull. Belg. Veren. Geol.* **101**, 255-275.
- LOY, W. & DE SMEDT, P. (1978). Permeabiliteit van enkele formaties in België. *Bull. Belg. Veren. Geol.* **87**, 253-260.
- MAHAUDEN, M., BEEUWSAERT, E. & DE BREUCK, W. (1989). *Resultaten van de boorgatmetingen te Sijsele, Ieper, Berlare, Dendermonde, Oostkamp, Nevele en Zwevegem* - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 88/49.
- MAHAUDEN, M., BEEUWSAERT, E. & DE BREUCK, W. (1990). *Boorgatmetingen te Gent, Kluzen, Aalter, Lochristi, Olsene, Eke, Zichem, Aarschot, Vlierzele, Iddergem, Oosterzele, Wieze, Dendermonde, Zottegem en Wortegem* - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 89/10.
- MAHAUDEN, M. & DE BREUCK, W. (1987). *Grondwatervoorziening Proefhoeve te Melle (Rijksuniversiteit Gent)* - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 87/06.
- MAHAUDEN, M. & DE BREUCK, W. (1990). *Hydrogeologische studie van de bedrijfsterreinen van de NV BASF Antwerpen - Inventarisatie* - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 90/11.
- MAHAUDEN, M., VAN BURM, P. & DE BREUCK, W. (1990). *Verslag van de booractiviteiten aan de RUG-gebouwen te Merelbeke (veeartsenij)* - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 89/61.
- MAHAUDEN, M., VAN CAMP, M. & DE BREUCK, W. (1989). *Hydrogeologische studie voor de geplande uitbreiding van de drinkwaterwinning van de PIDPA te Brecht*, 37 p. - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 89/08.
- MARÉCHAL, R. & LAGA, P. (1988). *Voorstel lithostratigrafische indeling van het Paleogeen*, 208 p - Nationale commissies voor stratigrafie. Commissie Tertiair.
- MARTENS, K., WALRAEVENS, L. EN DE BREUCK, W. (1995). *Ecosysteemvisie voor de Vlaamse Kust - deelstudie: hydrogeologie*, 110 p. - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 94/42.
- MERCIER-CASTIAUX, M. & DUPUIS, C. (1988). Clay mineral association in the Ypresian formations in the NW European Basin - time and geographical variations - interpretations. *Bull. Belg. Veren. Geol.* **97**, 441-450.
- MOSTAERT, F. (1988). *De leem- en kleibevoorrading in West- en Oost- Vlaanderen met betrekking tot de huidige gewestplannen*, 92 p - Brussel: Administratie Economie en Werkgelegenheid, Dienst Natuurlijke Rijkdommen en Energie, 92 p.

- NATIONALE INSTELLING VOOR RADIOACTIEF AFVAL EN SPLIJTSTOFFEN (NIRAS/ ONDRAF).
Interne documenten.
- NATIONALE INSTELLING VOOR RADIOACTIEF AFVAL EN SPLIJTSTOFFEN (NIRAS/ ONDRAF) -
DEPARTEMENT STUDIES EN PROJECTEN, EENHEID BERGING (1989). *Safety Assessment and
Feasibility Interim Report* - Brussel: NIRAS/ONDRAF.
- PAEPE, R. EN VANHOORNE, R. (1967). The stratigraphy and palaeobotany of the Late
Pleistocene in Belgium, 96 p. *Toel. Verh. Geol. Kaart en Mijnkaart van België* 8.
- PATIJN, J. (1982). *Etude géologique et hydrogéologique des Sables de Berg (Belgique) -
Application du Modèle NEWSAM*, 79 + 10 p - Mol: Studiecentrum voor Kernenergie (SCK).
- PATIJN, J. (1985). *Contibution à la recherche hydrogéologique liée tot l' évacuation de
déchets radioactifs dans une formation argileuse*. Thèse de Doctorat, Ecole Nat. Sup. des
Mines de Paris (1985) - Overgenomen in SCK/CEN - Semestriële rapport nr. 20 (2de sem.,
1985) - Mol: Studiecentrum voor Kernenergie.
- RENARD CENTRE OF MARINE GEOLOGY (1989). *Eindverslag van het "Ondiepwater seis-misch
onderzoek"* - Gent : RUG - Brussel: Ministerie van Economische zaken, Administratie van het
mijnwezen en Belg. Geol. Dienst.
- ROCHE, E. (1990). Sporopollinic biostratigraphy and Ypresian paleoenvironment. *Bull. Belg.
Veren. Geol.* 97, 373-383.
- SCHLUMBERGER (1986). *Advanced interpretation of wireline logs*, 295 p.
- SCHLUMBERGER (1991). *Wireline Services Catalog*.
- STUDIECENTRUM VOOR KERNENERGIE (1993). *Boorgatmeting mol-dessel: Dessel-1*.
- SCKS, TIJDELIJKE VERENIGING STORMVLOEDKERING SCHELDEBEKKEN (1980). *Gegevens uit
de deelrapporten 5, 8, 9 en 1 "Geologie-Geotechniek"*.
- SECRETARIAT D'ETAT A L'ENERGIE (1990). *Commission d'Evaluation SAFIR*.
- STEURBAUT, E. (1987). The Ypresian in the Belgian Basin. *Bull. Belg. Veren. Geol.* 96, 339-
351.
- STEURBAUT, E. (1988). Ypresian calcareous nannoplankton biostratigraphy and paleogeog-
raphy of the Belgian Basin. *Bull. Belg. Veren. Geol.* 97, 251-285.
- STEURBAUT, E. & KING, C. (1993). Integrated stratigraphy of the Mont-Panisel borehole
section (151E340), Ypresian (Early Eocene) of the Mons Basin, SW Belgium. *Bull. Belg.
Veren. Geol.* 102, 175-202.
- STEURBAUT, E. & NOLF, D. (1986). Revision of Ypresian stratigraphy of Belgium and
northwestern France. *Meded. Werkgr. Tert. Geol.* 23, 115-172.

