



Nieuwe inzichten en geologische 3D modellen van het Dinantiaan in het Bekken van de Kempen

Studie uitgevoerd in opdracht van: VLAKO / VLAANDEREN
Referentie: 2021/RMA/R/2477
December 2024



Vision on technology
for a better world

vito.be

Nieuwe inzichten en geologische 3D modellen van het Dinantiaan in het Bekken van de Kempen

VITO

Boeretang 200

2400 MOL

Belgium

BTW No: BE0244.195.916

vito@vito.be – www.vito.be

IBAN BE34 3751 1173 5490 BBRUBEBB

Project Manager VITO

Stijn Janssen

+32 14 33 67 02 / stijn.janssen@vito.be

Experts VITO

Bernd Rombaut, Jef Deckers,
Katrijn Dirix, Katleen van Baelen

AUTEURS

Bernd Rombaut, VITO

Jef Deckers, VITO

Katrijn Dirix, VITO

Katleen van Baelen, VITO

SAMENVATTING

Van 2013 tot 2018 werd, op vraag van het Vlaams Departement voor Omgeving van de Vlaamse Overheid, door VITO een nieuw 3D geologisch model opgesteld van de Vlaamse ondergrond, genaamd G3Dv3-model. Dit model omvatte het bereik van de Onder Paleozoïsche gesteenten in de diepe ondergrond tot en met de meest recente Quartaire sedimenten aan de oppervlakte, waartussen geologische eenheden, hoofdzakelijk formaties en vaak ook leden gemodelleerd werden. Voor het diepe, Paleozoïsche bereik was het detail minder dan formaties of leden, en werden enkel de grootste groepen gemodelleerd, namelijk Westfaliaan, Namuriaan, Dinantiaan en Devoon. Deze grote groepen omvatten vaak meerdere eenheden met verschillende lithologieën. Voor tal van diepe toepassingen, zijn echter modellen van nog meer gedetailleerde geologische eenheden noodzakelijk, tot op het niveau van formaties. Eén van de zéér relevante toepassingen is geothermie, waarbij aardwarmte wordt gewonnen. De gesteentelaag met de beste reservoirkarakteristieken hiervoor is de Kolenkalk, grotendeels bestaande uit kalksteen en dolomiet, van het Dinantiaan. Voor het G3Dv3-model werd de top van het Dinantiaan in detail gemodelleerd, maar niet de basis ervan. De basis van het Dinantiaan - en ook het onderliggende Devoon - werd op basis van diktes uit boringen en een beperkt aantal algemene concepten gemodelleerd. Voor toepassingen zijn 3D modellen van het Dinantiaan met meer detail vereist, door het gebruik van seismische data alsook gedetailleerde concepten. Naast de modellen kunnen ook de inzichten die volgen uit interpretaties en de opmaak van deze eenheden belangrijk zijn voor het toepassingsveld.

Daarom werd vanaf 2020 gestart met de interpretatie en modellering van het Dinantiaan in het Bekken van de Kempen door VITO in opdracht van het Departement Omgeving van de Vlaamse Overheid. Het Devoon is ook geïnterpreteerd waar mogelijk, maar de interpretatie ervan bleek bijzonder onzeker op de meeste plaatsen. Daarom is er uiteindelijk geen model van het Devoon opgemaakt. Het Dinantiaan model omvat het grootste deel van het Bekken van de Kempen, uitgezonderd het uiterste oosten waar dit heel diep gelegen, en daardoor onvoldoende in kaart te brengen is. Op basis van de reeds uitgevoerde boringen bestaat het Dinantiaan in het Bekken van de Kempen – met uitzondering van de basis en soms topzones – bijna volledig uit carbonaten. Het model van het Dinantiaan toont dat dit pakket sterke - ook niet erosie-gerelateerde - diktevariaties kent, van ongeveer 300 m tot meer dan 1800 m. Binnen het Dinantiaan zijn er nog eens aparte modellen gemaakt van het Tournaisiaan en Viseaan. Deze grens kwam namelijk vaak sterk naar voor op seismische data. Verdere onderverdelingen bleken regionaal moeilijk te maken vanwege de kwaliteit van de seismische data, maar ook vanwege faciesveranderingen. Het model van het Tournaisiaan toont heel sterke diktevariaties. Een belangrijk deel van deze diktevariatie is te wijten aan een – in Vlaanderen niet eerder beschreven – breukenepisode tijdens het Tournaisiaan. Uit de seismische data blijkt namelijk dat er sterke breukwerking langsheen hoofdzakelijk WZW-ONO tot WNW-OZO georiënteerde breuken plaatsvond tijdens het Tournaisiaan met breuksprongen en gerelateerde dikteveranderingen tot meer dan 300 m. In Wallonië, Engeland en Ierland werd tijdens deze periode ook een breukepisode beschreven met gelijkaardige breukrichtingen, wat doet vermoeden dat deze door een regionale extensiefase veroorzaakt werd. In Ierland en Wallonië werden er tijdens deze periode lokaal dikke (>300 m tot zelfs 1 km) complexen van mudmounds, de zogenaamde Waulsortiaanmudmounds, afgezet. Ook op bepaalde seismische lijnen in het Bekken van de Kempen zijn build-up structuren van deze grootteorde te observeren.

Met een belangrijke zeespiegeldaling op de Tournaisiaan/Viseaan grens eindigde de opbouw van Waulsortiaanmudmounds in de ruime regio. De zeespiegeldaling zorgde voor een vroeg Viseaan hiaat in grote delen van Wallonië, alsook lokaal in het Bekken van de Kempen. Elders vond er - ook in analogie met Wallonië - vermoedelijk hoofdzakelijk opvulling plaats van paleo-reliëf tussen de build-up structuren van het Tournaisiaan.

Nabij het Massief van Brabant zorgde de zeespiegeldaling en bijhorende erosie voor wat siliciclastische input, en verderaf tot de verderzetting van carbonaatsedimentatie. Tijdens het midden Viseaan was het paleoreliëf vermoedelijk opgevuld en was er meer uniforme sedimentatie zonder indicaties voor belangrijke tektoniek tot aan het late Viseaan. Naar het einde van het Viseaan toe, startte een volgende, belangrijke tektonische episode. Hierdoor werden breuken met gemiddeld een N-Z oriëntatie actief. Deze breuken zijn behoorlijk geconcentreerd in de regio van Olen-Poederlee-Turnhout, en bakenen daar een bekken af in het oosten van het Bekken van de Kempen waar subsidentie sterk bleef tot in het vroegste Westfaliaan. Hierdoor is er in het oosten van het Bekken van de Kempen een heel wat dikker laatste Viseaan en Namuriaan pakket aanwezig dan in het westen van datzelfde bekken. In het westelijke Bekken van de Kempen valt het laatste Viseaan samen met een hiaat en is het Namuriaan erboven gemiddeld ongeveer drie keer dunner dan in het oosten. Dit hierboven beschreven hiaat in combinatie met breukwerking zal een belangrijke invloed hebben gehad op de initiële maar ook latere reservoirkwaliteit van het bovenste gedeelte van het Dinantiaan, hetgeen een belangrijk reservoir vormt, zoals aan de Heibaart Structuur voor gasopslag. De Heibaart Structuur zelf heeft zich tijdens de laatste Viseaan en Namuriaan fase als een horstblok ontwikkeld zodat deze nog iets hoger uitstak boven de omgeving en dus het langst heeft blootgestaan aan erosie en verkarsting, hetgeen heeft bijgedragen tot de uitstekende reservoirkwaliteit in de top van het Dinantiaan daar. De regio Mol daarentegen ondervond sterkere subsidentie met weinig of geen hiaat, en daarom ook geen karstreservoir in het jongste Dinantiaan.

INHOUDSTAFEL

Auteurs	I
Samenvatting.....	II
Inhoudstafel	IV
Lijst van figuren.....	VI
Lijst van tabellen	XIII
1 Inleiding.....	1
1.1. Historiek, uitgangssituatie en probleemstelling.....	1
1.2. Doelstellingen en toepassingen	1
1.3. Begrenzings en detail van het model	2
1.4. Opbouw van het rapport	4
2 Datavoorbereiding	5
2.1 Inleiding	5
2.2 Boringen	5
2.3 Seismische data	8
2.3.1 Bestaande seismische gegevens.....	8
2.3.2 Reprocessing.....	12
2.4 Geologische modellen	15
3 Werkwijze en resultaten interpretaties boringen	16
3.1 Algemeen	16
3.1.1 Interpretatie van het Dinantiaan in de Mol-GT-boringen.....	18
3.1.2 Interpretatie van het Dinantiaan in de Beerse-GT-boringen	19
3.1.3 Interpretatie van de Formatie van Goeree in de boringen van Halen en Turnhout	21
3.2 Biostratigrafie Dinantiaan	22
3.3 Sequentiestratigrafisch model Dinantiaan	23
3.3.1 Tournaisiaan	24
3.3.2 Viseaan.....	29
4 Werkwijzen en resultaten interpretaties seismiek	35
4.1 Werkwijze seismische interpretaties Top en basis Dinantiaan en basis Devoon ...	35
4.2 Intra-Devoon seismische pakketten	42
4.3 Intra-Dinantiaan seismische pakketten.....	43
4.4 Resultaten interpretaties seismische horizons Dinantiaan en lokaal ook devoon ..	50
4.4.1 Westelijk deel Bekken van de Kempen – Tournaisiaan intra-rift en -hoog	51
4.4.2 Zuidwestelijk rand van het Bekken van de Kempen – randzone Tournaisiaan riftsysteem.....	62
4.4.3 Uiterst noordelijk deel van het Bekken van de Kempen binnen Vlaanderen – Dinantiaan platformrand	65
4.4.4 Centrale deel van het Bekken van de Kempen – Namuriaan riftsysteem	70

4.4.5	Zuidoostelijk deel van het Bekken van de Kempen – van rand naar intrariftsysteem voor zowel het Tournaisiaan als Namuriaan	78
4.5	Werkwijze en resultaten interpretaties breuklijnen.....	84
4.5.1	Algemene werkwijze	84
4.5.2	Breuken Devoon	84
4.5.3	Breuken in de onderkant van het Dinantiaan of Tournaisiaan	85
4.5.4	Breuken in de bovenkant van het Dinantiaan en in het Namuriaan	86
4.5.5	Post-Namuriaan breuken	86
5	Modellen.....	87
5.1	Lagenmodellering	87
5.1.1	Methodiek lagenmodellering in tijd	87
5.1.2	Methodiek tijd-diepteconversie laagvlakken	89
5.1.3	Resultaten lagenmodellen in diepte	90
5.2	Breukenmodellering	108
5.2.1	Breukenmodellering in tijd.....	108
5.2.2	Tijd-diepteconversie van breuken	109
5.2.3	Resultaten breukenmodellering in diepte	110
6	Nieuwe Inzichten	117
6.1	Devoon	117
6.1.1	Algemene opbouw	117
6.1.2	Structurele inzichten Devoon	117
6.2	Dinantiaan	118
6.2.1	Tournaisiaan tektonische fase	118
6.2.2	Vroeg Viseaan: einde tektonische fase	122
6.2.3	Midden Viseaan	122
6.2.4	Laat Viseaan en Namuriaan tektonische fase	122
6.3	Instortingsstructuren in Dinantiaan en hun oorzaak.....	123
6.3.1	Instortingsstructuren	123
6.3.2	Vergelijking met boring Saint-Ghislain	126
7	Conclusies en aanbevelingen.....	128
7.1	Conclusies	128
7.2	Aanbevelingen	130
8	Dankwoord	131
9	Literatuurlijst	132
10	BIJLAGES	136

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: Overzicht van het Bekken van de Kempen (met daarin de Roerdalslenk) met subcropgrenzen van de grote Paleozoïsche eenheden volgens het G3Dv3-model.	3
Figuur 2: Overzicht van de locatie van de boringen die gebruikt werden voor deze studie, met onderin een vergroting van het gebied van Heibaart waar veel boringen geconcentreerd zijn. De boringen zijn genummerd en de gegevens ervan kunnen bekeken worden in de Bijlage. Daarnaast zijn ook de geïnventariseerde seismische lijnen weergegeven.	7
Figuur 3: Overzicht van de verschillende seismische campagnes die geïnventariseerd werden voor dit project, met rechtsonder een vergroting van het gebied rond Heibaart waar een bijzonder hoge densiteit aan seismische lijnen is. Let op de beperkte seismische bedekking in het noordoosten, westen en zuiden van het Bekken van de Kempen. Als aanvulling worden net over de grens van Vlaanderen ook de Nederlandse seismische data weergegeven.	10
Figuur 4: Overzicht van de seismische lijnen en hun scores voor prioriteit voor reprocessing. Hoe hoger de score, hoe interessanter. De reeds ge(re)proceste data zijn weergegeven in het blauw.	14
Figuur 5: Overzicht van de ligging van de seismische lijnen die voor deze studie gereprocesst zijn.	15
Figuur 6: Overzichtsschema van de litho- en bio- en chronostratigrafie van het Dinantiaan en onderkant van het Namuriaan in het Bekken van de Kempen. De litho- en chronostratigrafie is op basis van Lagrou en Laenen (2014) en de biostratigrafie vooral op basis van Hance (2022). De belangrijkste sequenties (op basis van Poty, 2016) en tektonische fases zijn ook weergegeven. Voor de Formatie van Goeree zijn de interpretaties grotendeels nieuw, zie paragraaf 3.1.3.	17
Figuur 7: Interpretatie en correlatie van de formaties van Loenhout en Velp in en tussen enkele belangrijke boringen in het Bekken van de Kempen. De boring van Halen is het stratotype van de Formatie van Velp en parastratotype van de Formatie van Loenhout (Laenen, 2003). De biostratigrafische analyses (foraminiferen biozones) van Hance (2022) en Luc Hance (pers. comm.) zijn ook weergegeven. Voor locatie van dit paneel, zie Figuur 8.	19
Figuur 8: Overzicht met de locatie van de boringen en correlatiepanelen ertussen van figuren 7, 9 en 11.	20
Figuur 9: Interpretatie en correlatie van de Formatie van Goeree in boringen in het Bekken van de Kempen en hun correlatie naar boring Geverik in Nederland, wat het parastratotype vormt van deze eenheid volgens het voorstel van Laenen (2003). De biostratigrafische analyses (foraminiferen biozones) van Hance (2018; 2022) zijn ook weergegeven voor de Belgische boringen. De biostratigrafie van boring Geverik is gebaseerd op Mathes-Schmidt (2000). Voor locatie van dit paneel, zie Figuur 8.	22
Figuur 10: Geometrie van de 9 sequenties van het Dinantiaan in Wallonië uit Poty (2016). De schaal is indicatief en niet exact. Afkortingen: ANH: Anhée Fm, AVE: Avesnelles Fm, AVI: Avins Lid, BAY: Bayard Fm, BAY: Bay-Bonnet Lid, BRA: Braibant Lid, CBL: Comblain-au-Pont Fm, CGR: Grives Kalksteen, CSA: Condroz sedimentation area, DGR: Grives Dolostone, DSA: Dinant sedimentation area, ENG: Engihoul Fm, ETR: Etroeungt Fm, EVI: Evieux Fm, FLE: Flémalle Lid, GOD: Godin Fm, HAS: Hastière Fm, HEM: Hemptinne Fm, LAN: Landelies Fm, LEF: Leffe Fm, LIV: Lives Fm, MAI: Maizeret Lid, MAR: Martinrive Fm, MAU: Maurenne Fm, MOL: Molinee Fm, NEF: Neffe Fm, NSA: Namur sedimentation area, OUR: Ourthe Fm, PDA: Pont d'Arcole Fm, POI: Poilvache Fm, SAL: Salet Fm, SEI: Seilles Lid, SOV: Sovet Fm, TER: Terwagne Fm, THO: Thon-Samson Lid, WAU: Waulsort Fm, YVO: Yvoir Fm.	23
Figuur 11: Correlatiepaneel tussen het onderste Tournaisiaan in boring Californië CAL-GT-04 op het Venlo Blok (Nederland), boring Kastanjelaan (KSL) in de regio van Maastricht (Nederland) en boring Mol-GT-03. De datering van de MFZ11 biozone in boring Mol-GT-01 door Hance (2018) is via correlaties geprojecteerd op de diepere boring Mol-GT-03 voor deze figuur. Op een gelijkaardige manier is de datering van de MFZ11 biozone in boring CAL-GT-01 door Poty (2014) gecorrelleerd met boring CAL-GT-04 voor deze figuur. De interpretatie van Kastanjelaan is gebaseerd op Laenen (2003) en die van Mol-GT-03 op Bos (2018). ...	25

Figuur 12: Laatste Famenniaan tot vroegste Viseaan eustatische- en klimaatveranderingen, met in groen de zeespiegelstijgingen en in blauw de zeespiegeldalingen uit Poty (2016). Let op de relatief hoge zeespiegelstand tijdens het Avins Event en de heel lage zeespiegelstand daaropvolgend.	28
Figuur 13: Een synthetisch seismogram van het Dinantiaan in boring Mol-GT-03 op basis van de logs van de akoestische snelheid ("P_velocity") en dichtheid ("Density"). PDC= Formatie van Pont d'Arcole en 1= kleiig niveau binnen de Formatie van Vesder.	37
Figuur 14: Voorbeeld van de contrasten in hardheid of erosiegevoeligheid tussen de verschillende pakketten van het Tournaisiaan. Deze contrasten vertalen zich op naar reflectiecontrasten. De Formatie van Maurenne is een mogelijk equivalent aan pakket dat met "1" wordt aangegeven op Figuur 13. Uit Devuyst et al. (2005).....	38
Figuur 15: Een synthetisch seismogram van het Dinantiaan in boring Saint-Ghislain, gelegen in het Mons Bekken, op basis van de logs van de akoestische snelheid ("P_velocity") en dichtheid ("Density"). Het sterkste geofysische contrast is gesitueerd op de zone waar de evaporieten zijn opgelost. Het tweede sterkste geofysische contrast valt samen met de Formatie van Pont d'Arcole (PDC). 1= Formatie van Oriënt.	39
Figuur 16: Lijn 9112 van de Rijkvorsch 1991 campagne met een van de duidelijkste hoekdiscordanties aan de basis van het Devoon. Voor locatie zie Figuur 23.	41
Figuur 17: De interpretatie van de gereproceste lijn 8904 van de LSC 1989 campagne die doorheen boring Booischot loopt. Voor locatie zie Figuur 34.....	43
Figuur 18: Lijn 8108 van de Oostmalle campagne waarop de verschillende geïnterpreteerde pakketten binnen het Dinantiaan zijn aangegeven (A). Sectie A duidt ook op de afname in dikte van Di-1 richting het noordwesten van de lijn. In het noordwesten valt het onderscheid tussen Di-1 en Di-2 niet langer te maken aangezien het ganse Dinantiaan er zwak reflectief is. Pakket Di-3b valt hier nog wel subtiel te onderscheiden. In sectie B worden enkele van de grote build-up structuren met zwarte streepjeslijnen aangegeven. Het is vermoedelijk door deze stapeling van build-up structuren dat het onderscheid tussen Di-1 en Di-2 niet te maken is in het noordwesten van de figuur. Voor locatie zie Figuur 23.....	44
Figuur 19: Lijn 8109 van de Oostmalle campagne die langsheen de Beerse-GT-01 boringen loopt en waarop de verschillende geïnterpreteerde pakketten van binnen het Dinantiaan aangegeven zijn. In het westen valt het onderscheid tussen pakketten binnen het Dinantiaan nog goed te maken, maar naar het oosten niet meer, waardoor de grenzen ertussen hier met streepjeslijnen zijn aangegeven. Deze verminderde vervolgbaarheid is een gevolg van de stapeling van build-up structuren. In sectie B van deze figuur worden enkele build-up structuren met zwarte streepjeslijnen afgelijnd. Let op de breukwerking in Di-1 die vermindert naar Di-2, terwijl Di-3 amper of niet meer door syn-sedimentaire breukwerking wordt beïnvloed. Hierdoor heeft Di-3 hier een heel uniforme dikte van ongeveer 180 ms TWT, hetgeen overeenkomt met iets meer dan 500 meter. Voor locatie zie Figuur 23.	49
Figuur 20: De gereproceste lijn 8956 van de LSC 1989 campagne die nabij boringen Halen en Loksbergen loopt met daarop de geïnterpreteerde horizons van het Dinantiaan. De twee grabens bovenin het Dinantiaan centraal op de figuur zorgen voor welvingen van het Krijt erboven wat indicatief kan zijn dat het (deels) instortingsstructuren zijn.	49
Figuur 21: Geometrie van de 9 sequenties van het Dinantiaan in Wallonië uit Poty (2016) met een dikke rode lijn, dewelke weergeeft met welke sequentiegrenzen de basis van seismisch pakket Di-3 allemaal zou kunnen overeenkomen afhankelijk van de ligging. Aan boringen Beerse en Halen valt die basis samen met de basis van het Viseaan of top sequentie 4, maar elders kan dat ook de basis van de bovenste sequentie van het Ivoriaan (basis seq. 4B of top 4A) zijn of mogelijks zelfs de basis van het boven Moliniaciaan (basis seq. 6 of top seq. 5). Voor een bespreking van de verschillende eenheden hierop, zie Figuur 10.	50
Figuur 22: Overzicht van de verschillende deelgebieden van het Bekken van de Kempen die voor de toelichting van de seismische interpretaties in deze studie worden onderscheiden. Ook enkele van de belangrijkste boringen staan vermeld.	51
Figuur 23: Overzicht van de locaties van de seismische lijnen die in dit rapport getoond worden voor het westelijke deel van het Bekken van de Kempen. Enkele van de belangrijkste boringen in dit gebied en de seismische lijnen/3D campagnes zijn ook weergegeven, net als de Heibaart	

Structuur en de Breuk van Hoogstraten zoals gemodelleerd voor het G3Dv3-model, en belangrijke structuren zoals gemodelleerd voor de huidige studie. Op het complexe gebied van Heibaart wordt verder ingezoomd in Figuur 28.	52
Figuur 24: Lijn 8107 van de Oostmalle campagne waarop een noordwestwaartse verdunning van het Dinantiaan te zien is in twee sprongen die samenvallen met grote instortingsstructuren. Voor locatie zie Figuur 23.	54
Figuur 25: Lijn 8108 van de Oostmalle campagne platgelegd op de seismische interpretatie van de top van het Dinantiaan. Hierdoor is de verdikking van het Dinantiaan (Tournaisiaan) onder de top van Di-2 richting het zuiden duidelijk waar te nemen. Voor locatie zie Figuur 23.	54
Figuur 26: Lijn 8110 van de Oostmalle campagne waarop de verschillende geïnterpreteerde pakketten van binnen het Dinantiaan staan aangegeven. In sectie B zijn enkele grote build-up complexen ingekleurd en hun contouren met streepjeslijnen aangegeven. Beide build-up complexen lijken geassocieerd met breuksystemen, waarbij de linkse zich duidelijk in een grabenstructuur ontwikkelde. Voor locatie zie Figuur 23.	56
Figuur 27: Lijn 9704 van de Rijkvorsel 1997 campagne die net ten zuidwesten van de Heibaart Structuur loopt. Het jongste Dinantiaan of Di-3 is hier sterk reflectief. In het noordwesten van deze lijn is de Dinantiaan platformrand waar te nemen waarlangs het Namuriaan verdikt en het Dinantiaan eerder lijkt te verdunnen in noordwestelijke richting. De verdikking van het Namuriaan wordt bevestigd door grotere diktes ervan in boring DZH23 in vergelijking met de andere boringen. In de kleinere graben die doorboord wordt door DZH25 is het Namuriaan ook wat dikker dan op de horst van boring DZH 34 ernaast. Voor locatie zie Figuur 28.	57
Figuur 28: Overzicht van de locaties van de seismische lijnen rond de Heibaart Structuur die in dit rapport getoond worden. De grijze zone is de 3D seismische campagne van Rijkvorsel 1991, waarin RKV91_R163 de inline weergeeft, getoond op Figuur 32.	58
Figuur 29: Lijn 9101 van de Rijkvorsel 1991 campagne die van de Heibaart Structuur (links) richting het zuidzuidoosten (rechts) loopt met daarbij de verdikking van het Dinantiaan via een helling in dezelfde richting. Het bovenste pakket Di-3b van het Dinantiaan lijkt weinig geïmpacteerd door deze verdikkende trend, maar lijkt subparallel met de top van het Dinantiaan te lopen. Pakket Di-3a daaronder lijkt te ontlappen tegen de basis ervan of top Di-2. Centraal snijdt deze lijn met lijn 9106 van dezelfde seismische campagne (zie Figuur 31) die er grofweg loodrecht op staat. Voor locatie zie Figuur 28.	59
Figuur 30: Lijn 8802 van de Rijkvorsel 1988 campagne die van de Heibaart Structuur (rechts, NO) richting de flank ervan (links, ZW) loopt met daarbij de verdikking van het Dinantiaan via breuken in dezelfde richting. Het bovenste pakket Di-3 van het Dinantiaan lijkt weinig geïmpacteerd door deze verdikkende trend, maar sub-parallel met de top van het Dinantiaan te lopen met een opvallend sterk reflectief facies in de top van pakket Di-3b. Voor locatie zie Figuur 28.	60
Figuur 31: Lijn 9106 van de Rijkvorsel 1991 campagne die van de Heibaart Structuur (rechts, ONO) richting de flank ervan (links, WZW) loopt met daarbij de verdikking van het Dinantiaan via breuken in dezelfde richting. Deze lijn loopt parallel met 8802 van de Rijkvorsel 1988 campagne (zie Figuur 30) en toont dan ook dezelfde diktetrends. In het uiterste oostnoordoosten snijdt deze met lijn 9101 van dezelfde campagne (zie Figuur 29) die er grofweg loodrecht op staat. Let op de verdikking van het Dinantiaan, en met name Di-1/2, richting het centrum van deze lijn. Enkele van de build-up structuren zijn met zwarte streepjeslijnen aangegeven. Voor locatie zie Figuur 28.	61
Figuur 32: Inline 163 van de 3D campagne van Rijkvorsel. Hierop is te zien hoe het Dinantiaan via breuken verdunt richting de Heibaart Structuur die hier in het noordwesten van ligt. Het Namuriaan verdunt in dezelfde richting en over dezelfde breuk. Net zoals op de lijn 9106 van de Rijkvorsel 1991 campagne (zie Figuur 31) is er een verdikking van het Dinantiaan voordat het verdunt richting de Heibaart Structuur. Voor locatie zie Figuur 28. .	62
Figuur 33: Overzicht van de locaties van de seismische lijnen die in dit rapport getoond worden voor de zuidwestelijke rand van het Bekken van de Kempen, met de overige seismische	

lijnen/3D campagnes erbij alsook belangrijke randbreuken zoals gemodelleerd voor de huidige studie.....	63
Figuur 34: De gereproceste versie van lijn 8903b van de LSC 1989 campagne met daarop de geïnterpreteerde horizons van het Dinantiaan en Devoon. Let op de grote instortingsholte, aangegeven met *, boven de breuk die voor belangrijke verplaatsing zorgt van de Paleozoïsche gesteenten. In de hanginwall van deze breuken lijken er build-up complexen aanwezig in pakket Di-3a van het Dinantiaan die aangegeven zijn met zwarte streepjeslijnen. Voor locatie zie Figuur 33.	65
Figuur 35: Overzicht van de locaties van de seismische lijnen die in dit rapport getoond worden voor het uiterst noordelijke gedeelte van het Bekken van de Kempen. De overige Belgische seismische lijnen in het gebied en de dikte van het Namuriaan uit het G3Dv3-model zijn er illustratief ook bijgegeven. Door de rollover in de hangingwall van de Breuk van Hoogstraten, dewelke ontstaan is door het afglijden van Namuriaanschalies op de steile carbonaatplatformrand, is het Namuriaan hier lokaal afwezig. Het zuidelijke uiteinde van lijn SCAN-32 is dus in het verlengde van deze Breuk van Hoogstraten gelegen.	66
Figuur 36: Lijn 8011 van de NFB campagne met de Breuk van Hoogstraten in het zuidoosten met de rollover in het Namuriaan en Westfaliaan erboven. Deze breuk is ontkoppeld nabij de top van het Dinantiaan die hier sterk naar het noorden duikt. De interpretaties van intra-Dinantiaan en Devoon reflecties zijn heel onzeker op deze lijn, maar volgens de huidige interpretaties zou het oudste Dinantiaan (Tournaisiaan) sterk verdunnen richting het noordwesten. Let op de grote build-up complexen, aangegeven met zwarte streepjeslijnen, net onder het zuidelijke uiteinde van de Breuk van Hoogstraten. Voor locatie zie Figuur 35.	68
Figuur 37: Lijn 32 van de SCAN campagne met de Breuk van Hoogstraten in het zuidoosten met de rollover in het Namuriaan en Westfaliaan erboven. Deze breuk is ontkoppeld nabij de top van het Dinantiaan die hier sterk naar het noorden duikt. De interpretaties van intra-Dinantiaan en Devoon zijn heel onzeker op deze lijn, maar volgens de huidige interpretaties zou het Dinantiaan sterk verdunnen langs een breukensysteem onder de Breuk van Hoogstraten en zou het oudste Dinantiaan (Tournaisiaan, onder top Di-2) van daaruit verder verdunnen en niet meer te onderscheiden zijn vanwege sterke condensatie. Voor locatie zie Figuur 35.....	69
Figuur 38: Lijn 9114 van de 1991 Rijkvorschel campagne die ten noordwesten van de Heibaart Structuur loopt. De top van het Dinantiaan of Di-3 is hier heel sterk reflectief, terwijl de basis van het Dinantiaan niet duidelijk geïnterpreteerd kon worden (streepjeslijn). Wel konden de sterk reflectieve banden van pakket De-1 in de onderkant van het Devoon geïnterpreteerd worden. De top van pakket Di-2 is hier heel moeilijk interpreteerbaar en daarom maar grofweg weergegeven, en is in realiteit veel complexer. Voor locatie zie Figuur 35.	70
Figuur 39: Overzicht van de locaties van de seismische lijnen die in dit rapport getoond worden voor het centrale deel van het Bekken van de Kempen. Enkele van de belangrijkste boringen in dit gebied en de seismische lijnen/3D campagnes zijn ook weergegeven, net als de dikte van het Namuriaan zoals gemodelleerd voor het G3Dv3-model, en de belangrijke laatste Viseaan en Namuriaan randbreuken zoals gemodelleerd voor de huidige studie.....	71
Figuur 40: Lijn 8605 van de Olmen-Meerhout 1986 campagne met daarop de geïnterpreteerde horizon van het Dinantiaan en Devoon. Let op de noordwaartse verdikking van het Dinantiaan onder de top van Di-2. Mogelijke aflijningen van build-up complexen zijn aangegeven met zwarte streepjeslijnen. Voor locatie zie Figuur 39.....	72
Figuur 41: Lijn 8608 van de Olmen-Meerhout 1986 campagne met daarop de geïnterpreteerde horizon van het Dinantiaan en Devoon. Let op de noordoostwaartse verdieping van het Dinantiaan via breuksprongen. Let ook op de scheve reflecties binnen het Dinantiaan onder de top van Di-2 in het linkse (ZW) breukblok. Gezien de onder- en bovenliggende eenheden sub-horizontale reflecties vertonen, zouden deze scheve reflecties onderin het Dinantiaan de expressie van een groot build-up complex kunnen zijn. Voor locatie zie Figuur 39.	73
Figuur 42: Lijn MH10-01 van de Mol-Herentals campagne met daarop de sterk toenemende dikte van het Namuriaan (tussen top Dinantiaan en basis Westfaliaan) in oostelijke richting, deels via helling, maar ook via een grote sprong langs de breuk die aangegeven is met B1.	

De sterke reflecties boven de top van het Dinantiaan worden geïnterpreteerd als een gevolg van de aanwezigheid van zandstenen in het schalie-gedomineerde Namuriaan. Het Dinantiaan verdunt sterk van west naar oost langs deze lijn, met bijna 200 ms TWT langsheen het breukensysteem dat is aangegeven met B2. Lokaal komen in zwak reflectieve zones van pakket Di-3 build-up structuren voor, aangegeven met zwarte streepjeslijnen. Voor locatie zie Figuur 39..... 75

Figuur 43: Lijn 8103 van de Oostmalle campagne met daarop de sterk toenemende dikte van het Namuriaan (tussen top Dinantiaan en basis Westfaliaan) in oostelijke richting via beperkte breuksprongen en vooral een helling van de top van het Dinantiaan. De dikte van het Dinantiaan neemt dan weer af in diezelfde richting, weg van het depocenter dat samenvalt met de zuidelijke begrenzing van de asymmetrische graben in het zuiden van de Oostmalle campagne. De totale som qua dikte TWT van het Dinantiaan en Namuriaan blijft daarom ongeveer gelijk over deze lijn. Voor locatie zie Figuur 39. 75

Figuur 44: Lijn 0703 van de Poederlee campagne met daarop de afnemende dikte van het Namuriaan in zuidwestelijke richting via onlap tegen het hoog waarin boring Poederlee geboord werd. De locatie met sterke onlap van het Namuriaan tegen de top van het Dinantiaan wordt aangegeven met een *. Voor locatie zie Figuur 39. 76

Figuur 45: Crossline 221 van de Olen-Herentals campagne met daarop de sterk toenemende dikte van het Namuriaan in oostelijke richting, deels via helling en deels via breuken. Deze breuken sterven uit richting de basis van het Westfaliaan. Opvallend hierbij is dat tussen de Westfaliaan-Namuriaan overgang en de basis Krijt een gelijkaardige set van breuken zichtbaar is, dewelke zich verticaal boven de onderliggende set heeft ontwikkeld. Dit wijst erop dat in deze regio een ontkoppeling heeft plaatsgevonden van breuken rond de Westfaliaan-Namuriaan overgang. Voor locatie zie Figuur 39..... 77

Figuur 46: Overzicht van de locaties van de seismische lijnen die in dit rapport getoond worden voor het zuidoostelijke gedeelte van het Bekken van de Kempen. Enkele van de belangrijkste Vlaamse en Nederlandse boringen in dit gebied en de seismische lijnen zijn ook weergegeven, net als de dikte van het Namuriaan zoals gemodelleerd voor het G3Dv3-model, en de Tournaisiaan randbreuk die tussen boringen Halen en Loksbergen loopt. 78

Figuur 47: De gravimetrische kaart van het zuidoostelijke deel van het Bekken van de Kempen en het Massief van Brabant. De rode en blauwe kleuren zijn respectievelijk positieve en negatieve Bouguer anomalieën. Hierin valt de sterke negatieve anomalie op in het uiterste zuidoosten van het Bekken van de Kempen aan boringen Heugem, Kastanjelaan en Lanaken. In het westen lijkt deze anomalie begrensd door een grofweg N-Z lopende breuk die stopt tegen een WNW-OZO lopende breuk. De lijn van de gemodelleerde breuk tussen boringen Heugem en Kastanjelaan - zoals geïnterpreteerd op Figuur 49 en schematisch weergegeven op Figuur 50 - is ook weergegeven. Let ook op de sterke veranderingen in graviteit anomalie waarden tussen boringen Loksbergen en Halen in het westen, dewelke samenvallen met een gemodelleerde breuklijn. 80

Figuur 48: De gereproceste lijn 15-02 van de Genk campagne met interpretaties van het Dinantiaan. Let op de breuksprong in de basis en zwak reflectieve onderkant van het Dinantiaan die lijkt uit te sterven richting het matig reflectieve pakket Di-3 in de bovenkant van het Dinantiaan. Voor locatie zie Figuur 46..... 81

Figuur 49: De gereproceste lijn 8908 van de LSC 1989 campagne die langs boring Lanaken loopt met daarop de geïnterpreteerde horizons van het Devoon en Dinantiaan. De nabijgelegen Nederlandse boringen van Kastanjelaan (KSL) en Heugem (HEU) zijn hierop geprojecteerd. Voor locatie zie Figuur 46. 83

Figuur 50: Een schematische doorsnede (N-Z) van afzetting van het Dinantiaan in het Visé-Puth gebied uit Bless et al. (1981a). Let op de breuk tussen boringen Heugem en Kastanjelaan. Voor locatie van deze boringen zie Figuur 46. 83

Figuur 51: Overzicht van de steunpunten die gebruikt zijn om een initieel tijdsdiktemodel van het Viséaan te maken. 88

Figuur 52: Zmid-Vint plot voor het Dinantiaan, links zonder en rechts met correctie van de Zmid-dieptes naar de ingeschatte maximale begraving op basis van het begravingsmodel van Ferket et al. (2010). Noot: de well-shoot analyse in MOL-GT-03 - B/1-102784 (MOL-GT-

03_VSP) bestrijkt niet het volledige Dinantiaan, waardoor de aangeboorde dikte en diepte verschilt van de sonic log (MOL-GT-03_sonic) die wel het volledig Dinantiaan bestrijkt.	90
Figuur 53: Model van de diepte van de top van het Dinantiaan zoals opgemaakt voor de huidige studie. De breuklijnen die deze horizon opbreken zijn ook weergegeven.....	92
Figuur 54: Model van de diepte van de basis van het Dinantiaan zoals gemodelleerd voor de huidige studie. De breuklijnen die deze horizon opbreken zijn ook weergegeven.....	93
Figuur 55: Model van de dikte van het Dinantiaan zoals gemodelleerd voor de huidige studie. De breuklijnen die de basis van deze eenheid opbreken zijn ook weergegeven.....	94
Figuur 56: Model van de diepte van de basis van het Tournaisiaan zoals gemodelleerd voor de huidige studie. De breukvlakken die deze horizon opbreken zijn ook weergegeven als breuklijnen.	96
Figuur 57: Model van de dikte van het Tournaisiaan zoals gemodelleerd voor de huidige studie. De breuklijnen die deze eenheid opbreken zijn ook weergegeven. Let op de sterke dikteveranderingen in deze eenheid door breukwerking in het gehele Bekken van de Kempen.	97
Figuur 58: Doorsnede doorheen het model van de huidige studie over de Heibaart Structuur.	98
Figuur 59: Doorsnede doorheen het model van de huidige studie dat het Tournaisiaan depocenter of asymmetrische graben toont met diktesprongen aan breuken.....	99
Figuur 60: Doorsnede doorheen het model van de huidige studie in het uiterste noorden van Vlaanderen waar het Dinantiaan vermoedelijk verdunt ten gevolge van sediment starvation. De Breuk van Hoogstraten is conceptueel aangegeven in de doorsnede.....	100
Figuur 61: Schets van verdunning van het Viseaan in post-depositionele (Jura) grabenstructuren die uitsterven richting de basis van het Viseaan.	102
Figuur 62: Model van de diepte van de top van het Viseaan zoals opgemaakt voor de huidige studie. De breuklijnen die deze horizon opbreken zijn ook weergegeven. Naar het noorden van Heibaart en het oosten van Poederlee en Turnhout is er een belangrijke verdieping door een verdikking van het bovenliggende Namuriaan in diezelfde richting. Deze verdieping is in het oosten van Poederlee en Turnhout duidelijk gebonden door een belangrijke NNO-ZZW georiënteerd breuksysteem. Dit breuksysteem is nieuw gemodelleerd voor dit model. De meeste overige breuken zaten reeds in het G3Dv3-model van de top van het Dinantiaan verwerkt.	103
Figuur 63: Doorsnede doorheen het model van de huidige studie in het uiterste zuidoosten van Vlaanderen of waar het Viseaan het meest ondiep gelegen is.....	104
Figuur 64: Model van de diepte van de basis van het Viseaan zoals gemodelleerd voor de huidige studie. De breuklijnen die deze horizon opbreken zijn ook weergegeven. Let op het relatieve beperkte aantal breuken dat doorheen deze eenheid gaat in vergelijking met de modellen van de basis van het Tournaisiaan of top van het Viseaan. Heel wat oudere en jongere breuken sterven namelijk uit nabij deze basis van het Viseaan.	105
Figuur 65: Model van de dikte van het Viseaan zoals gemodelleerd voor de huidige studie. De breuklijnen die de top van deze eenheid opbreken zijn ook weergegeven. In vergelijking met de diktekaart van het Tournaisiaan zijn er heel wat minder breukgerelateerde diktesprongen. Wel zorgen instortingsstructuren/grabens voor lokale dikteveranderingen. De maximale dikte situeert zich op de plaatsen waar ook het Tournaisiaan maximale diktes bereikte (vergelijk met Figuur 57). Naar het uiterste noorden van Vlaanderen is er terug verdunning omwille van sediment starvation tijdens het Viseaan, dewelke een continuatie is van dit in het Tournaisiaan gestarte proces vanwege snelle subsidentie.	106
Figuur 66: Model van de dikte van het Viseaan zoals gemodelleerd voor de huidige studie in de regio van Oostmalle met daarop de voorkomens van instortingsstructuren uit Rombaut et al. (2021). Ten gevolge van oplossing van Viseaan carbonaten en/of evaporieten vormen de instortingsstructuren zones met dunner Viseaan.....	107
Figuur 67: VOXET met instantane snelheden begrensd door de verschillende eenheden waarvoor V0-kaarten en k-waardes zijn bepaald (uit Deckers et al., 2019). De uitgelichte laag stelt de basis van het Westfaliaan van het G3Dv3-model voor. De zwarte lijn bovenin stelt de landsgrens voor.	109