STEURBAUT, E. & NOLF, D. (1988). Ypresian teleost otoliths from Belgium and Northwestern France. *Bull. Belg. Veren. Geol.* **97**, 321-347.

STUYFZAND, P. (1986). *A new hydrochemical classification of watertypes: Principles and application to the coastal dunes aquifer system of the Netherlands* - Delft: Salt Water Intrusion Meeting, 12-16 May 1986.

TAVERNIER, R. EN DE MOOR, G. (1974). L' évolution du Bassin de l' Escaut. In : P. Macar: *L' évolution Quaternaire des bassins fluviaux de la Mer du Nord Méridionale* - Liège: Soc. Géol. Belg, 159-231.

TESCH, P. (1912). De diepboring te Woensdrecht. *Jaarverslag der Rijksopsporing voor Delfstoffen*, 11-22.

TISON, G. (1954). Les ressources aquifères de la Belgique, *A.I.H.S.* **37**, 455-459.

TRACTEBEL (1980). *C.N. Doel III. Synthèse Geotechnique*, 46 p. - Brussel: TRACTIONEL.

TRACTIONEL (1984). *Studie van de geologie en de seismische parameters voor de bouwplaats Doel - Kerncentrale Doel*. Tienjaarlijkse revisie - Brussel: TRACTIONEL, 89 p.

VAN BURM, P., BOLLE, I. & DE BREUCK, W. (1989). *Grondmechanische kaart 22.2.5 - Gent-Gentbrugge* - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 87/95.

VAN BURM, P. & VAN CAMP, M. (1983). *Hydrogeologische studie van de Gentse Kanaalzone*, 243 p. - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 81/07.

VAN CAMP, M. & DE BREUCK, W. (1992). *Studie van de grondwaterstanden in het Nederlands - Belgisch grensgebied van de Kalmthoutse Heide*, 43 p. - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 91/47.

VANDENBERGHE, N. (1978). Sedimentology of the Boom Clay (Rupelian) in Belgium. *Verh. Kon. Ac. Wet., Let. Sch. Kunst. Belg.* **147**. (jaargang XL).

VANDENBERGHE, N., DUSAR, M., LAGA, P. & BOUCKAERT, J. (1988). The Meer Well in North Belgium. *Toel. Verh. Geol. Kaart en Mijnkaart van België* **25**, 1-23.

VANDENBERGHE, N., LAGA, P., STEURBAUT, E., HARDENBOL, J. & VAIL, P. (in press). Tertiary Sequence Stratigraphy at the southern border of the North Sea Basin in Belgium, in DE GRACIANSKY, P.C., HARDENBOL, J., JACQUIN, T., VAIL, P.R. and FARLEY, M.B., Mesozoic-Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins, *SEPM Special Publication*.

VANDENBERGHE, N., LAGA, P., VANDORMAEL, C. & ELEWAUT, E. (1988). The geophysical log correlations in the Ieper Clay sections in Belgium. *Bull. Belg. Ver. Geol.* **97**, 437-440.