Figuur 68: Breuklijnen in de basis van het Tournaisiaan zoals gemodelleerd voor de huidige studie. De NNW-ZZO breuken hierin zijn post-depositioneel (Jura), terwijl de ZW-NO, O-W tot WNW-OZO breukrichtingen syn-depositioneel (Tournaisiaan) zijn.	111
Figuur 69: Roosdiagram met oriëntaties van segmenten (per 1000 m) van alle gemodelleerde breuken die de basis van het Tournaisiaan snijden. De x-as geeft het percentage breuksegmenten met een bepaalde oriëntatie weer. De oriëntaties zijn weergegeven in groepen per 11.25°. Hierbij zien we breuken met een NW-ZO en NNW-ZZO oriëntatie die actief waren tijdens het Jura (post-depositionele breuken), breuken met een O-W tot OZO-WNW oriëntatie die actief waren tijdens het Tournaisiaan (syn-depositionele breuken) en breuken met een WNW-OZO oriëntatie die actief waren tijdens beide fases.	112
Figuur 70: Doorsnede doorheen het model van de huidige studie in het zuiden van het Bekken van de Kempen met daarop een grote randbreuk die zowel tijdens het Tournaisiaan als Jura actief was. Deze tweefasige activiteit resulteerde in een totale verticale sprong van bijna 1000 m voor de basis van het Tournaisiaan.	113
Figuur 71: De gravimetrische kaart van het zuidelijke deel van het Bekken van de Kempen en Massief van Brabant aan de boringen van Booischot, Kessel en Poederlee. De rode en groen/blauwe kleuren zijn respectievelijk positieve en negatieve Bouguer anomalieën. De blauwe lijn die ten noorden van Booischot en Kessel loopt, stelt een gemodelleerde randbreuk van het Tournaisiaan voor die tijdens het Jura gereactiveerd werd. Zoals te verwachten valt, loopt deze breuklijn sub-parallel met de lijnen van gelijke gravimetrie. De breuk accommodeert namelijk Devoon- en Carboongesteenten in de hangingwall (noorden) die een lagere dichtheid hebben dan de Siluurgesteenten die domineren in de footwall (zuiden).	114
Figuur 72: Model uit de huidige studie van de diepte van de top van het Viseaan met breuken die deze opbreken voor het westelijke deel van het Bekken. In zwarte dikke lijnen zijn enkele van de Namuriaan breuksystemen weergegeven met het grootste verzet. De Namuriaan breuksystemen van Olen naar Poederlee en Turnhout vormen de westgrens van een Namuriaan depocenter en diegene in het westen de randbreuken van de horststructuur van Heibaart. De overige breuken waren (ook) tijdens het Jura actief met dominant NNW-ZZO en N-Z richtingen voor deze regio. Voor het volledige model van top van het Viseaan, zie Figuur 62.	116
Figuur 73: Overzichtsschema van de litho- en bio- en chronostratigrafie van het Dinantiaan en onderkant van het Namuriaan in het Bekken van de Kempen uit Figuur 6 van deze studie, links aangevuld met de timing van de belangrijkste tektonische fases in het gebied.	119
Figuur 74: Seismische interpretatie van lijn 8111 van de Oostmalle campagne. In het centrum rechts zijn er twee grote instortingsstructuren aanwezig met op de flanken daarvan grote build-up structuren die ingekleurd en met zwarte streepjeslijnen afgelijnd zijn. Deze build-up structuren stellen vermoedelijk Tournaisiaan Waulsortiaan mudmounds voor die paleo-hogen vormden tijdens het Viseaan. In de centrale grabens zelf zijn Di-2 en -3 sterk verdund, mogelijks door oplossing van carbonaten en evaporieten die ook voor de instortingen van erboven hebben gezorgd.	125
Figuur 75: Schematische voorstelling van de relatie tussen carbonaat- en evaporietafzettingen ten zuiden van het Massief van Brabant tijdens zeespiegelhoogstanden (A) en -laagstanden (B). Overgenomen uit De Putter et al. (1994).	126
Figuur 76: Het synthetisch seismogram van boring Saint-Ghislain bovenop de seismische lijn 8108 van de Oostmalle campagne. De sterkste amplitude intra-Dinantiaan reflectie van de boring en de seismische lijn zijn gecorreleerd. In de boring is deze reflectie een gevolg van het oplossen van een evaporietrijk pakket in het onderste Viseaan. De verkregen sonic log van boring Saint-Ghislain start pas in de top van het Dinantiaan, waardoor de top van het Dinantiaan zelf hier geen sterk contrast geeft. De dikte van het Viseaan is ook wat groter in boring Saint-Ghislain dan op lijn 8108.	127

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: Overzicht van de diepe modelleenheden in Vlaanderen en hun codes in de opleverbestanden conform deze voor het G3Dv3-model. Voor dit rapport worden het Dinantiaan, Viseaan en Tournaisiaan opgeleverd.	4
Tabel 2: Overzicht van de gebruikte seismische campagnes van oud naar jong, hun beoogd dieptebereik en de kwaliteit voor het Dinantiaan/Devoon bereik.....	9
Tabel 3: Opsomming van de voor deze studie gereproceste seismische lijnen.	14
Tabel 4: Overzicht van alle Vlaamse boringen - en enkele van hun belangrijkste gegevens - die in het Bekken van de Kempen het Dinantiaan aangeboord hebben.	136
Tabel 5: Overzicht van alle Nederlandse boringen - en enkele van hun belangrijkste gegevens – die relevant zijn voor de huidige studie.....	137
Tabel 6: Overzicht van boringen in Wallonië en de Voerstreek - en enkele van hun belangrijkste gegevens – die relevant zijn voor de huidige studie.....	138
Tabel 7: Overzicht van alle geïnventariseerde en gebruikte seismische lijnen voor deze studie in het Vlaamse deel van het Bekken van de Kempen met hun berekening en score voor prioriteit mogelijke reprocessing.	139

1 INLEIDING

1.1. Historiek, uitgangssituatie en probleemstelling

Van 2013 tot 2018 werd, op vraag van het Vlaams Departement voor Omgeving van de Vlaamse Overheid, door VITO een nieuw 3D geologisch model opgesteld van de Vlaamse ondergrond, genaamd G3Dv3-model. Dit model omvatte het bereik van de Onder Paleozoïsche gesteenten in de diepe ondergrond tot en met de meest recente Quartaire sedimenten aan de oppervlakte, waartussen geologische eenheden, hoofdzakelijk formaties en vaak ook leden gemodelleerd werden. Voor het diepe, Paleozoïsche bereik was het detail minder dan formaties of leden, en werden enkel de grootste groepen gemodelleerd, namelijk Westfaliaan, Namuriaan, Dinantiaan en Devoon. Deze grote groepen omvatten vaak meerdere eenheden met verschillende lithologieën. Voor tal van diepe toepassingen, zijn echter modellen van nog meer gedetailleerde geologische eenheden noodzakelijk, tot op het niveau van formaties. Eén van de zéér relevante toepassingen is geothermie, waarbij aardwarmte wordt gewonnen. De gesteentelaag met de beste reservoirkarakteristieken hiervoor is de Kolenkalk, grotendeels bestaande uit kalksteen en dolomiet, van het Dinantiaan. Voor het G3Dv3-model werd de top van het Dinantiaan in detail gemodelleerd, maar niet de basis ervan. De basis van het Dinantiaan - en ook het onderliggende Devoon - werd op basis van diktes uit boringen en een beperkt aantal algemene concepten gemodelleerd. Voor toepassingen zijn 3D modellen van het Dinantiaan met meer detail vereist, door het gebruik van seismische data alsook gedetailleerde concepten. Naast de modellen kunnen ook de inzichten die volgen uit interpretaties en de opmaak van deze eenheden belangrijk zijn voor het toepassingsveld.

1.2. Doelstellingen en toepassingen

De belangrijkste doelstellingen voor het nieuwe model zijn:

- Een intern consistent 3D geologisch laagvlakkenmodel voor het Dinantiaan.
- Waarin de nieuwste sedimentologische en tektonische inzichten vervat zitten.
- Met 3D breukvlakken die de laagvlakken opbreken en ermee consistent zijn.
- Dat als referentie kan dienen voor geologisch, geothermisch en hydrogeologisch gebruik/onderzoek.

Dit detailmodel zal op zichzelf staan zijn, en wordt (nog) niet geïntegreerd binnen het grotere G3Dv3-model. De reden hiervoor is dat er voor dit nieuwe model ook nieuwe data zullen worden gebruikt die nog niet bij de opmaak van het G3Dv3-model gebruikt werden. Het gebruik van nieuwe data leidt onoverkomelijk tot nieuwe inzichten en veranderingen, zoals verloop van basis- en topvlakken of breukvlakken. Aangezien deze nieuwe inzichten en veranderingen wel vervat zitten in het huidige model, maar niet in G3Dv3-model, kan het huidige model niet zomaar in het G3Dv3-model ingepast worden zonder dat dit laatste model ook hierop volledig wordt aangepast. Dat laatste valt echter buiten de huidige opdracht.

1.3. Begrenzungen en detail van het model

Op basis van het G3Dv3-model komt het Dinantiaan voor in het oosten en uiterste westen van Vlaanderen (Figuur 1). Voor het huidige model wordt gefocust op het oostelijke voorkomen van het Dinantiaan, dewelke de structuur van het zogenaamde Bekken van de Kempen mede bepaalt.

Het dieptebereik van het Dinantiaan bepaalt de verticale begrenzing van de modellen. De laterale begrenzing valt samen met 1) het voorkomen van dit pakket binnen het Bekken van de Kempen en 2) de mogelijkheid dit pakket nog met voldoende zekerheid uit te karteren in dit bekken. In het oosten van het Bekken van de Kempen is het Dinantiaan heel diep gelegen, zonder boringen en vaak zelfs zonder seismische data of seismische data van onvoldoende kwaliteit en/of te beperkt dieptebereik om het te lokaliseren. Voor het G3Dv3-model is er gekozen om het Dinantiaan in heel het Bekken van de Kempen te modelleren op basis van het doortrekken van concepten vanuit gebieden met meer data naar gebieden met weinig tot geen data. Omdat het huidige model een detailmodel betreft, is er gekozen voor een andere aanpak met verschillende deelgebieden binnen het Bekken van de Kempen en is het Dinantiaan niet in het uiterste noordoosten van het Bekken van de Kempen uitgekarteerd.

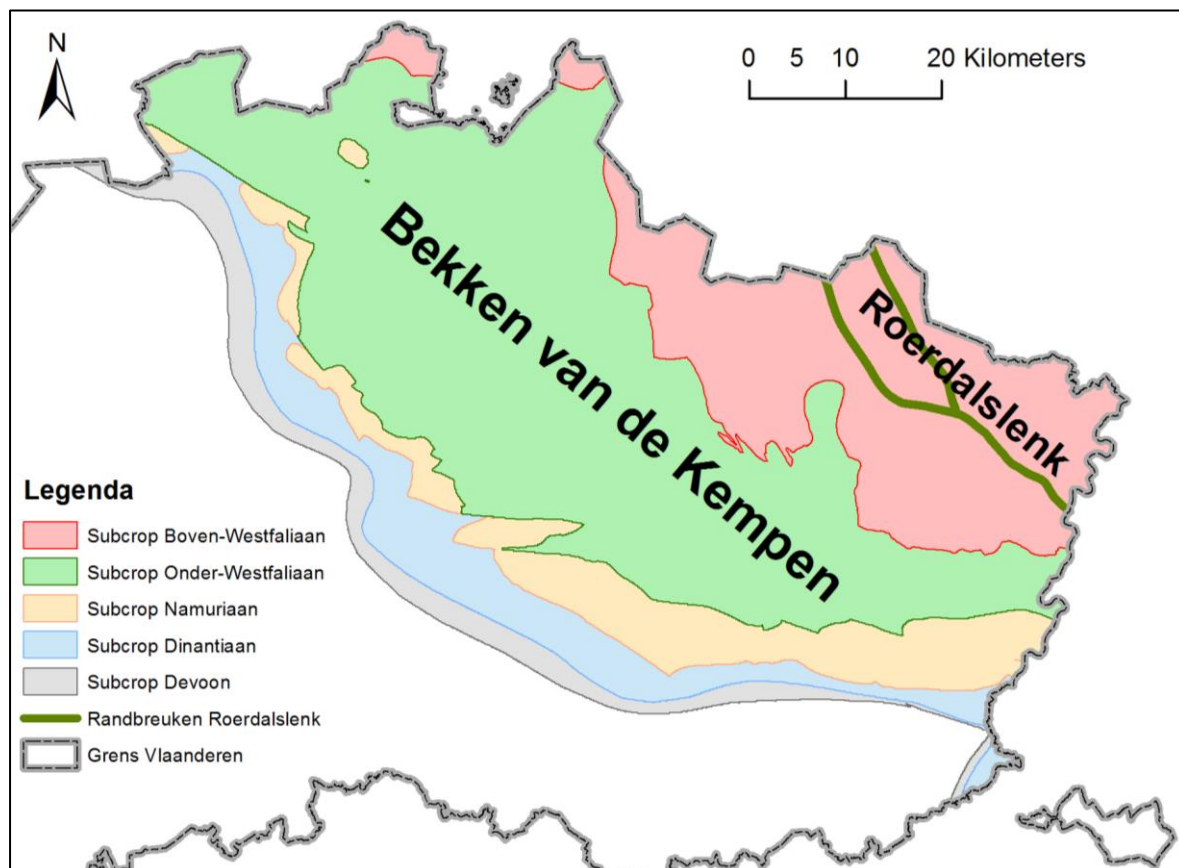
Naast het rapport worden voor de huidige studie volgende zaken opgeleverd per modeleenheid, zijnde het Tournaisiaan, Viseaan en Dinantiaan:

- Rasters van top, basis en dikte van de eenheden
- De breukvlakken die de eenheden opbreken als .dxf en .ts bestanden. Als deze breukvlakken door de top van basis van het Dinantiaan gaan, zijn ze respectievelijk daarboven of daaronder niet afgeknipt.
- Shapefiles van:
 - Voorkomensgrenzen
 - Lijnen van de breuken die de modeleenheden opbreken samen met de breukvlakken zelf
 - Boringen die de modeleenheid aansnijden met als attribuut - onder andere - de diepte van de top en basis van de modeleenheid in de boring
 - Isohypsen en isopachen van het respectievelijke diepte- en dikteverloop van de eenheid zoals afgeleid van de rasters
 - Overzicht van de seismische data en de horizons en breuklijnen die geïnterpreteerd werden op deze seismische lijnen
 - Onderliggende resultaten zoals steunlijnen of steunpunten die gebruikt zijn in de modellering
 - Een algemene overzichtstabel (niet per modeleenheid) met hierin alle gebruikte boringen en hun interpretaties.
- Metadatabestand in Excel formaat

Voor de oplevering van rasterbestanden, werd een buffer van 100 m rondom de Vlaamse gewestgrens aangehouden zodat verzekerd werd dat ook de grenszone volledig met rastercellen is bedekt.

Van de geologische laag- en breukvlakken werden rasterbestanden opgeleverd. De verticale resolutie van deze bestanden is 1 centimeter. Deze afronding valt echter niet samen met het werkelijke detail van de modellen dat beduidend lager is. De horizontale resolutie van de rasterbestanden is 100 m.

De hierboven beschreven bestanden krijgen de naam van de modelleenheid waartoe ze behoren, met achtervoegsels voor boringen (_bo), breuklijnen (_br), isohypsen (_ih), isopachen (_ip), onderliggend resultaat steunlijnen (_or_sl), seismiek (_se) of voorkomensgrenzen (_v). Ook wordt weergegeven of het de basis (_b), dikte (_d) of top (_t) van een eenheid betreft en voor de steunlijnen of ze in diepte (or_sl_diepte) of tijd (or_sl_tijd) staan. De namen van de modelleenheden worden voor praktische redenen afgekort via codes. Deze codering bouwt verder op die van het G3Dv3-model. Tabel 1 biedt een overzicht van de gehanteerde codering.



Figuur 1: Overzicht van het Bekken van de Kempen (met daarin de Roerdalslenk) met subcroppgrenzen van de grote Paleozoïsche eenheden volgens het G3Dv3-model.

Tabel 1: Overzicht van de diepe modeleenheden in Vlaanderen en hun codes in de opleverbestanden conform deze voor het G3Dv3-model. Voor dit rapport worden het Dinantiaan, Viseaan en Tournaisiaan opgeleverd.

Hoofdeenheid	Code	Subeenheid	Code
Westfaliaan	0801CA_We	Formatie van Neeroeteren	080101CA_WeNe
		Formatie van Flénu	080102CA_WeFl
		Formatie van Charleroi	080103CA_WeCh
		Formatie van Châtelet	080104CA_WeCa
Namuriaan	0802CA_Na	Formatie van Andenne	080201CA_NaAn
		Formatie van Chokier	080202CA_NaCo
Dinantiaan	0803CA_Di	Viseaan	080301CA_DiVi
		Tournaisiaan	080302CA_DiTo

1.4. Opbouw van het rapport

Na hoofdstuk 1 met de inleiding, wordt in hoofdstuk 2 toegelicht hoe de data (hoofdzakelijk boringen en seismiek) verzameld, eventueel verbeterd en gebruiksklaar werden gemaakt voor verder gebruik. In hoofdstuk 3 en hoofdstuk 4 worden de interpretaties en resultaten van respectievelijk de boringen en seismiek besproken. Via de gegevens uit de boringen wordt een eerste sequentiestratigrafisch kader opgesteld. Vanuit de seismische interpretaties worden bekkens afgebakend. Hoofdstuk 5 licht toe hoe deze interpretaties in combinatie met de gehanteerde concepten tot geologische modellen van het Dinantiaan verwerkt werden. De nieuwe inzichten op vlak van hoofdzakelijk tektoniek die hieruit volgen worden besproken in hoofdstuk 6. De conclusies en aanbevelingen worden toegelicht in hoofdstuk 7, gevolgd door een dankwoord, referentielijst en bijlages.

2 DATAVOORBEREIDING

2.1 Inleiding

De datavoorbereiding omvat de inventarisatie en het gebruiksklaar maken van data voor de vervolgstappen. Deze vervolgstappen omvatten het interpreteren van deze data (zie hoofdstukken 3 en 4) zodat ze gebruikt kunnen worden in de modellering (hoofdstuk 5).

Vanwege budgettaire beperkingen werden in dit project geen nieuwe ruwe data (zoals seismische lijnen of boringen) verworven. De inventarisatie gebeurde daarom op basis van bestaande data, namelijk boringen (al dan niet met lithologs en/of boorgatmetingen), seismische lijnen en eerdere geologische modellen (G3Dv3-model). Wel werd er voor dit project een selectie van bestaande seismische data gereprocest om de kwaliteit ervan te verbeteren in functie van interpretaties.

De data werden voor het grootste deel al eerder - in functie van het G3Dv3-model - geïnventariseerd en gebruiksklaar gemaakt in de GOCAD-software:

- De seismische data werden al geïnventariseerd, gevectoriseerd en correct gepositioneerd (referentiehoogtes en polariteiten) in de software GOCAD.
- Deze seismische data waren ook al geïnterpreteerd voor de top van het Dinantiaan.
- Boorgegevens (vaak al met boorgatmetingen) en interpretaties voor de top van het Dinantiaan waren reeds grotendeels ingeladen in dezelfde software.
- Snelheidsmodellen waren opgemaakt voor de omzetting van laag- en breukvlakken van tijd naar diepte tot en met de top van het Dinantiaan.
- 3D breukvlakken waren opgemaakt in tijd en diepte.
- 3D laagvlakken waren opgemaakt in tijd tot aan de top van het Dinantiaan en in diepte tot aan de basis van het Devoon.

Specifiek voor deze studie zijn volgende toevoegingen op de dataset van het G3Dv3-model uitgevoerd:

- Aanvullende seismische data van Fluxys werden ingeladen.
- Aanvullende seismische data en boorgegevens van recente diepe aardwarmteprojecten, zoals die van Janssen Pharmaceutica, HITA en VITO.
- Deze meest recente seismische data en boorlocaties (uitgevoerd na opmaak van het G3Dv3-model) werden ingeladen en correct gepositioneerd (referentiehoogtes en polariteiten) in de software GOCAD.
- De al bestaande en nieuwe (zie Hance, 2022) biostratigrafische interpretaties/grenzen binnen het Devoon en Dinantiaan in boringen werden ingeladen.
- Een evaluatie van de seismische data is uitgevoerd om te bepalen welke het meest nuttig zijn voor reprocessing om een betere beeldvorming te krijgen van het Devoon en Dinantiaan. Aan de hand hiervan zijn een aantal seismische lijnen gereprocest.

2.2 Boringen

Voor het G3Dv3-model werd een inventarisatie uitgevoerd van alle publieke boringen en de meeste confidentiële boringen binnen het Bekken van de Kempen die het Devoon en Dinantiaan hebben aangeboord. Dit zijn er 45 in totaal. Een geografisch overzicht van deze boringen is weergegeven in Figuur 2. Ongeveer 2/3 van de boringen in het Vlaamse deel van het Bekken van de Kempen die het Dinantiaan bereiken, zijn gelegen in de regio Loenhout, waar gasopslag plaatsvindt in het Dinantiaan. Vanwege de grote densiteit aan boringen in deze regio, is een detailuitsnede van dit gebied gemaakt in Figuur 2.

De extractie van boorinformatie of - attributen gebeurde via de GEKKO-databank van VITO. Deze GEKKO-databank werd eerder ook al overgezet op de DOV-databank. In deze GEKKO-databank zitten volgende attributen per boring:

- Locaties en hoogteligging van de boringen (x, y, z)
- De namen van de boringen volgens de databanken van DOV, BGD, KS of overige
- Lithologische beschrijvingen
- Interpretaties van lithostratigrafische grenzen
- Interpretaties van andere kenmerkende lagen
- Interpretaties van breuken en andere tektonische structuren in de boringen.
- Literatuur waarin de boringen besproken worden

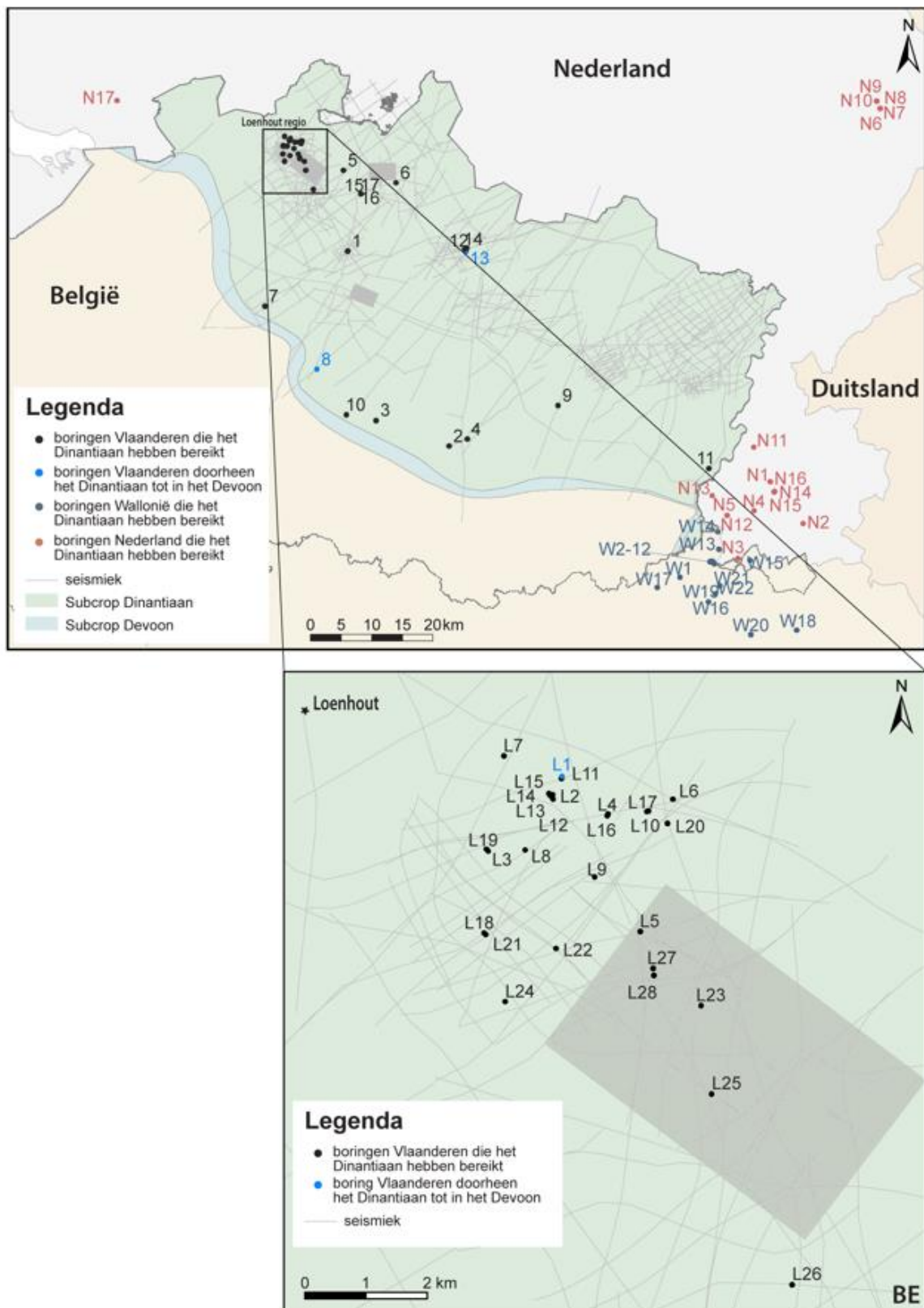
Een opsomming van al deze boringen in Vlaanderen met de eerste twee hierboven beschreven attributen is weergegeven in Tabel 4 van de Bijlage. Bovenliggende attributen werden ook voor de recentere (niet in GEKKO aanwezige) geothermische boringen van Mol en Beerse geïnventariseerd. Data van deze boringen zijn afkomstig van de databanken van respectievelijk VITO en HITA.

Naast de boringen in Vlaanderen, werden ook nabijgelegen Nederlandse boringen (

Tabel 5) en boringen in de Visé regio van Wallonië (Tabel 6), die het Dinantiaan aanboorden, verzameld (Figuur 2). Deze boorinformatie werd voor het Nederlandse deel gehaald uit de databank NLOG (www.nlog.nl) en voor het Waalse deel uit de databank van de Belgische Geologische Dienst.

Alle boringen weergegeven in de Bijlage hebben - voor het eenvoudig gebruik en verwijzing ernaar in figuren - een volgnummer meegekregen. Daarbovenop werd voor de boringen van Fluxys te Loenhout een L, voor de Waalse boringen een W, en voor de Nederlandse boringen NL als voorvoegsels toegevoegd ter verduidelijking. De tabellen in de bijlages bevatten naast dit volgnummer ook referentienummers uit de databanken (DOV-proefnummers, BGD-codes, NLOG-codes), de Lambert 1972 coördinaten, hoogteligging, locatiennaam, einddiepte, of de boring al dan niet gedeveerd is, of deze gekernd is, of er biostratigrafische analyses zijn uitgevoerd, en of er geofysische boorgatmetingen ter beschikking zijn. Voor de boringen binnen Vlaanderen is ook aangegeven welke boorgatmetingen allemaal zijn uitgevoerd.

De meeste boringen die het Dinantiaan bereikt hebben in het Vlaamse deel van het Bekken van de Kempen, doorboorden enkel het bovenste gedeelte ervan. Slechts 7% of drie boringen daarvan bereikte ook het Devoon. Van deze drie boringen bereiken er twee ook de basis van het Devoon.



Figuur 2: Overzicht van de locatie van de boringen die gebruikt werden voor deze studie, met onderin een vergroting van het gebied van Heibaart waar veel boringen geconcentreerd zijn. De boringen zijn genummerd en de gegevens ervan kunnen bekeken worden in de Bijlage. Daarnaast zijn ook de geïnventariseerde seismische lijnen weergegeven.

De bruikbaarheid van de stalen van de geïnventariseerde boringen voor geologisch onderzoek varieert sterk. Sommige boringen zijn voorzien van gekernde intervallen voor het Devoon of Dinantiaan, wat de kwaliteit van de boorbeschrijvingen en -interpretaties ten goede komt. Indien de boring niet gekernd werd, is het detail van de boorbeschrijving meer gering, wat de lithostratigrafische interpretaties van deze boringen bemoeilijkt, zeker als er geen boorgatmetingen beschikbaar zijn. Ook zijn de monsters voor biostratigrafische analyses daardoor vaak van mindere kwaliteit.

Om de boringen te kunnen correleren met elkaar of eenvoudig te kunnen vergelijken in functie van latere interpretaties, werden de boringen en bestaande interpretaties in de GOCAD-software ingeladen. Eerst werden de boorlocaties (x, y, z) ingeladen met bijhorende boortraject voor de gedeveerde boringen. Vervolgens werden aan de boringen eventuele boorgatmetingen (uit LAS-files) gekoppeld. Daarna werden de bestaande interpretaties van lithostratigrafische grenzen of laagvlakken ingeladen. Tenslotte werden ook biostratigrafische grenzen ingeladen. Deze laatste grenzen komen niet uit de GEKKO-databank, maar uit de literatuur. Zo werden de biostratigrafische grenzen voor Vlaamse boringen gebruikt uit Bless et al. (1976), van der Voet et al. (2020b) voor boring Mol-GT-01 en de herzieningen door Hance (2022).

Na het inladen kon gekozen worden om al deze data voor een selectie van boringen weer te geven in een correlatieprofiel binnen GOCAD. Zodoende konden bestaande interpretaties van lithostratigrafische eenheden of biostratigrafische zones en log-signaturen bekeken worden in één oogopslag. De interpretaties van lagen in verschillende boringen konden ook opgelijnd worden zodat de diktes en logsignatuur van de boven- en onderliggende eenheden vergeleken konden worden. Dit maakt het eenvoudiger om correlaties te maken tussen boringen. Een voorbeeld van dergelijk correlatieprofiel wordt getoond in Figuur 9.

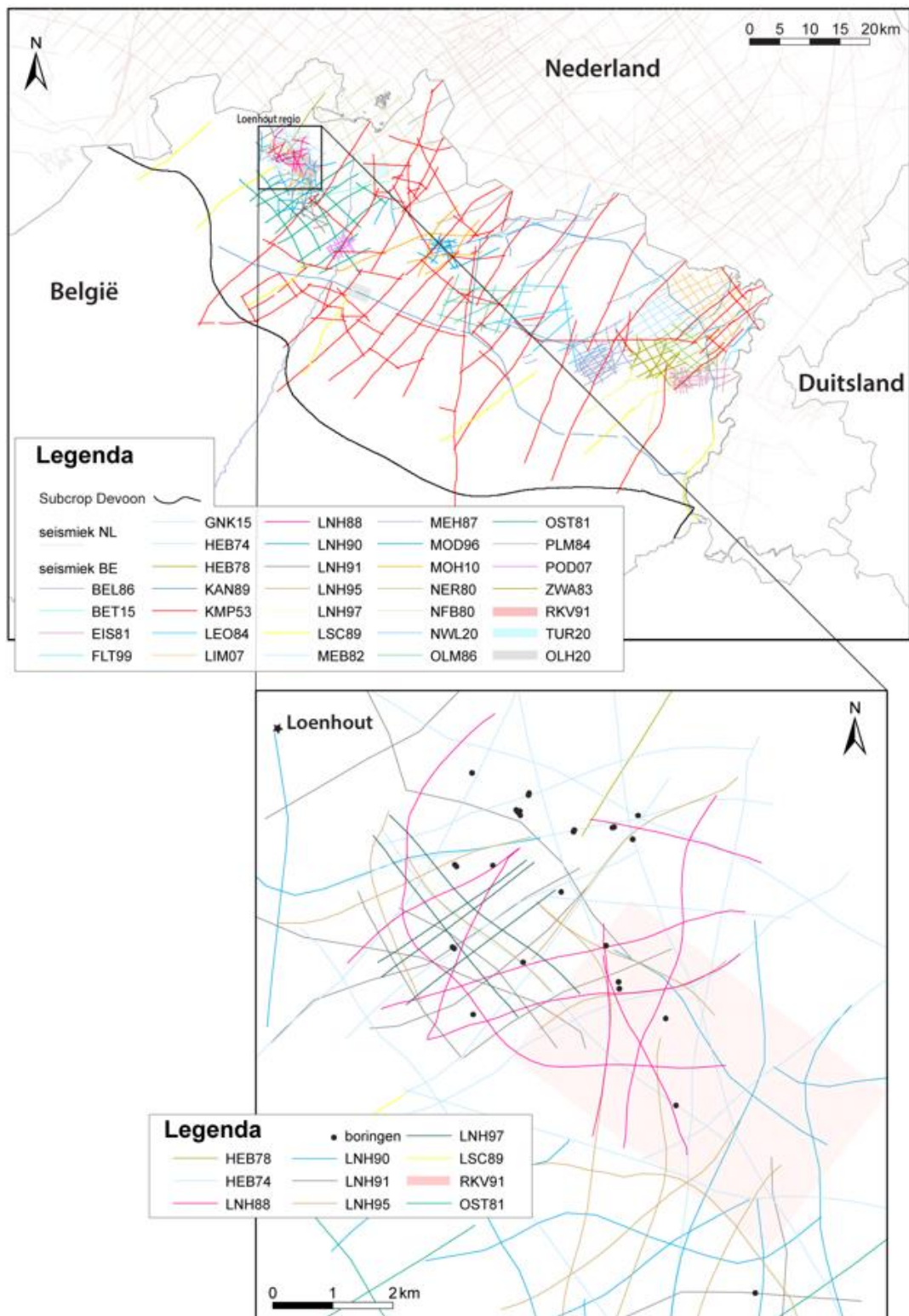
2.3 Seismische data

2.3.1 Bestaande seismische gegevens

Binnen het studiegebied is er beschikking over zowel 2D als 3D seismische data. De talrijke 2D seismische data waren beschikbaar uit de databanken van BGD, HITA (confidentieel), Fluxys (confidentieel) en VITO (confidentieel en publiek). De publieke data uit de databank van VITO betreft de Beerse-Turnhout 2015, Genk 2015 en Noordwest Limburg 2020 campagnes. Nederlandse publieke seismische data zijn beschikbaar in de databank van NLOG. In functie van de H3O-De Roerdalslenk (Deckers et al., 2014) en H3O-De Kempen (Vernes et al., 2018) projecten alsook het G3Dv3-model (Deckers et al., 2019), werden heel wat van deze seismische data al vectorieel beschikbaar gemaakt. De 3D seismische data zijn beperkt tot de regio Heibaart, dewelke vectorieel beschikbaar is uit de confidentiële databank van Fluxys, en twee kleinere gebieden met semi-3D data (dens netwerk van 2D lijnen omgezet naar 3D volume) in Herentals-Olen en Turnhout, dewelke in 2021 beschikbaar werden uit de confidentiële databank van HITA. Daarnaast zijn er in 2021 ook nog twee 2D seismische campagnes ter beschikking gekomen, namelijk deze van de Noordwest Limburg campagne (uitgevoerd in het kader van de uitrol van Diepe Geothermische Energie in noordwest Europa of kortweg DGE rollout: <https://www.nweurope.eu/projects/project-search/dge-rollout-roll-out-of-deep-geothermal-energy-in-nwe/>) bestaande uit drie seismische lijnen, en deze van het Nederlandse SCAN (Seismische Campagne Aardwarmte Nederland) project (<https://scanaardwarmte.nl/>), waarvan een zestal lijnen net over de grens starten. Een overzicht van de gebruikte seismische data in Vlaanderen is weergegeven in Tabel 2 en hun locatie in Figuur 3.

Tabel 2: Overzicht van de gebruikte seismische campagnes van oud naar jong, hun beoogd dieptebereik en de kwaliteit voor het Dinantiaan/Devoon bereik.

Seismische campagne	Afkorting	Beoogd dieptebereik	Kwaliteit Dinantiaan-Devoon
Campagne 1953 - 1956	KMP53	Diep	Slecht
Loenhout 1974	HEB74	Diep	Matig
Loenhout 1978	HEB78	Diep	Matig
Northern flank Brabant Massif 1980	NFB80	Diep	Matig
Neeroeteren - Rotem 1980 - 1981	NER80	Diep	Onbruikbaar
Eisden 1981	EIS81	Diep	Slecht
Oostmalle 1981	OST81	Diep	Zeer goed
Meeuwen - Bree 1982	MEB82	Diep	Onbruikbaar
Zwartberg - Opglabbeek 1983	ZWA83	Diep	Onbruikbaar
Leopoldsburg 1984	LEO84	Diep	Slecht
Poppel - Lommel - Maaseik 1984	PLM84	Ondiep	Onbruikbaar
BELCORP 1986	BEL86	Heel diep (MOHO)	Matig
Olmen - Meerhout 1986	OLM86	Diep	Matig
Meeuwen - Hechtel 1987	MEH87	Diep	Slecht
Loenhout 1988	LNH88	Diep	Goed
Limestone subcrop 1989	LSC89	Diep	Matig
Rivers and Canals 89-96	KAN89	Ondiep	Onbruikbaar (wel karst)
Loenhout 1990	LNH90	Diep	Goed
Loenhout 1991	LNH91	Diep	Goed
Rijkevorsel 1991 3D	RKV91	Diep	Goed
Loenhout 1995	LNH95	Diep	Goed
Ondraf-NIRAS 1996	MOD96	Ondiep	Onbruikbaar
Loenhout 1997	LNH97	Diep	Goed
Flt 1999	FLT99	Heel ondiep	Onbruikbaar
Poederlee 2007	POD07	Diep	Matig
Limburg 2007	LIM07	Diep	Slecht
Mol-Herentals 2010	MOH10	Diep	Goed
Beerse-Turnhout 2015	BET15	Diep	Goed
Genk 2015	GNK15	Diep	Matig
Noordwest Limburg 2020	NWL20	Diep	Matig
Turnhout 3D	TUR20	Diep	Goed
Olen-Herentals 3D	OLH20	Diep	Goed



Figuur 3: Overzicht van de verschillende seismische campagnes die geïnventariseerd werden voor dit project, met rechtsonder een vergroting van het gebied rond Heibaart waar een bijzonder hoge densiteit aan seismische lijnen is. Let op de beperkte seismische bedekking in het noordoosten, westen en zuiden van het Bekken van de Kempen. Als aanvulling worden net over de grens van Vlaanderen ook de Nederlandse seismische data weergegeven.

Hierbij valt op dat er geen evenwichtige verdeling is van de seismische bedekking binnen het studiegebied. De aanwezigheid van een grotere bedekking door seismische data zal zich algemeen ook vertalen in een groter detail en grotere zekerheid van de resulterende modellen van de breuk- en laagvlakken van deze gebieden, abstractie makende van 1) de kwaliteit van deze seismische data, 2) de nabijheid van boringen en 3) het beoogde bereik van de seismische campagne. De kwaliteit van de verschillende seismische campagnes en het beoogde dieptebereik is weergegeven in Tabel 2 en de aanwezigheid van boringen is weergegeven in Figuur 2.

De kwaliteit van de seismische data wordt doorgaans door een aantal factoren bepaald:

- De ouderdom. Een algemene regel is: hoe jonger de campagnes, hoe beter de acquisitie- en processingtechnieken en -tools. Het jaartal van uitvoering van de verschillende seismische campagnes zit al in hun naamgeving verwerkt in Tabel 2.
- Het doel van deze campagnes. Seismische campagnes die bedoeld zijn voor de studie van het ondiepe bereik (Cenozoïcum) hebben een hoge resolutie en goede kwaliteit tot enkele 100-en milliseconden, maar een slechte kwaliteit voor het diepere bereik van het Devoon en Dinantiaan.
- De diepte van het Devoon en Dinantiaan. Algemeen vermindert de kwaliteit van de seismische data met diepte door absorptie van de uitgestuurde trillingen. Hierdoor zal het detail dat geïnterpreteerd kan worden dus ook automatisch verminderen met de diepte. Snelle absorptie van de trillingen is vooral een probleem bij sterk samendrukbare lagen zoals bijvoorbeeld veen en kool, maar ook bij andere sterke lithologische contrasten gaat veel van de uitgestuurde energie verloren.
- Structurele complexiteit en sterke helling van lagen zullen leiden tot een sneller kwaliteitsverlies met diepte, zeker bij 2D lijnen. In deze settings zal het uitgezonden signaal veel meer verspreid worden, en is het dus gewenst om in alle mogelijke richtingen, dus preferentieel in 3D, het signaal terug te ontvangen om zo een beter beeld te kunnen reconstrueren.
- Het type processing. Sommige seismische lijnen zijn na hun uitvoering nog gereproceest geweest om een betere beeldvorming te verkrijgen voor een bepaald bereik. Zo werd de seismische campagne van Oostmalle gereproceest met onder andere de Common Reflection Surface (CRS) methode om een beter beeld te krijgen van complexe, hellende structuren in het Dinantiaan, zoals build-up structuren (Endres & Bezouska, 2007). Door deze reprocessing is de kwaliteit van de Oostmalle seismische campagne significant verbeterd voor het bereik van het Devoon en Dinantiaan.

De aanwezigheid van een boring maakt dat de seismische reflecties met grotere mate van zekerheid geïnterpreteerd kunnen worden. Hoe groter de afstand tot de boring, hoe onzekerder de seismische interpretaties algemeen worden. Dit is zeker het geval wanneer de ondergrond complex is opgebouwd.

Voor het gebruik van deze seismische data, met name het correct inladen, interpreteren en verder gebruik in de modellering, wordt veelal gesteund op specifiek daarvoor ontworpen softwarepakketten. Net zoals voor het G3Dv3-model, werd hiervoor nu ook gesteund op het GOCAD-softwarepakket. In GOCAD waren voor het G3Dv3-model ook reeds alle seismische data ingeladen en correct gepositioneerd ten opzichte van de referentiehoogte (0 m T.A.W.) en polariteit (voorstelling van impedantiecontrasten). Deze data kunnen voor het huidige model volledig overgenomen worden. Nieuwe seismische campagnes (na 2018) en de seismische lijnen van Fluxys die eerder nog niet ingeladen waren voor het G3Dv3-model, zijn nu ook correct gepositioneerd. De positionering van de nieuwe lijnen is gebaseerd op deze van de eerder - in functie van het G3Dv3-model - correct gepositioneerde snijdende seismische lijnen.

2.3.2 Reprocessing

Vanwege de goede resultaten die bekomen werden bij de reprocessing van de seismische campagne van Oostmalle 1981 en delen van de campagnes van Loenhout 1990 en 1991 voor het Dinantiaan in het kader van de verkennende studie voor FLUXYS (Laenen et al., 2007), is er besloten om voor dit project ook seismische lijnen te laten reprocessen. Door budgettaire beperkingen, kunnen niet alle interessante seismische lijnen gereprocesst worden. Er dient daarom een prioritering gemaakt te worden op basis van afwegingen. Om deze afwegingen zo reproduceerbaar mogelijk te kunnen uitvoeren, zijn deze gemaakt op basis van criteria die het meest relevant geacht werden om de meerwaarde van reprocessing te bepalen. Hieronder volgt een opsomming van vier criteria die als initieel uitgangspunt zijn gebruikt voor prioritering van het reprocessen van seismische lijnen. Elk criterium krijgt een score. De som van de scores voor elke seismische lijn is gebruikt om te kijken hoe nuttig deze is voor reprocessing. Hoe hoger de score, hoe nuttiger en meer prioritair deze is voor reprocessing.