- VAN DIJCK, E., LEBBE, L. & DE BREUCK, W. (1981). *Hydrogeologische, bodemkundige en ecologische studie van de "Kalmthoutse Heide" en de omliggende landbouwgronden. Hydrogeologische studie*, 94 p. - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 79/05.
- VAN DIJCK, E., LEBBE, L. & WALRAEVENS, K. (1984). *Hydrogeologische studie van de Ledo-Paniseliaanlaag onder het Drongengoed te Ursel (Knesselare)*, 147 p. - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 81/09.
- VAN DIJCK, E., VAN CAMP, M. & DE BREUCK, W. (1985). *Hydrogeologische kaartenatlas Kalmthout - Essen (kaartbladen N.G.I. nrs. 1/7, 1/8, 7/3 en 7/4)*, 103 p. - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 81/08a.
- VANHOVE, H. & DE CONINCK, J. (1990). Microfossils a paroi organique de l' Ypresien a Steenhuize-Wijnhuize et Ronse-Waaienbergh. *Bull. Belg. Ver. Geol.* **99**, 355-360.
- VAN VAERENBERH, W. (1987). *Structuurgeologische studie van de Ieperse klei*, 136 p. - Gent: RUG (licentiaatsthesis).
- VERMOORTEL, Y. & DE BREUCK, W. (1994). *Grondwateronderzoek Diepe Zandlagen, Fase 1*, 98 p. - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 93/45.
- VERMOORTEL, Y., MAHAUDEN, M., BOLLE, I. EN DE BREUCK, W. (1992). *Inventarisatie van de grondwatervoorraden ter hoogte van de geplande centrale te Zeebrugge*, 47 p. - Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 91/46.
- VERSCHUREN, M. (1992). *Een integrale 3D benadering van kleitektonische vervormingen en de ontwikkeling van een nieuwe 3D oppervlaktmodelleringsmethode*, 359 p. Gent : RUG (doctoraatsthesis).
- WALRAEVENS, K. (1987). *Hydrogeologie en hydrochemie van het Ledo-Paniseliaan in Oost- en West-Vlaanderen*, 350 p. - Gent : RUG (doctoraatsthesis).
- WALRAEVENS, K., LEBBE, L. & DE BREUCK, W. (1990). Q3D-mathematical modeling of the groundwaterflow in and around the dune area of De Haan. In : *Proc. 11th Salt Water Intrusion Meeting* (ed. by B. Kozerski en A. Sadurski), 110-127 - Gdansk: Technical University of Gdansk.
- WALRAEVENS, K., VAN BURM, P., VAN CAMP, M., LEBBE, L., DE CEUCKELAIRE, M. EN DE BREUCK, W. (1990). Modélisation hydrodynamique des nappes aquifères du socle paléozoïque et du Landénien dans les Flandres belges et française. *Ann. Soc. Géol. Nord* **59**, 73-85.
- WALRAEVENS, K., VAN CAMP, M., DE CEUCKELAIRE, M., VAN BURM, P., LEBBE, L., DE BREUCK, W., GERARD, P & VERPLAETSE, H. (1989). Hydrochemisch onderzoek van de gedeeltelijk afgesloten watervoerende lagen van de sokkel, het Krijt en het Landenian onder West-, Oost- en Frans-Vlaanderen. *Natuurwet. Tijdschr.* **71**, 53-73.

WATERSCHOOT VAN DER GRACHT, W., TESCH, P. EN HALET, M.F. (1913). Le sondage de Woensdrecht (Pays-Bas)". *Bull. Soc. belge de Géol., Paléont Hydrol.* **27**, 169-176.

WEMAERE, I. & MARVOET, J. (1995). *Updated regional hydrogeological model for the Mol site (The north-eastern Belgium model). Geological disposal of conditioned high-level and long lived radioactive waste*, 72 p. Brussel: NIRAS/ONDRAF (R-3060).

WILLEMS, W. (1988). Iconography of the Ypresian foraminifera of the Belgian Basin and description of new benthic species. *Bull. Belg. Ver. Geol.* **97**, 385-435.

WILLEMS, W. & MOORKENS, T. (1988). The Ypresian stage in the Belgian Basin. *Bull. Belg. Ver. Geol.* **97**, 231-249.

WOUTERS, L. & VANDENBERGHE, N. (1994). *Geologie van de Kempen - een synthese*, 208 p. - Brussel: NIRAS/ONDRAF.

ZIEGLER, P.A. (1982). *Geological atlas of Western and Central Europe*, 130 p. - The Hague: Shell Internationale Petroleum Maatschappij, BV.