1. Kwaliteit seismische data voor het Dinantiaan: De mate waarin het mogelijk is om reflectoren rondom de top Dinantiaan nu reeds te vervolgen. Voor de inschatting van de diepte van het Dinantiaan wordt het G3Dv3-model gebruikt. Voor elke seismische lijn wordt de kwaliteit beoordeeld op basis van de meest kwalitatieve post-stack versie, of met andere woorden de versie met de meest geavanceerde (re)processing.
 - Onbruikbaar: reflecties in de buurt van de top Dinantiaan zijn helemaal niet te zien of te vervolgen. Dit gaat voornamelijk over de seismiek die geschoten is in functie van het Cenozoïcum (bijvoorbeeld Kanalenseismiek en Poppel-Lommel-Maaseik campagnes) en/of waar het Dinantiaan te diep gelegen is (bijvoorbeeld Meeuwen-Bree en Neeroeteren-Rotem campagnes in het uiterste oosten van Vlaanderen).
 - Slecht: reflecties zijn matig vervolgbaar aan en rondom de top Dinantiaan, en veelal slecht of niet vervolgbaar over breukzones of sterk verstoorde zones. Hieronder valt een groot deel van de seismische data van de Campine Basin campagne van 1953-1956.
 - Matig: reflecties zijn redelijk tot goed vervolgbaar tot aan en rondom de top van het Dinantiaan. Een groot deel van de seismische data uit de jaren '70, '80 en '90, die in gebieden liggen waar de top van het Dinantiaan tot slechts enkele honderden milliseconde onder de basis van de Krijtgroep gelegen is, vallen hieronder.
 - Goed: reflecties zijn goed vervolgbaar tot de top van het Dinantiaan, en ook in het Dinantiaan en Devoon zijn vaak reeds zaken te onderscheiden. Dit gaat meestal over reeds gereproceste seismiek, een deel van de seismiek van de laatste 15 jaar en een beperkt deel uit de jaren 80 en 90. De top van het Dinantiaan kan hierbij tot meer dan duizend milliseconde onder de basis van de Krijtgroep gelegen zijn.
2. Seismische lijnen die langs of nabij (< 1000 m) een boring gelegen zijn die het Dinantiaan aansnijdt (Ja = nabij boring die Dinantiaan aansnijdt; Nee = niet gelegen nabij boring die Dinantiaan aansnijdt).

3. Doorkruisen van belangrijke, gekende of vermoedelijke structuren of sedimentologische overgangen in het Dinantiaan/Devoon (Ja = belangrijke structuur gekend of vermoed in Dinantiaan/Devoon; Nee = geen belangrijke structuur gekend of vermoed). De gekende structuren omvatten de Breuk van Hoogstraten, grotere karst en rifstructuren (bijvoorbeeld de Loenhout structuur en Poederlee structuur). De overgang van carbonaatplatformen naar (sub)bekkens via een al dan niet steile helling of slope is enkel goed gekend aan de breuk van Hoogstraten.

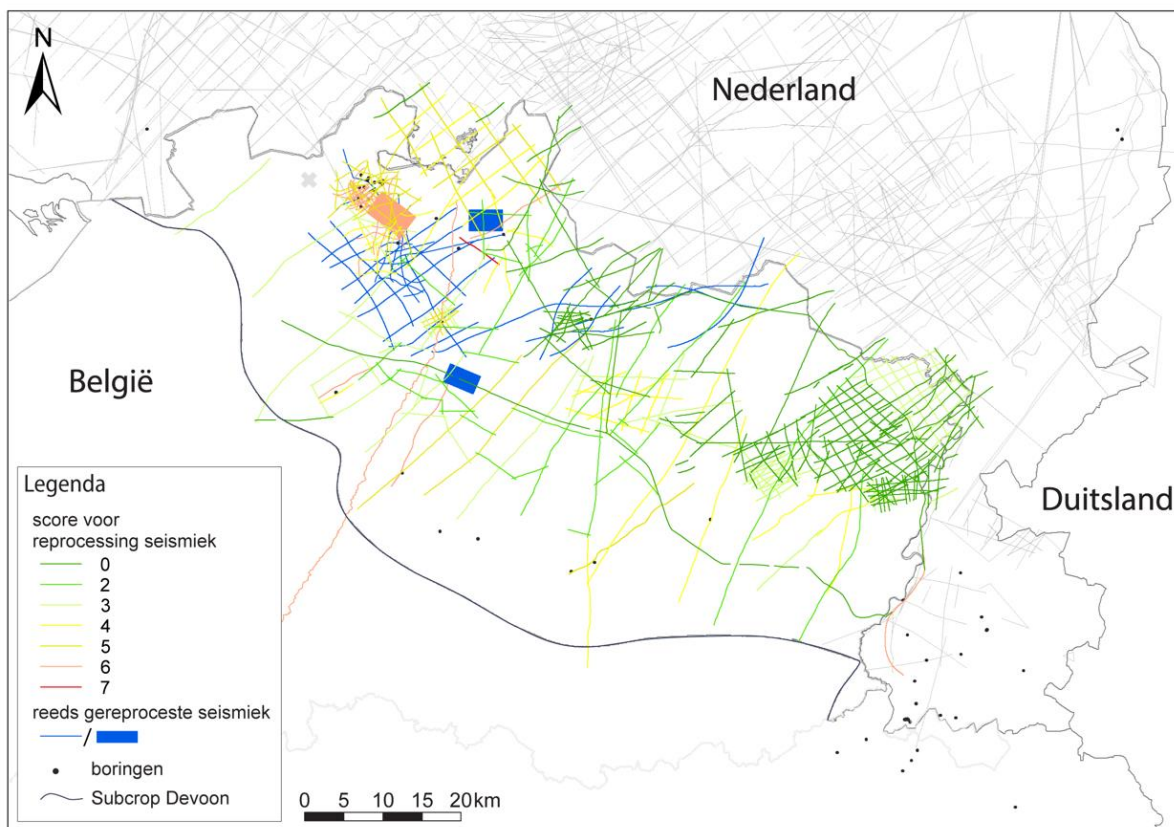
Andere locaties van slopes zijn onbekend, maar Deckers et al. (2019) brachten het idee naar voor dat ze samen zouden kunnen vallen met belangrijke veranderingen in de gravimetrie aan de Breuken van Rauw en Neeroeteren.

4. Er zijn bepaalde regio's waar al clusters van gereproceste en recente seismische lijnen voorhanden zijn. Dit betreft voornamelijk de driehoek tussen Loenhout, Vorselaar en Turnhout. In tegenstelling tot de gebieden daarrond waar veel minder (nieuwe en gereproceste) seismische data voorhanden zijn, is het in deze zone wel reeds mogelijk om intra-Dinantiaan en -Devoon trends te herkennen op seismische data. Daarom wordt voor de reprocessing voorrang gegeven aan seismische lijnen, die buiten deze clusters vallen (Ja = lijn buiten clustergebied; Nee = lijn binnen clustergebied).

Voor de vier hierboven beschreven criteria, zijn er verschillende scores opgemaakt. Sommige criteria dienen sterker door te wegen in het toekennen van scores, zoals de nabijheid van een boring. Daarom is de puntenverdeling van de scores niet gelijk voor elk criterium. Hieronder volgen de scores die toegekend werden per criterium aan de seismische lijnen:

1. Kwaliteit seismische data voor het Dinantiaan op 3 punten (3 = goed, 2 = matig, 1 = slecht, 0 = onbruikbaar).
2. Boring die het Dinantiaan aansnijdt op 2 punten (2 = Ja, 0 = Nee)
3. Gekende structuren in Dinantiaan/Devoon op 1 punt (1 = Ja, 0 = Nee)
4. Buiten de cluster op 1 punt (1 = Ja, 0 = Nee)

Criterium 1 zal bepalen of het al dan niet nuttig is om de seismische lijn te laten reprocessen met mogelijkheid tot succes voor het in beeld brengen van intra-Dinantiaan en -Devoon reflecties. Als criterium 1 gelijk is aan 0, is het niet nuttig om de seismische data te laten reprocessen. In dit geval is er ook geen score gegeven aan criteria 2, 3 en 4. Criteria 1 tot en met 4 samen geven een eerste indicatie welke lijnen het meest nuttig zijn voor het uitvoeren van reprocessing. De scores zijn voor elke lijn weergegeven in Tabel 7 van de Bijlage en een algemeen overzicht hiervan in Figuur 4. Hoe hoger de score, hoe interessanter voor reprocessing.

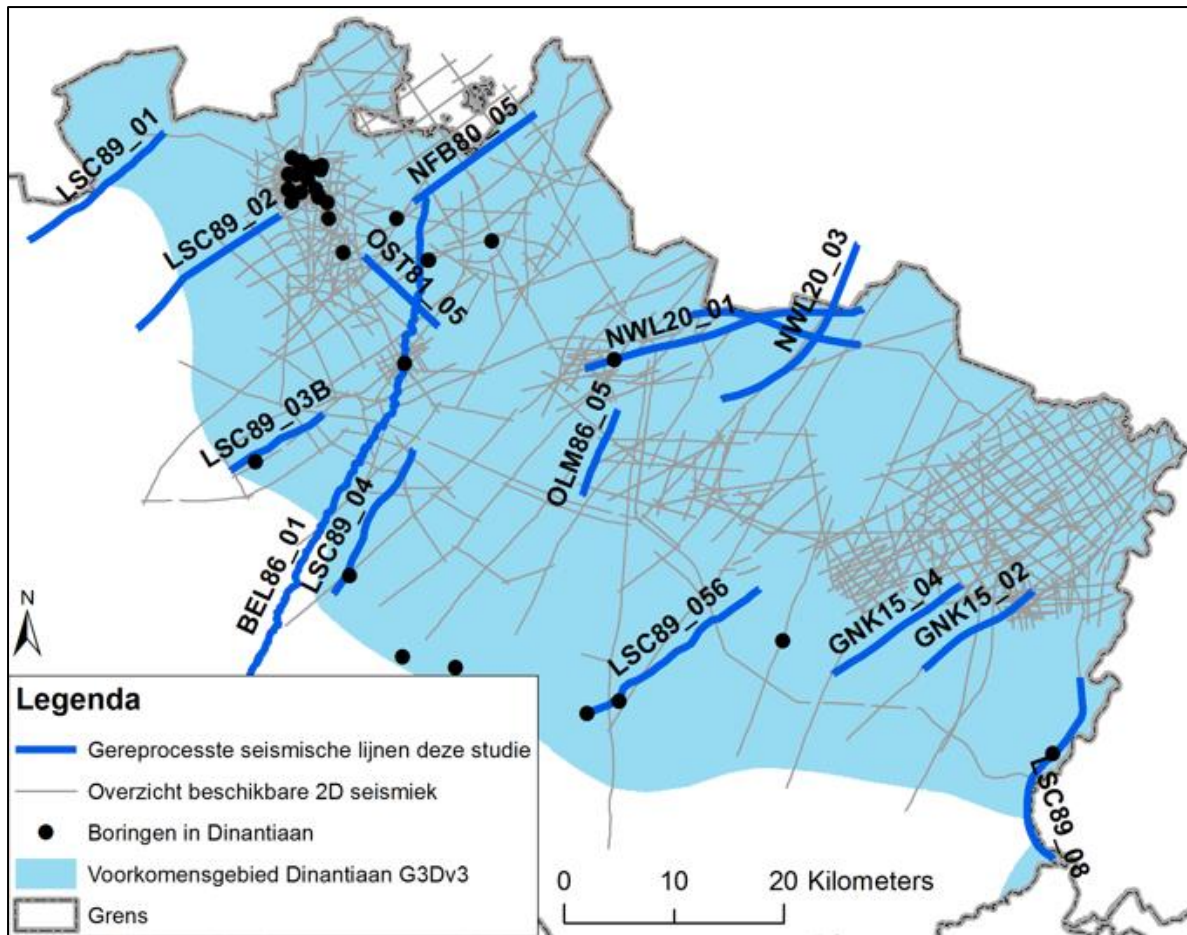


Figuur 4: Overzicht van de seismische lijnen en hun scores voor prioriteit voor reprocessing. Hoe hoger de score, hoe interessanter. De reeds ge(re)proceste data zijn weergegeven in het blauw.

Op basis van deze scores, de nog beschikbare bestanden en het beschikbare budget, is ervoor gekozen om vijftien seismische lijnen van verschillende campagnes te reprocessen. Tabel 3 geeft een overzicht van deze lijnen, en Figuur 5 van hun locatie.

Tabel 3: Opsomming van de voor deze studie gereproceste seismische lijnen.

Seismische campagne	Afkorting	Nummer gereproceste lijn
Northern flank Brabant Massif 1980	NFB80	05
Oostmalle 1981	OST81	05
BELCORP 1986	BEL86	01
Olmen - Meerhout 1986	OLM86	05
Limestone subcrop 1989	LSC89	01, 02,03b, 04, 08, 56
Genk 2015	GNK15	02, 04
Noordwest Limburg 2020	NWL20	01, 02, 03



Figuur 5: Overzicht van de ligging van de seismische lijnen die voor deze studie gereprocesst zijn.

2.4 Geologische modellen

Als uitgangssituatie voor het interpreteren en latere modelleren van het Devoon en Dinantiaan kan er tenslotte vertrokken worden van de interpretaties en modellen van diezelfde eenheden uit het G3Dv3-model. Als referentievlak wordt de basis van de Krijtgroep uit het G3Dv3-model gebruikt. Dit basisvlak wordt exact overgenomen en alle data daaronder kan gebruikt en eventueel aangepast worden. Van het G3Dv3-model onder de basis van de Krijtgroep werden volgende zaken gebruikt:

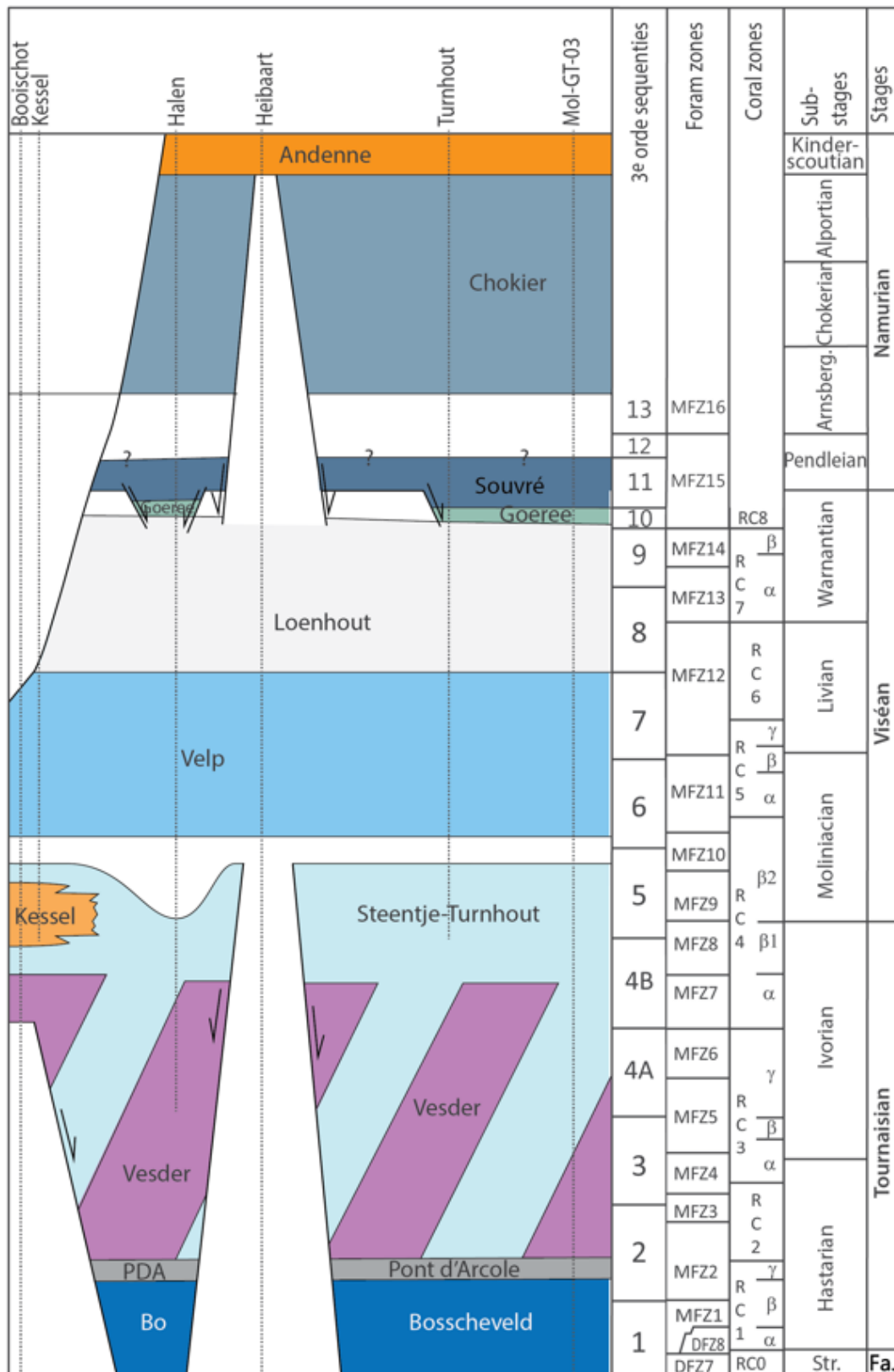
- Boorinterpretaties voor de top van het Dinantiaan in diepte en tijd (via omzetting door het snelheidsmodel).
- De seismische interpretaties van de top van het Dinantiaan.
- Het V_0 -snelheidsmodel voor het Westfaliaan en Namuriaan.
- De 3D snelheidsvoxel van het Westfaliaan en Namuriaan.
- 3D breukvlakken van het Westfaliaan en Namuriaan opgemaakt in tijd en diepte.
- 3D laagvlakken in tijd tot aan de top van het Dinantiaan en in diepte tot aan de basis van het Devoon.

3 WERKWIJZE EN RESULTATEN INTERPRETATIES BORINGEN

3.1 Algemeen

Voor het Devoon zijn er slechts een beperkt aantal lithostratigrafische eenheden geïdentificeerd in het Bekken van de Kempen. Al deze eenheden, met uitzondering van de Formatie van Booischot, zijn gedefinieerd in Wallonië. Dat betreft van oud naar jong de formaties van Huccorgne (in Vlaanderen enkel aangetroffen in boring Heibaart; Lagrou & Coen-Aubert, 2017), Aisemont, Falisolle en Evieux. De Formatie van Booischot is beperkt tot het Bekken van de Kempen en gedefinieerd in de boring Booischot door Lagrou en Laenen (2015). Ook de onderkant van de Formatie van Bosscheveld kan een Devoon ouderdom hebben, en is beperkt tot het Bekken van de Kempen (Lagrou & Laenen, 2014).

Voor het Dinantiaan van het Bekken van de Kempen werd er reeds een gedetailleerd lithostratigrafisch kader voorzien door Lagrou en Laenen (2014) op basis van het werk door Laenen (2003). Hierin worden de belangrijkste lithologische pakketten onderscheiden en gedefinieerd op basis van hun lithologie en log-signatuur, met verwijzing naar referentieboringen in het Bekken van de Kempen of daarbuiten. Op basis van destijds bestaande dateringen, werden deze lithostratigrafische eenheden in een tijdsschema weergegeven. Recent werden echter heel wat boringen in het Bekken van de Kempen biostratigrafisch herzien in de studie van Hance (2022). Op basis van diens werk moet de tijdsindeling in de lithostratigrafische overzichtsfiguur herzien worden, vooral onderin voor het Tournaisiaan en oudste Viseaan dat nu veel prominenter aanwezig is. Voor deze studie is er daarom een nieuwe overzichtsfiguur opgemaakt, zie Figuur 6. In de paragrafen hieronder wordt verder ingegaan op de lithostratigrafische en biostratigrafische data die gebruikt werden om dit schema op te maken. Tenslotte wordt er in dit hoofdstuk op basis van de lithostratigrafische en biostratigrafische data, een sequentiestratigrafisch model voorgesteld. Dit sequentiestratigrafisch kader steunt sterk op datgene dat al in detail werd uitgewerkt voor Wallonië. Daarom zijn de 3^e-orde sequenties die in Wallonië herkend worden, ook op Figuur 6 weergegeven.



Figuur 6: Overzichtsschema van de litho- en bio- en chronostratigrafie van het Dinantiaan en onderkant van het Namuriaan in het Bekken van de Kempen. De litho- en chronostratigrafie is op basis van Lagrou en Laenen (2014) en de biostratigrafie vooral op basis van Hance (2022). De belangrijkste sequenties (op basis van Poty, 2016) en tektonische fases zijn ook weergegeven. Voor de Formatie van Goeree zijn de interpretaties grotendeels nieuw, zie paragraaf 3.1.3.

De publieke boringen die het Dinantiaan doorboorden en uitgevoerd werden voor 2003, zijn lithostratigrafisch geïnterpreteerd en geïllustreerd door Laenen (2003). Dit werk lag ook aan de basis van de invoering van een nieuwe formele stratigrafie van de Nationale Commissie voor Stratigrafie van Lagrou en Laenen (2014). Hierin werden voor het Dinantiaan van het Bekken van de Kempen de formaties van Bosscheveld, Pont d'Arcole, Vesder, Steentje-Turnhout, Kessel, Velp, Loenhout, Goeree en tenslotte Souvré geïnterpreteerd. Daarvan werden de formaties van Steentje-Turnhout, Kessel, Velp en Loenhout specifiek voor het Bekken van de Kempen geïntroduceerd. De formaties van Bosscheveld en Goeree zijn afkomstig uit de Nederlandse stratigrafie of uit Van Adrichem Boogaert & Kouwe (1994) en de formaties van Pont d'Arcole en Vesder zijn in Wallonië formeel gedefinieerd door Poty et al. (2002).

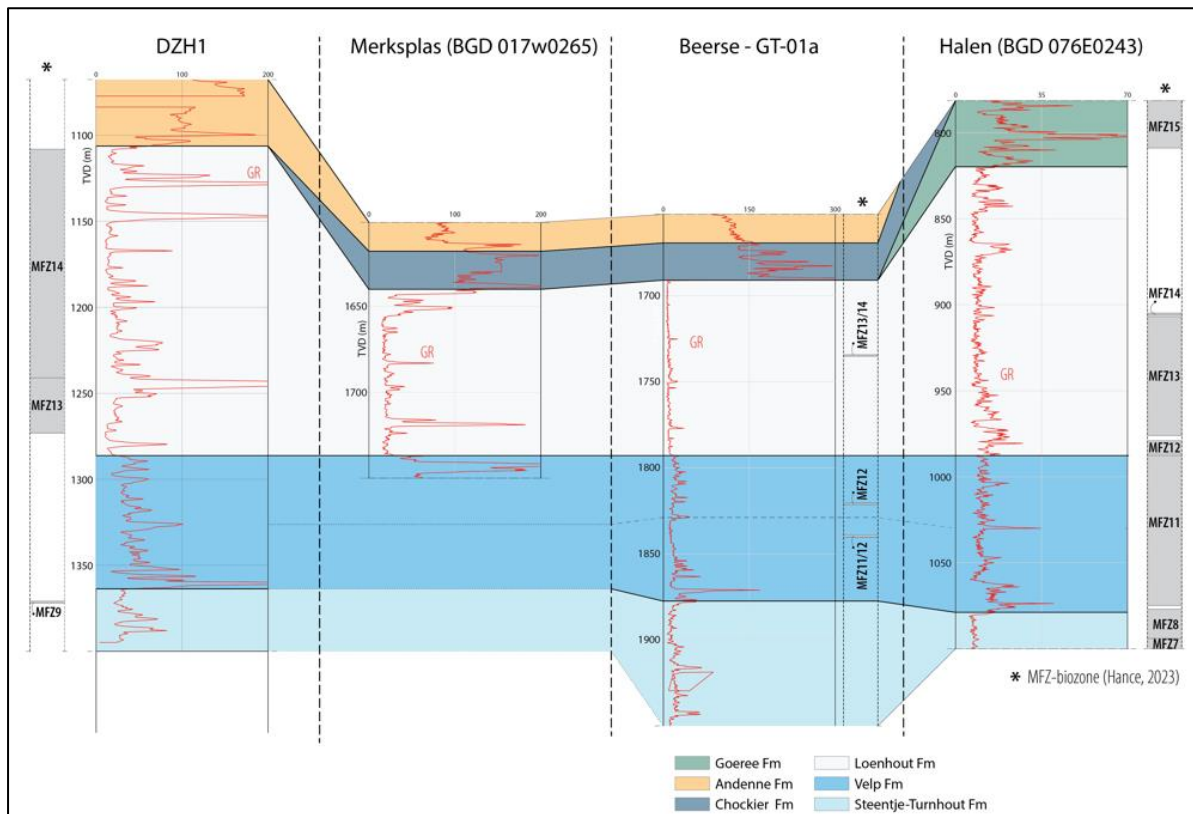
Voor de interpretaties van boringen in functie van de huidige studie is - voor de boringen die uitgevoerd werden voor 2003 - grotendeels uitgegaan van de interpretaties van Laenen (2003). Een uitzondering is de bovenkant van de Formatie van Loenhout die in boringen Halen en Turnhout werd geherinterpreteerd als de Formatie van Goeree, zie paragraaf 3.1.3 hieronder. De boringen die uitgevoerd werden na 2003, of deze van Mol-GT en Beerse-GT, zijn aan de bestaande set van Laenen (2003) toegevoegd. Hun interpretaties zijn afkomstig uit DOV en/of aangepast in de huidige studie. Hieronder worden hun interpretaties besproken in paragrafen 3.1.1 en 3.1.2.

3.1.1 Interpretatie van het Dinantiaan in de Mol-GT-boringen

Mol-GT-03 doorboort het gehele Dinantiaan en is daardoor de referentie voor stratigrafische interpretatie van de andere (Mol-GT-01 en -02) boringen. Mol-GT-01 heeft heel wat intervallen met spoelingsverliezen, waardoor deze minder geschikt is als referentie. Deze is echter wel voorzien van een gekernde sectie van het Dinantiaan en enkele biostratigrafisch gedateerde intervallen door Hance (2018). Omdat de beschrijving van monsters heel summier is en grote intervallen bestrijken, wordt voor de interpretatie van deze boringen sterk gesteund op de logs die aanwezig zijn, en vooral dan de gamma-ray-logs. In de boring Mol-GT-03 zijn de formaties van Souvré, Goeree, Loenhout, Velp?, Steentje-Turnhout, Vesder, Pont d'Arcole, Bosscheveld en Evieux geïnterpreteerd door Bos (2018). De interpretaties van de formaties van Evieux, Bosscheveld, Pont d'Arcole en Vesder onderin de boring zijn behoorlijk eenduidig vanwege hun duidelijk onderscheidbaar lithologisch karakter. De interpretaties van bovenliggende formaties van Steentje-Turnhout, Velp en Loenhout zijn niet heel eenduidig omdat het lithologische onderscheid ertussen eerder subtiel is, de beschrijvingen summier zijn en ook de log-signatuur tussen deze eenheden niet noodzakelijk sterk varieert. Boven de Formatie van Loenhout interpreteerde Bos (2018) in boring Mol-GT-03 de Formatie van Goeree tussen 3643 m en 3712.50 m along hole (AH). Op een diepte van 3712.5 m zien we inderdaad de start van een opwaartse stijging in gamma-straling die de Formatie van Goeree typeert. De Formatie van Souvré wordt tussen 3563.7 m en 3648 m AH geïnterpreteerd en de Formatie van Chokier tussen 3548 m en 3563.7 m AH. Op 3648 m is er inderdaad een belangrijke opwaartse toename in gamma-straling die samenvalt met een vermindering van kalkgehalte, wat de basis van de Formatie van Souvré typisch voorstelt. De grens tussen de formaties van Souvré en Chokier is daarentegen niet heel eenduidig vast te stellen en zou ook lager kunnen liggen. Op basis van de interpretaties van Bos (2018) is de Formatie van Chokier met 11 m TVD namelijk opvallend dun in vergelijking met andere boringen, zeker gezien de grote relatieve diktes van de formaties van Goeree en Souvré daaronder.

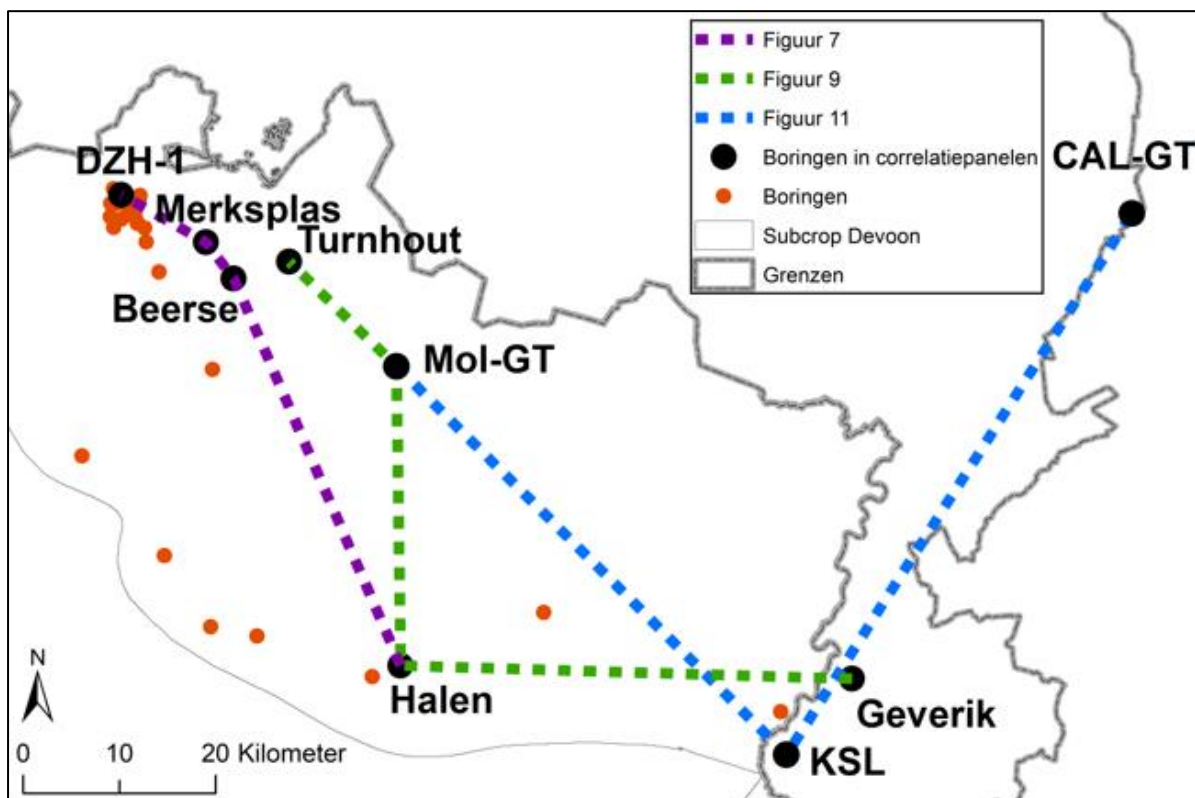
3.1.2 Interpretatie van het Dinantiaan in de Beerse-GT-boringen

Net zoals voor de boringen van Mol, zijn de beschrijving van de monsters van de boringen van Beerse heel summier en bestrijken ze grote intervallen, waardoor voor hun interpretatie sterk gesteund wordt op de logs die aanwezig zijn, en vooral dan de gammastraling log. Voor de interpretatie wordt dan ook gesteund op log-correlaties en biostratigrafische correlaties met andere boringen in het Bekken van de Kempen, zoals voorgesteld in Figuur 7. In tegenstelling tot de Mol-GT-03 boring, bereiken de boringen van Beerse niet de basis van het Dinantiaan. Ze stoppen allemaal in een interval dat geïnterpreteerd wordt als de Formatie van Steentje-Turnhout. Ongeveer 100 m onder de top van het Dinantiaan is er een zone aanwezig van een 50-tal meter dik met wat hogere gammastraling (Figuur 7). Deze hogere gammastraling wijst op een hoger kleigehalte, dewelke geassocieerd wordt met de Formatie van Velp. Op basis van dateringen van Luc Hance (pers. comm.) zou dit pakket een MFZ12 ouderdom hebben, wat inderdaad overeenkomt met de ouderdom van de Formatie van Velp zoals vastgesteld in de nabijgelegen boring Turnhout waar betere monsters van deze eenheid bewaard van zijn gebleven. Een 40-tal meter dieper is er een grote gammastraling-piek waar te nemen, waar Panterra (2023) een belangrijke trendverandering ziet en de basis van de Formatie van Velp legt (Figuur 7). Dit impliceert dat de datering van MFZ11 nog tot de Formatie van Velp zou behoren. Dit is consistent met de datering van de Formatie van Velp in boring Halen (zie Hance, 2022), waar deze eenheid gedefinieerd is. Ook zou de dikte van de Formatie van Velp in boring Beerse-GT-01a met 80 m beter aansluiten bij de dikte ervan in boring DZH-1 (Van der Voet et al., 2020a) en de bijna 100 m ervan in boring Halen (Figuur 7).



Figuur 7: Interpretatie en correlatie van de formaties van Loenhout en Velp in en tussen enkele belangrijke boringen in het Bekken van de Kempen. De boring van Halen is het stratotype van de Formatie van Velp en parastratotype van de Formatie van Loenhout (Laenen, 2003). De biostratigrafische analyses (foraminiferen biozones) van Hance (2022) en Luc Hance (pers. comm.) zijn ook weergegeven. Voor locatie van dit paneel, zie Figuur 8.

Boven de top van de Formatie van Velp zakt de gammastraling tot hele lage waarden die representatief zijn voor zuivere kalksteen die inderdaad als wit tot lichtgrijs omschreven wordt (Figuur 7). Deze bleke kalkstenen in de top van het Dinantiaan behoren typisch tot de Formatie van Loenhout. Hun dikte is ongeveer 100 m in de Beerse-GT boringen en reikt tot aan de top van het Dinantiaan. In boring Beerse-GT-02 stijgt de gammastraling bovenin dit pakket, maar dat lijkt gerelateerd aan de invulling van een karstzone die daar zit op basis van de spoelingsverliezen in deze zone. In boringen Beerse-GT-01 is deze hogere gamma-straling in de top van het Dinantiaan dan ook afwezig. Op basis van dateringen van Luc Hance (pers. comm.) zouden delen van dit bleke, lage gammastralings-pakket een MFZ13 en -14 ouderdom hebben, wat inderdaad overeenkomt met de ouderdom van de Formatie van Loenhout zoals vastgesteld in boringen DZH1, Halen, Poederlee en Turnhout door Hance (2022). De formaties van Goeree en Souvré zijn niet geïnterpreteerd in de boringen van Beerse, al valt het niet uit te sluiten dat er enkele meters van deze eenheden aanwezig kunnen zijn. In boring Turnhout hebben beide formaties namelijk ook deels een lage gamma-log signatuur (zie Figuur 9), die eenvoudig verward kan worden met die van de onderliggende Formatie van Loenhout. Er werd ook een staal met foraminiferen van de MFZ15 biozone gevonden dieper in de boring Beerse-01a (Luc Hance, pers. comm.), hoogst waarschijnlijk door inspoeling in een karstzone, wat erop kan duiden dat bovenin de MFZ15 biozone aanwezig is – of ooit aanwezig geweest is – die typisch de formaties van Goeree en Souvré bestrijkt zoals in boring Turnhout. De lage-gammastraling in de top van het Dinantiaan wordt bovenin scherp begrensd door de heel hoge gamma-straling waarden van de organisch-rijke schalies van de Formatie van Chokier.



Figuur 8: Overzicht met de locatie van de boringen en correlatiepanelen ertussen van figuren 7, 9 en 11.

3.1.3 Interpretatie van de Formatie van Goeree in de boringen van Halen en Turnhout

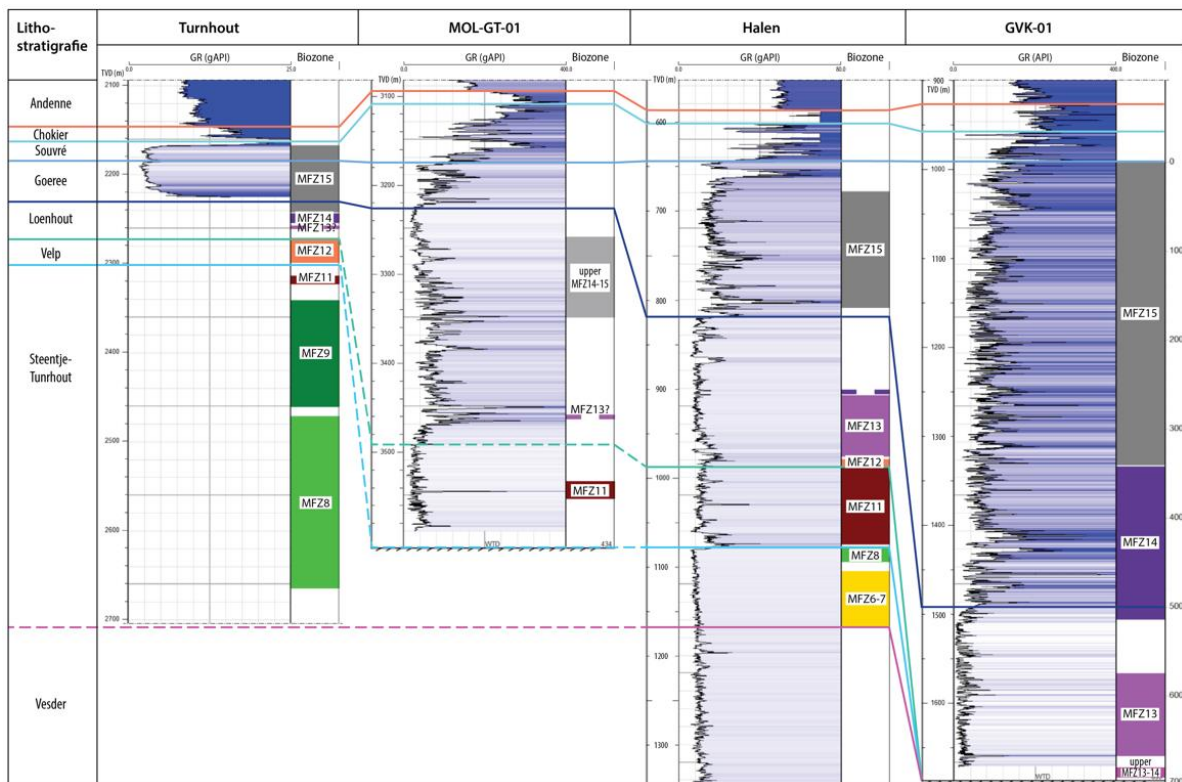
Volgens Laenen (2003) kan de Formatie van Goeree als volgt omschreven worden: ze *bestaat uit dun- tot dikgebankte, grijze tot zwarte kalkstenen en dolomieten, die dikwijls ten dele verkiezeld zijn. Naar boven toe wordt de formatie kleirijker met het voorkomen van carbonaatrijke of verkiezelde zwarte schiefers. In boring Geverik-1 gaat de formatie geleidelijk over in de verkiezelde schiefers en carbonaten van de overliggende Formatie van Souvré. De grens wordt getrokken aan de top van de laatste massieve kalksteen- of dolomietbank. De overgang verloopt echter geleidelijk. Boorgatmetingen kunnen helpen om in boringen de grens tussen beide formaties te trekken. Deze wordt gekenmerkt door een uitgesproken gammastraling piek en een terugval in de snelheid van akoestische golven. Naar onder toe gaat de Formatie van Goeree geleidelijk over in de bleke, massieve carbonaatgesteenten van de Formatie van Visé. De grens wordt getrokken op de plaats van de dominante kleur. Net als voor de bovengrens, is ook de ondergrens scherp te trekken op basis van een abrupte wijziging in gammastralingspatroon.*

Volgens Lagrou en Laenen (2014) zou de Formatie van Goeree niet voorkomen in Vlaanderen. Echter, de formatie werd wel reeds geïnterpreteerd in boring Halen (DOV [kb25d76e-B246](#); BGD 076e0243) door Duser (2007) en meer recent ook in boring Mol-GT-01 (DOV [B/1-102786](#)) door Van der Voet et al. (2020b). Beide observaties worden ondersteund door de recente sedimentologische studie van Panterra (2023). Verder zien we ook indicaties voor de aanwezigheid ervan in boring Turnhout. We zien volgende argumenten om de Formatie van Goeree in deze boringen te interpreteren:

- In boring Halen bestaat de bovenkant van het Dinantiaan onderin (tussen 780 m en 847 m) uit donkere en zwarte kalksteen die meer silicarijck is bovenin en meer kleiig onderin, met daarboven (tussen 645 m en 780 m) silicarijke kalksteen (Bless et al., 1976). Dit gehele interval stemt overeen met verhoogde gammastraling. Zowel de lithologische beschrijving als het gamma-logpatroon van deze afzettingen sluiten aan bij de formele beschrijving Formatie van Goeree.
- Voor boring Mol-GT-01 is er slechts een summiere boorbeschrijving beschikbaar. Er wordt beschreven dat er afwisselende lagen zijn van kleisteen en kalksteen, onder de kalkhoudende kleisteen van de Formatie van Souvré. Ook het opwaartse stijgende gammastralingspatroon richting de bovenliggende Formatie van Souvré wijst ook op de aanwezigheid van de Formatie van Goeree hier, zoals ook door Van der Voet et al. (2020b) werd geïnterpreteerd.
- In boring Turnhout worden bovenin het Dinantiaan volgende sedimenten beschreven: zwarte, fijnkorrelige kalksteen met chert met daarboven crinoïdale en schelpenrijke kalksteen en aan de top zwarte, dolomietische kalksteen (Bless et al., 1976). Deze beschrijving sluit eveneens aan bij deze van de Formatie van Goeree.

De stalen van de Formatie van Goeree zijn in boringen Halen en Turnhout gedateerd door Hance (2022) als behorende tot biozone MFZ15. In boring Halen is de onderkant van de Formatie van Goeree (809 tot 847 m) niet gedateerd, maar het interval daaronder (905-906 m) heeft een MFZ14 ouderdom. In boring Mol-GT-01 is de Formatie van Goeree niet gedateerd, maar heeft het interval eronder een boven-MFZ14/MFZ15 ouderdom op basis van Hance (2018). Hierdoor kan geconcludeerd worden dat de Formatie van Goeree in het Bekken van de Kempen een MFZ15 ouderdom heeft. Dit stemt deels overeen met boring Geverik, het parastratotype van de Formatie van Goeree (Laenen, 2003), waar deze formatie ook grotendeels een MFZ15 ouderdom heeft op basis van Mathes-Schmidt (2000). Echter, onderin de Formatie van Goeree werd in boring Geverik nog een MFZ14 ouderdom bepaald.

Figuur 9 biedt een overzicht van de interpretatie van de Formatie van Goeree in de hierboven vermelde boringen.



Figuur 9: Interpretatie en correlatie van de Formatie van Goeree in boringen in het Bekken van de Kempen en hun correlatie naar boring Geverik in Nederland, wat het parastratotypen vormt van deze eenheid volgens het voorstel van Laenen (2003). De biostratigrafische analyses (foraminiferen biozones) van Hance (2018; 2022) zijn ook weergegeven voor de Belgische boringen. De biostratigrafie van boring Geverik is gebaseerd op Mathes-Schmidt (2000). Voor locatie van dit paneel, zie Figuur 8.

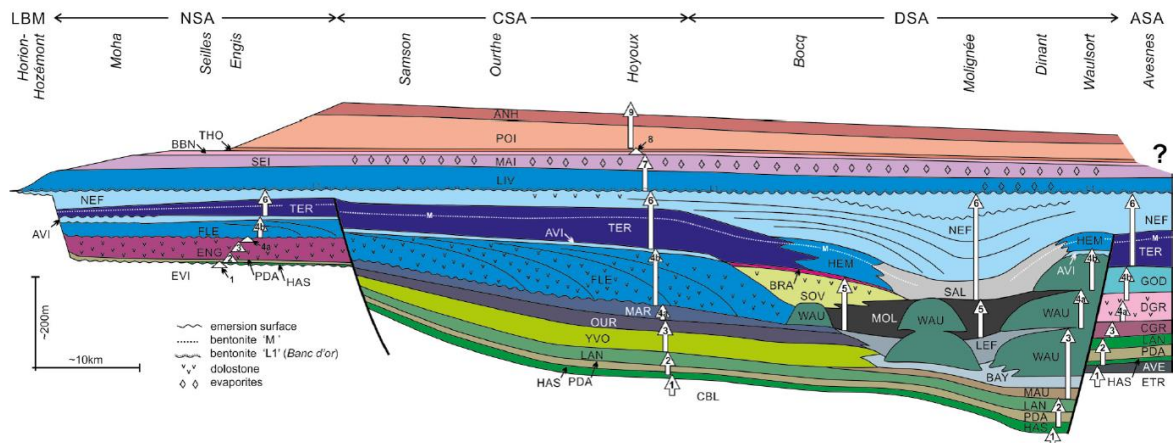
3.2 Biostratigrafie Dinantiaan

Naast lithostratigrafie, maakt biostratigrafie een belangrijk deel uit voor de opbouw van kennis over het Dinantiaan. Het meeste onderzoek ging daarbij uit naar foraminiferen en koralen, beide met hun aparte biozonatie schema's. Voor foraminiferen gebruikte men in de 20^e eeuw meestal een biozonatie schema met T1, V1a, V1b, V2a, etc. dat meer recent werd geüpdatet naar nieuwe schema's met MFZ (Mississippian Foraminiferen Zonering) codering. De oudere boringen zijn nog met het oude biozonatie schema gedateerd (bijvoorbeeld heel wat door Bless et al., 1976) en de meer recent uitgevoerde boringen met het nieuwe biozonatie schema. De omzetting van het ene schema naar het andere is niet altijd eenduidig. Recent heeft Hance (2022) echter heel wat van de beschikbare stalen van oudere boringen opnieuw biostratigrafisch geanalyseerd en via het meest recente biozonatie schema gedateerd. Het betreft de boringen van Booischot, Halen en Turnhout. Daarnaast heeft hij ook fragmentarisch gekeken naar boringen Beerse-GT-01, DZH-1 en Poederlee, dat werd niet in een rapport verwerkt, maar in powerpoint slides en verkregen via excel-tabellen, waardoor hiernaar verwezen wordt als Hance (pers. comm.). Zijn werk heeft heel wat belangrijke implicaties, zoals bijvoorbeeld dat hetgeen vroeger tot het oudste Viseaan of v1 gerekend werd, nu als Tournaisiaan is herzien. Hierdoor komt het Tournaisiaan meer voor in boringen van het Bekken van de Kempen dan eerder aangenomen. Zo wordt het nu vastgesteld in boringen Booischot, Halen en Turnhout door Hance (2022) en mogelijks ook in boring Beerse-GT-01a (Hance, pers. comm.).

Het werk van Hance (2022) laat nu ook een eenduidige correlatie toe naar Wallonië van waaruit het moderne biozonatie schema zijn oorsprong kent. Voor een gedetailleerd overzicht naar de beschikbare biostratigrafische data in het Bekken van de Kempen verwijzen we naar Panterra (2023).

3.3 Sequentiestratigrafisch model Dinantiaan

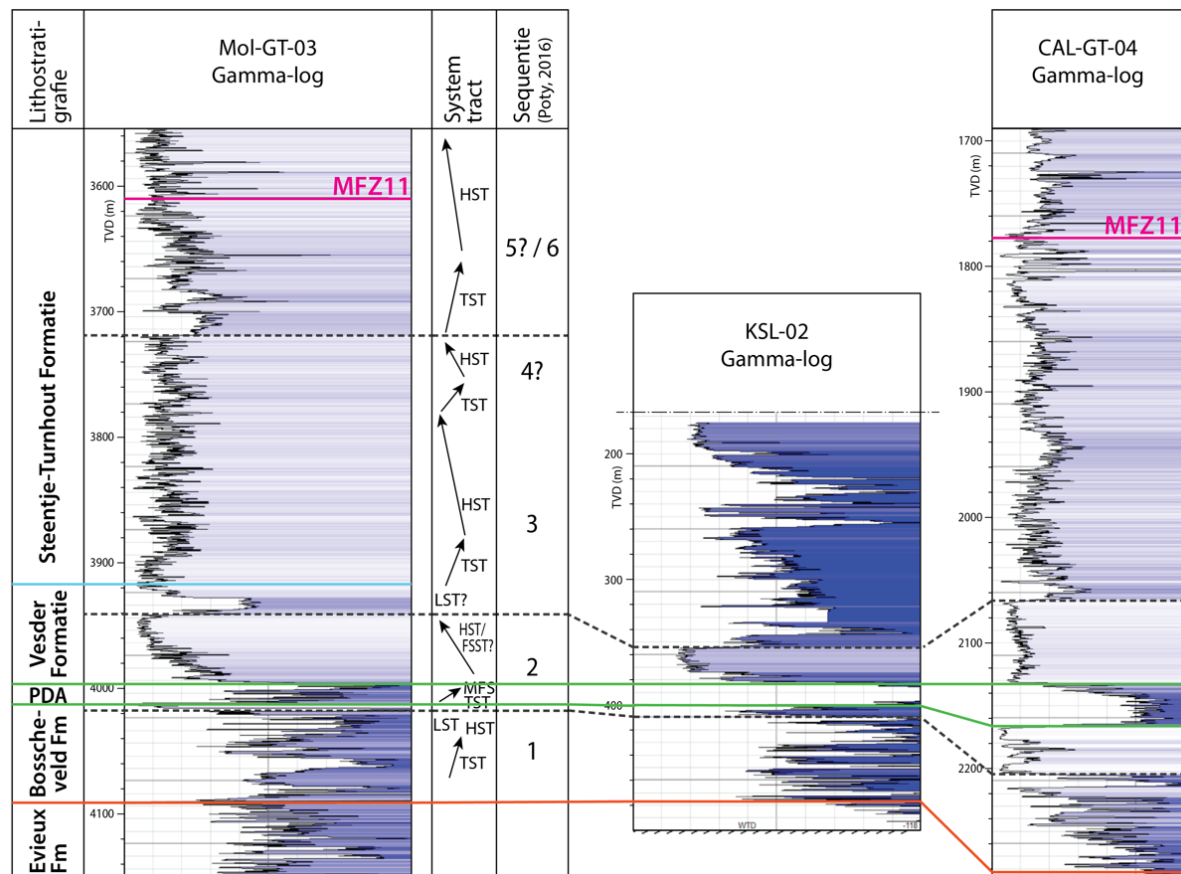
Vanwege het beperkte aantal data, is het sequentiestratigrafisch kader voor het Bekken van de Kempen niet onafhankelijk uitgewerkt. Het steunt op een sequentiestratigrafisch kader dat in Wallonië werd uitgewerkt voor het Dinantiaan door Hance et al. (2001, 2002), Poty et al. (2002, 2006) en Poty (2016) op basis van veel meer beschikbare datapunten, hoofdzakelijk ontsluitingen. Zo worden er binnen het Dinantiaan in Wallonië negen 3^e-orde sequenties herkend (Figuur 10). In het destijds dieper gelegen Rhenish Kulm Bekken worden er nog twee jongere Dinantiaan sequenties aan toegevoegd die in Wallonië minder bekend zijn of ontbreken (Herbig, 2016). Omdat dit regionale sequenties zijn, die vermoedelijk door eustatische zeespiegelbewegingen worden bepaald, kunnen ze ook verwacht worden in het Bekken van de Kempen. Het meest recente sequentiestratigrafisch overzicht wordt gegeven door Poty (2016) en Herbig (2016) en deze zullen dan ook als belangrijkste referentie gebruikt worden om dezelfde sequenties te proberen onderscheiden in het Bekken van de Kempen. Telkens zal daarbij de koppeling met de lithostratigrafie van het Bekken van de Kempen gemaakt worden. De lithostratigrafische eenheden die hierbinnen besproken worden, zijn in onderstaande paragrafen weergegeven in vet lettertype. Figuur 6 geeft een overzicht van deze lithostratigrafische eenheden met hun biostratigrafisch bepaalde ouderdom met de verschillende sequenties ernaast.



Figuur 10: Geometrie van de 9 sequenties van het Dinantiaan in Wallonië uit Poty (2016). De schaal is indicatief en niet exact. Afkortingen: ANH: Anhée Fm, AVE: Avesnelles Fm, AVI: Avins Lid, BAY: Bayard Fm, BAY: Bay-Bonnet Lid, BRA: Braibant Lid, CBL: Comblain-au-Pont Fm, CGR: Grives Kalksteen, CSA: Condroz sedimentation area, DGR: Grives Dolostone, DSA: Dinant sedimentation area, ENG: Engihoul Fm, ETR: Etroeungt Fm, EVI: Evieux Fm, FLE: Flémalle Lid, GOD: Godin Fm, HAS: Hastière Fm, HEM: Hemptinne Fm, LAN: Landelies Fm, LEF: Leffe Fm, LIV: Lives Fm, MAI: Maizeret Lid, MAR: Martinrive Fm, MAU: Maurenne Fm, MOL: Mollignée Fm, NEF: Neffe Fm, NSA: Namur sedimentation area, OUR: Ourthe Fm, PDA: Pont d'Arcole Fm, POI: Poilvache Fm, SAL: Salet Fm, SEI: Seilles Lid, SOV: Sovet Fm, TER: Terwagne Fm, THO: Thon-Samson Lid, WAU: Waulsort Fm, YVO: Yvoir Fm.

3.3.1 Tournaisiaan

Het Tournaisiaan van het Bekken van de Kempen is niet goed gekend. Dit komt omdat er weinig boringen dit hebben aangeboord, en nog minder deze volledig hebben doorboord. Tot voor kort werd het zelfs als quasi afwezig beschouwd, toch zeker in het westelijke deel (Lagrou & Laenen, 2014). Het is pas door de recente herziening van de bestaande biostratigrafische analyses van de boringen in het Dinantiaan door Hance (2022), dat het Tournaisiaan nu op meerdere plaatsen doorheen het Bekken van de Kempen wordt herkend. De bovengrens van het Tournaisiaan is namelijk naar boven toe opgeschoven, wat eerder biozone v1a was, wordt nu vaak als Tournaisiaan geherinterpreteerd (zie paragraaf 3.2). Als gevolg worden er nu Tournaisiaan biozones beschouwd in de meeste boringen die diep reiken in het Dinantiaan van het Bekken van de Kempen: Beerse-GT-01a, Booischot, Halen en Turnhout. In boring Mol-GT-03 wordt bovendien de Formatie van Pont d'Arcole bereikt, wat een onderste Tournaisiaan ouderdom heeft. De enige boring waar geen bewijs voor de aanwezigheid van Tournaisiaan afzettingen is gevonden, ondanks dat het gehele Dinantiaan is aangeboord, is boring Heibaart. Echter, op de grens tussen het Dinantiaan en Devoon is er een interval zonder stalen, waardoor het niet uit te sluiten valt dat er hier alsnog gecondenseerd en sterk verweerd Tournaisiaan aanwezig kan zijn. De enige boring in het Bekken van de Kempen die het oudste Tournaisiaan lijkt te bevatten, is boring Mol-GT-03. Om de oudste sequenties van het Tournaisiaan in het Bekken van de Kempen te kunnen beschrijven, is dit daarom een essentiële boring. Helaas zijn de beschrijvingen van de stalen van deze boring heel summier. Daarom wordt de gamma-ray log vooral gebruikt voor de herkenning van sequenties in deze boring (Figuur 11). Als referentiekader voor de gamma-ray log signatuur van het oudste Tournaisiaan in de regio wordt boring Kastanjelaan gebruikt. Boring Kastanjelaan is gelegen in Nederlands Limburg en de oudste eenheden van het Tournaisiaan worden erin beschreven en getoond met hun log-signatuur door Laenen (2003). Ook werd deze boring recent grondig onderzocht via het SCAN project (Mozafari et al., 2019). Naast boring Kastanjelaan, zijn er ook logs beschikbaar van de boringen Californië te Venlo, dewelke ook de grens van het Tournaisiaan en Devoon hebben doorboord (Figuur 11). De log patronen van deze boringen zullen gebruikt worden om de sequenties zoals gekend in Wallonië, ook te herkennen in boring Mol-GT-03 in het Bekken van de Kempen.



Figuur 11: Correlatiepaneel tussen het onderste Tournaisiaan in boring Californië CAL-GT-04 op het Venlo Blok (Nederland), boring Kastanjelaan (KSL) in de regio van Maastricht (Nederland) en boring Mol-GT-03. De datering van de MFZ11 biozone in boring Mol-GT-01 door Hance (2018) is via correlaties geprojecteerd op de diepere boring Mol-GT-03 voor deze figuur. Op een gelijkaardige manier is de datering van de MFZ11 biozone in boring CAL-GT-01 door Poty (2014) gecorrelleerd met boring CAL-GT-04 voor deze figuur. De interpretatie van Kastanjelaan is gebaseerd op Laenen (2003) en die van Mol-GT-03 op Bos (2018).

→ Sequentie 1

Het Tournaisiaan, met sequentie 1, vangt aan met de **Formatie van Bosscheveld** die afgezet werd bovenop de zandstenen van het Devoon. Het vormt de overgang van zandstenen van het Devoon naar de carbonaten van het Dinantiaan. Onderaan is het meer zandsteenhoudend en naar boven toe meer carbonaatrijk. Deze lithologiën wisselen af met kleisteen. Op de gammastralings-log van Kastanjelaan, Mol-GT-03 en de Californië-boringen, vertoont de eenheid daarom een onregelmatig, afwisselend patroon van pieken die overeen komen met de meer kleisteenrijke lagen en dalen die overeen komen met de meer zandsteen- en carbonaatrijke lagen (Figuur 11). In de boringen Kastanjelaan en Californië zit er bovenin de Formatie van Bosscheveld een zone met lagere gammastraling-waardes (aangeduid met stippellijn), dewelke overeenstemmen met dolomieten. In boring Mol-GT-03 lijkt dit pakket maar enkele meters dik. Dit pakket wordt geïnterpreteerd als de Highstand System Tract (HST) en daarmee de top van sequentie 1, die gelegen is onder sequentie 2 van de Formatie van Pont d'Arcole. Dit maakt dat sequentie 1 in totaal 79 m dik is in boring Mol-GT-03, opvallend gelijkaardig aan de 82 m in boring Kastanjelaan.

Vanwege de aanwezigheid van carbonaten, is de densiteit van de Formatie van Bosscheveld met 2.75 g/cm^3 hoger dan deze van de onderliggende Devoon zandstenen met 2.70 g/cm^3 in boring Mol-GT-03 (Figuur 13). De snelheidsdata vertonen veel variatie met dalen tot 5000 m/s voor de kleistenen en pieken van $>5500 \text{ m/s}$ voor de carbonaten.

→ Sequentie 2

Boven de top van de Formatie van Bosscheveld stijgen de gammastraling-waardes terug abrupt in de **Formatie van Pont d'Arcole** (Figuur 11). Deze formatie bestaat uit groenige tot zwarte schiefers met nodulaire of dunne crinoïdenkalksteenbankjes. Op de gammaray-log komt deze eenheid duidelijk naar voor door diens hoge waardes ten opzichte van de meer carbonaatrijke sedimenten eronder en erboven. In boringen Kastanjelaan en Californië is deze eenheid duidelijk af te lijnen dankzij die typerende gammaray-log signatuur (Figuur 11). In boring Mol-GT-03 is deze eenheid minder duidelijk te onderscheiden omdat de gammastralingwaardes nog een gelijkaardige variatie tonen als de onderliggende Formatie van Bosscheveld. De Formatie van Pont d'Arcole vormt de expressie van een regionale belangrijke Transgressive System Tract (TST) en Maximum Flooding Surface (MFS) van sequentie 2. De Formatie van Pont d'Arcole is 16 m dik in boring Mol-GT-03, gelijkaardig aan de 18 m in Kastanjelaan. In de boringen van Californië-GT neemt de dikte van deze eenheid toe tot meer dan 30 m. In deze boringen is de onderliggende sequentie 1 eveneens dikker dan in Mol-GT-03 of Kastanjelaan.

De overgang naar de minder kleirijke dolomieten van de bovenliggende **Formatie van Vesder** wordt gevormd door een sterke daling in gammastraling-waardes (Figuur 11). In boring Mol-GT-03 is er duidelijk een opwaartse afname van gammastraling-waardes in de Formatie van Vesder die de HST tot Falling Stage System Tract voorstellen in de top van sequentie 2. In totaal is dit pakket van opwaarts verminderende gammastraling-waardes 55 m dik in Mol-GT-03. Dit pakket kan gezien worden als equivalent van de Formatie van Landelies, dewelke ook ongeveer minimaal zo dik is in het zuiden van West-Vlaanderen (Laenen, 2003). Op basis van de calcimetrie en dolomimetrie metingen op de fijne fractie van boring Mol-GT-03, bestaat de Formatie van Vesder hier voor ongeveer 50% uit dolomiet en 50% calciet. Door het hoge dolomietgehalte, is de akoestische snelheid en densiteit in dit pakket hoog, met waardes boven 6500 m/s en 2.8 g/cm³, respectievelijk (Figuur 13). Deze waardes zijn opmerkelijk hoger dan die van de onderliggende formaties van Pont d'Arcole en Bosscheveld, waardoor aan de basis een sterk impedantiecontrast optreedt met als expressie een sterke 'soft-kick' (zie ook paragraaf 4.1).

→ Sequentie 3

De zone van opwaarts dalende gammastralings-log waardes wordt onderbroken door een dolomiethoudend (20% van de carbonaatfractie) pakket met hogere gammastraling-waardes in boring Mol-GT-03 (Figuur 11). Door deze trendbreuk vormt het pakket vermoedelijk de basis van sequentie 3. De hoge gammaray-log waardes doen vermoeden dat het een schalierijker pakket is. In boring Kastanjelaan wordt een equivalent pakket omschreven als een gedolomitiseerde, bioklastische wackstone en mudstone, afgezet op een distale ramp. Vanwege de stratigrafische positie en aanwezigheid van schalies, zou dit pakket overeen kunnen komen met de Formatie van Orient zoals beschreven in zuidelijk West-Vlaanderen. Met een dikte van ongeveer 15 m is ze evenwel dunner dan in boringen Rekkem en Rollegem waar ze een dikte van 25 m bereikt (Laenen, 2003). Ook in Wallonië wordt de basis van sequentie 3 lokaal gekenmerkt door een schalierijker pakket, zoals de Formatie van Maurenne in het Bekken van Dinant (zie Figuur 14).

In boring Mol-GT-03 heeft het schalierijke pakket een veel lagere snelheid (5400 m/s) en ook lagere densiteit (2.75 g/cm³) dan de onderliggende, zuivere carbonaten van de Formatie van Vesder (Figuur 13). Hierdoor krijgen we aan de basis van dit pakket een sterk impedantiecontrast met als expressie een sterke 'hard-kick'. Deze hard-kick is het sterkste impedantiecontrast onderin het Dinantiaan van boring Mol-GT-03 (zie ook paragraaf 4.1).

In boring Saint-Ghislain in het Bekken van Mons is dit kleiige pakket van sequentie 3 minder afgelijnd, en is er geen sterk impedantiecontrast op dit niveau (Figuur 15). In deze laatste boring genereren de contacten van de schalies van de Formatie van Pont d'Arcole, uit de onderliggende sequentie 2, met de dolomieten erboven en eronder de sterkste reflecties.

Boven dit 15 m dik pakketje met hogere gammastraling-waardes, daalt de gammaray-log sterk tot hele lage waardes (Figuur 11). Deze daling valt samen met een stijging in de snelheids- en densiteitsdata tot waardes gelijkaardig aan het pakket onder hetgene met hogere gammastraling-waardes. Dit pakket met lage gammastraling-waardes is vermoedelijk een equivalent van de Formatie van Tournai dat gelegen is bovenop de Formatie van Orient in zuidelijk West-Vlaanderen, of aan de Formatie van Yvoir die gelegen is bovenop de Formatie van Maurenne in het Bekken van Dinant. In boring Californië-GT lijkt het pakket met lage gammastraling-waardes afwezig. In boring Kastanjelaan blijven de gammastraling-waardes zelfs hoog daarboven, en worden de sedimenten dan ook geïnterpreteerd als afgezet op een distale ramp of als bekkenafzettingen. De lage gammastraling-waardes in boring Mol-GT-03 doen een veel ondiepere afzetting vermoeden op deze locatie.

De basis van het pakket met lage gammastraling-waardes (Fm van Tournai/Yvoir equivalent) valt samen met een belangrijke daling in zowel snelheids- als densiteitswaardes. Hierdoor krijgen we op de top van dit pakket een sterk impedantiecontrast met als expressie een sterke 'soft-kick' (zie ook paragraaf 4.1; Figuur 13). Vanaf de basis van dit equivalente pakket aan de formaties van Tournai/Yvoir, stijgen de gammastraling-waardes geleidelijk aan terug tot matige waardes (Figuur 11). Deze stijging valt samen met een afname in dolomietgehalte tot algemeen minder dan 20%, en meestal minder dan 10%. Hierdoor verminderen ook de snelheids- en densiteitswaardes richting 6000 m/s en 2.7 g/cm³, respectievelijk. De vermindering in dolomietgehalte markeert de top van de Formatie van Vesder. Boven deze formatie situeren zich lichtgrijze tot donkergrijze, micro tot fijnkristallijne kalksteen met chert en kleisteen, die toegeschreven worden aan de **Formatie van Steentje-Turnhout** door Bos (2018). Binnen deze eenheid is er weinig variatie in gammastraling-, snelheid en densiteitwaardes tot op een diepte van 3720 m TVD in boring Mol-GT-03, waar de gammastraling-waardes terug stijgen (Figuur 11). Ook op basis van de INPEFA-analyse vormt deze stijging in gammastraling-waardes op 3720 m TVD een belangrijke trendverandering, dewelke Panterra (2023) correleren met de Tournaisiaan/Viseaan grens zoals biostratigrafisch vastgesteld door Hance (2022) in boring Halen. De zone tussen 3720 m en 3900 m TVD valt daarom vermoedelijk samen met de bovenste Tournaisiaan sequentie 4 in Wallonië. De volledigheid van sequentie 4 in Mol-GT-03 blijft echter onzeker, aangezien er volgens de FMI-log ook mogelijks doorheen een breuk wordt geboord nabij de diepte van 3700 m TVD. Deze breuk zou ervoor kunnen zorgen dat er een deel van de sequentie 4 afwezig is in deze boring. Op basis van seismische interpretaties, schatten we dat deze mogelijke breuk minder dan 200 m Dinantiaan verzet heeft, en dus maximum 200 m aan sequentie 4 kan ontbreken hier.

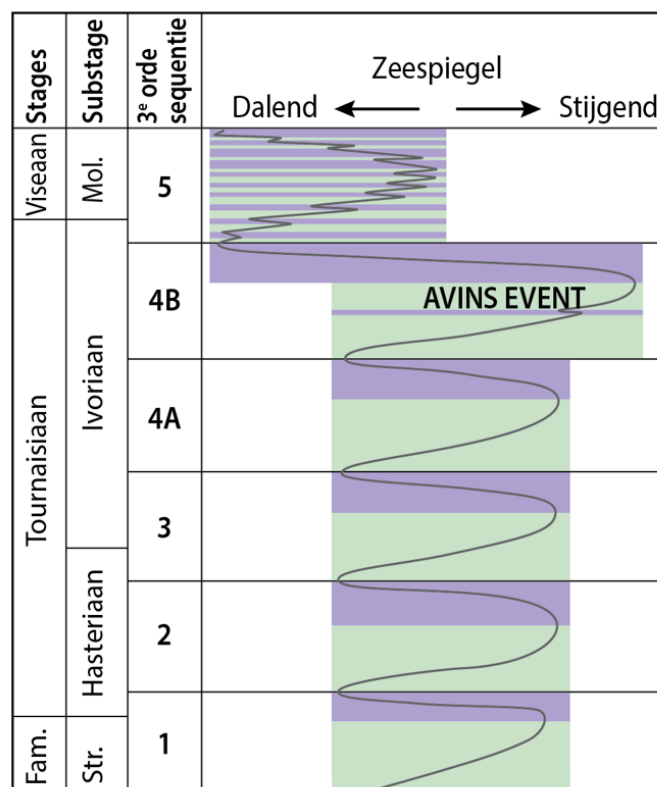
→ **Sequentie 4**

Eén of meerdere biozones van sequentie 4, namelijk MFZ5 tot en met MFZ8, werden recent in boringen Beerse-GT-01a, Booischot, Halen en Turnhout herkend door Hance (2022) en Hance (pers. comm.). Deze sequentie kan ook verondersteld worden in boring Mol-GT-03 zoals hierboven wordt toegelicht. In boringen Booischot en Turnhout werd enkel de jongste biozone MFZ8 vastgesteld in kalkstenen die toegeschreven worden aan de Formatie van Steentje-Turnhout (Laenen, 2003). In boring Halen werd slechts een dunne biozone MFZ8 vastgesteld met daaronder ook nog zone MFZ6/7, waar dolomiet reeds veelvuldig voorkomt. In boringen Booischot en Halen zijn deze kalkstenen van de Formatie van Steentje-Turnhout bovenop (niet gedateerde) dolomieten gelegen van de Formatie van Vesder.

In Wallonië wordt sequentie 4 verder onderverdeeld in sequenties 4A en 4B. Sequentie 4B vormt een belangrijke transgressie, ook wel het 'Avins Event' genoemd, met een TST tijdens MFZ7 en HST tijdens MFZ8 (Poty, 2016; Figuur 12). Daarbij worden structureel hoger gelegen gebieden voor het eerst in het Tournaisiaan overspoeld en bedekt met kalkstenen. Ter hoogte van boring Booischot lijkt het ons waarschijnlijk dat de carbonaten (nu dolomieten van de Formatie van Vesder) tijdens deze belangrijke transgressie van MFZ7 en MFZ8 in analogie met Wallonië werden afgezet bovenop de Devoon zandstenen (Figuur 6). De kalkstenen boven deze dolomieten hebben namelijk een MFZ8 ouderdom volgens dateringen van Hance (2022).

In boring Halen is er een lithologische verandering van dolomieten met kalksteen afwisselingen van MFZ6/7 naar hoofdzakelijk bleke, zandige, lokaal dungebankte kalkstenen met schelpen van MFZ8. De dolomieten en kalkstenen van MFZ6/7 en de dungebankte kalkstenen van MFZ8 daarboven komen zowel qua facies als ouderdom overeen met respectievelijk de leden van Flémalle en Avins van de Formatie van Longpré in Wallonië, de eerste die mogelijks een TST voorstelt en de laatste de HST van het Avins Event van sequentie 4B (Figuur 10). De relatief lage gammastraling-waarden in de bovenkant van MFZ6/7 en in MFZ8 in boring Halen zijn consistent met een HST (Figuur 9). Net zoals MFZ8 in boring Halen, is het Lid van Avins ook algemeen dun in Wallonië (zie Figuur 10).

In boring Turnhout werden boundstones in een heel ondiep (intertidal tot zelfs < 5 m diep; Muchez et al., 1987b) milieu afgezet tijdens de TST van MFZ7 en de onderkant van MFZ8 (Hance, 2022). Daarboven werd fijne, grijze kalksteen afgezet tijdens vermoedelijk de HST van MFZ8. In vergelijking met boring Halen is de MFZ8 biozone in Turnhout dikker (minstens 88 m; Figuur 9), wat duidt op belangrijke verschillen in subsidentie of diachrone opvulling van de accommodatieruimte. Ook in Wallonië zijn grote diktecontrasten tijdens deze periode geobserveerd (Figuur 10).



Figuur 12: Laatste Famenniaan tot vroegste Viseaan eustatische- en klimaatveranderingen, met in groen de zeespiegelstijgingen en in blauw de zeespiegeldalingen uit Poty (2016). Let op de relatief hoge zeespiegelstand tijdens het Avins Event en de heel lage zeespiegelstand daaropvolgend.

3.3.2 Viseaan

→ Sequentie 5

Na het Avins Event is er een uitzonderlijk sterke zeespiegeldaling, tot wel 140 m volgens Lees (1997; Figuur 12). Deze zeespiegeldaling vond plaats rond de Tournaisiaan/Viseaan grens, of rond biozones MFZ8/9. Als gevolg van de zeespiegeldaling zijn er op heel wat plaatsen in Wallonië geen afzettingen van vroegste Viseaan ouderdom (MFZ9; Poty, 2016). In boring Halen zorgde de sterke zeespiegeldaling er mogelijks ook voor dat biozones MFZ9 en 10 afwezig zijn, en wordt een dun MFZ8 rechtstreeks bedekt door MFZ11. Dit impliceert een groot hiaat van het vroege Viseaan op de locatie van deze boring, wat dus overeenstemt met de situatie op heel wat plekken in Wallonië (Figuur 10). MFZ8 zelf is in deze boring met minder dan 30 m dikte ook behoorlijk dun, wat al een indicatie kan zijn van verminderde subsidentie. Ook de faciessen van het Tournaisiaan zijn hier gelijkaardig aan deze in Wallonië (zie sequentie 4 hierboven). Een alternatieve hypothese voor de afwezigheid van sequentie 5 in boring Halen is dat er net rond de grens van dit pakket doorheen een belangrijke normale breuk werd geboord (paragraaf 4.4.5). Een combinatie van deze hypothesen behoort ook tot de mogelijkheden.

In het Bekken van Dinant, waar voorheen de Waulsortiaanmudmounds werden afgezet, zijn wel vroegste Viseaan afzettingen aanwezig. Initieel vullen deze als lowstand system tract het paleo-relief op dat toen bestond tussen de Tournaisiaan Waulsortiaanmudmounds (Poty, 2016). Aan de zuidrand van het Bekken van de Kempen reflecteert de lowstand system tract zich in het voorkomen van de **Formatie van Kessel** in boringen van Booischot en Kessel. Deze eenheid bestaat uit een afwisseling van massieve, grijze tot roodbruine kalksteen met kleirijke, nodulaire kalksteenbanken, rode, kalkrijke zandstenen en rode, gevlekte en zwarte kleistenen. Lokaal komen dunne dolomietbanken voor alsook plantenresten, wortelbodems en kolige laagjes. In de boring van Booischot ligt de Formatie van Kessel tussen afzettingen van het Tournaisiaan (MFZ8 op 607 m) en het vroege Viseaan (MFZ9 op 504; Hance, 2022). De Formatie van Kessel wordt geïnterpreteerd als een lagunair facies (Muechez et al., 1987b), wat overeenstemt met het lokaal lagunaire facies van de vroeg Viseaan Formatie van Molinee in Wallonië (Poty, 2016). In tegenstelling tot boring Booischot, werd boring Kessel niet biostratigrafisch geheranalyseerd binnen de studie van Hance (2022). Bless et al. (1976) vond foraminifera in de Formatie van Kessel van boring Kessel die behoorden tot v1 biozone, mogelijks v1b, net zoals voor een deel van de Formatie van Kessel in boring Booischot. We vermoeden daarom een gelijkaardige ouderdom voor de Formatie van Kessel in boringen Booischot en Kessel.

In boring Booischot wordt de Formatie van Kessel bedekt door eerst zwarte en daarboven grijze en bruine kalksteen. Deze wordt door Laenen (2003) tot de Formatie van Velp gerekend. Deze formatie kan hier opgedeeld worden in twee pakketten die van elkaar gescheiden worden door een kleirijke zone onder een breccieus interval. De ouderdom van het pakket onder het breccieus interval is MFZ9, en zou dus tot sequentie 5 gerekend worden. Het deel boven het breccieus interval is MFZ12 en zou dan al tot sequentie 7 gerekend kunnen worden. Het voorkomen van de kalksteensequenties bovenop de Formatie van Kessel wijst op een transgressie na de LST van deze laatste formatie. Volgens (Muechez et al., 1987b) zijn de afzettingen evenwel nog in restricted omgeving afgezet, dus de aanwezigheid van paleorelief is nog waarschijnlijk.

In tegenstelling tot boringen Booischot en Halen, valt de overgang tussen MFZ8 en MFZ9 in boring Turnhout niet samen met de Formatie van Kessel, maar is die binnen de Formatie van Steentje-Turnhout gelegen. Hier is er in tegenstelling tot boring Halen geen duidelijk hiaat aanwezig. In boring Turnhout is MFZ9 zelfs minstens 120 m dik (Figuur 9). Onderin bestaat deze MFZ9 biozone uit dungebankte kalksteen. Dit pakket is tijdsequivalent aan de Formatie van Sovet van Wallonië (Hance, 2023) die in de onderste 2/3 trouwens ook uit dun tot medium gebankte, fijne kalksteen bestaat. Naar boven toe krijg je oölietafzettingen in het pakket, wat lijkt te wijzen op een verondieping.

→ **Sequentie 6**

In Wallonië valt sequentie 6 of biozone MFZ11 in een aantal gebieden samen met een belangrijke transgressie van gebieden die eerder paleo-hogen vormden tijdens sequentie 5 of na de zeespiegeldaling op de grens van het Viseaan en Tournaisiaan. In boring Turnhout valt deze sequentie in tijd samen met afzetting van oölitische kalksteen van de Formatie van Steentje-Turnhout volgens de dateringen van Hance (2022). Deze oölitische kalksteen is tijdsequivalent met de Formatie van Neffe in Wallonië. Het Moha facies van deze Formatie bestaat eveneens uit dik gebankte, bleke, oölitische kalksteen.

In boring Halen stemt de afzetting van deze sequentie 6, na een belangrijk hiaat en/of breukverzet (zie sequentie 5 hierboven), overeen met de **Formatie van Velp** die hier ook gedefinieerd werd (Figuur 9). Deze formatie bestaat uit compacte, bioklastische en peltheoudende wacke- tot grainstones. De kleur varieert van donkergrijs - zwart tot lichtgrijs en bruingrijs. Lokaal komen kleirijke niveaus voor. In boring Halen bestaan de onderste vijf meter uit donkergrijze dolomieten. In boring Beerse-GT-01a is deze eenheid ook tentatief geïnterpreteerd, conform Panterra (2023), op een interval dat start met een grote gammastraling-piek. Deze lijkt te correleren met een gelijkaardige gammastraling-piek in boring DZH-1 (Figuur 7). De onderkant van de Formatie van Velp heeft hier ook een MFZ11 ouderdom (Hance pers. comm.). In boringen Booischot en DZH1 werd geen MFZ11 vastgesteld door Hance (2022). De staalname is hier echter niet continu, zodat onbekend is of MFZ11 hier al dan niet aanwezig is.

→ **Sequentie 7**

In Wallonië nam de subsidentie schijnbaar toe tijdens sequentie 7 (MFZ12), met wijdverbreide open mariene omstandigheden en afzetting van de Formatie van Lives (Poty, 2016). Tijdens deze sequentie domineerden de shallowing upwards parasequenties, waarbij tijdens de HST evaporieten werden afgezet in grote gebieden. In de Saint-Ghislain boring zijn deze evaporieten (anhydriet) zelfs 120 m dik (De Putter et al., 1994). Oplossing na afzetting van de evaporieten zorgde voor de bekende collapse breccias waaronder de 'Grande Brèche Viséenne' (Mamet et al., 1986).

In het Bekken van de Kempen zijn er indicaties voor een belangrijke transgressie tijdens de start van sequentie 7. Zo is er in de boring Mol-GT-01 een sterke stijging tot hoge gammastralingwaardes boven de datering van MFZ11 en onder die van MFZ13 (Figuur 9). Ook in de boring van Beerse-GT-01a heeft het pakket met MFZ12 in de bovenkant van de Formatie van Velp algemeen een hogere gammastraling dan MFZ11 in het centrum van de Formatie van Velp daaronder (Figuur 7). Deze stijging van gammastraling van MFZ11 richting MFZ12 zou een gevolg kunnen zijn van toename van kleigehalte door de transgressie van sequentie 7. In boring Beerse-GT-01a observeerden Panterra (2023) op basis van de INPEFA een belangrijke trendverandering centraal in de Formatie van Velp dat de overgang tussen sequenties 6 en 7 zou kunnen voorstellen.

Volgens sedimentaire faciesanalyse komt de overgang van het Moliniaciaan naar het Liviaan in boring DZH-1 ook overeen met een transgressie (Mucheux et al., 1987a).

In boring Turnhout valt de overgang van sequentie 6 naar 7 of MFZ11 naar 12 samen met de verandering van grijze oölitische kalksteen van de Formatie van Steentje-Turnhout naar de bleekgrijze kalksteen met bovenin wat kleilagen van de Formatie van Velp, wat opnieuw indicatief lijkt voor transgressie. De Formatie van Velp lijkt dus diachroon aangezien het andere biozones omvat in boringen Halen (MFZ11) en DZH-1 (MFZ11) dan in boring Turnhout (MFZ12), met boring Beerse-GT-01 een gemengd signaal (MFZ11/12). In een carbonaatplatform setting is de sedimentologie sterk afhankelijk van de ligging binnen deze setting doorheen de tijd. Daarbij is het dus zeker mogelijk dat sequenties met een gelijkaardige sedimentologie diachroon zijn afgezet. Echter is een lithostratigrafische herinterpretatie van boring Turnhout ook een mogelijkheid hetgeen wel leidt tot meer consistentie tussen ouderdom en lithostratigrafie:

- De oölieten in de top van de Formatie van Steentje-Turnhout van de MFZ12 biozone zouden tot de Formatie van Velp kunnen behoren.
- De bleekgrijze kalksteen van de Formatie van Velp van de MFZ11 biozone zou geherinterpreteerd kunnen worden als Formatie van Loenhout aangezien een verbleking typisch is voor de overgang van de Formatie van Velp naar de Formatie van Loenhout. Hierdoor zouden de Formaties van Velp en Loenhout in boring Turnhout respectievelijk een MFZ11 en MFZ12 ouderdom krijgen, wat consistent is met boring Halen. Om dit te valideren zou echter een gedetailleerde vergelijkende studie van de sedimentologie van beide boringen nodig zijn. Omdat dergelijke analyse buiten de focus van deze studie valt, laten we dit voorlopig in het midden. In Figuur 6 omvatten de Formaties van Velp en Loenhout daarom beide de MFZ12 biozone.

In boring Halen valt sequentie 7 (MFZ12) volledig samen met een 20 m dik brecciepakket. Vanwege de vergelijking met Wallonië zou men kunnen verwachten dat dit ook een collapse breccie is. Echter, de sedimentologie zou eerder wijzen op een herwerking van door erosie aangevoerde sedimenten (Muche et al., 1987b). Sequentie 7 zou in boring Halen daarom een periode kunnen zijn van weinig afzetting met uitsluitend wat herwerkte erosieproducten van vermoedelijk het Massief van Brabant verder zuidwestelijk. In boring Beerse-GT-01a wordt er in het boorverslag ook anhydriet vermeld rond de basis van deze sequentie. Echter, een eerste petrografische beschrijving van boorgruisstenen door VPO en Prof. Swennen in Panterra (2023) leverde tot nog toe slechts enkele “vermoedelijke anhydrietfragmentjes van vermoedelijk diagenetische oorsprong” op en beperkte indirecte indicaties voor pseudomorfen van gips. Ook een analyse van de logsignatuur van boringen in de studie van PanTerra (2023) leverde geen extra aanwijzingen op voor het voorkomen van evaporiet. In boring Booischot is er sprake van een karstinterval (met kalksteenblokken volgens Bless et al. 1976) onder een datering van MFZ12 (Hance, 2022) dat zou gerelateerd kunnen zijn aan oplossing van eerder afgezette evaporieten tijdens sequentie 7 (of 6).

→ **Sequenties 8 en 9**

In Wallonië ontwikkelde het afzettingsmilieu zich tijdens sequentie 8 (MFZ12 tot onder MFZ13) tot hoofdzakelijk relatief homogene, restricted, inner platform afzettingen (Poty, 2016). Dit milieu overheerste ook tijdens sequentie 9 (MFZ13 tot de onderkant van MFZ15), waarin maar weinig mariene bioclastische niveaus aanwezig zijn. Daarom worden voor deze studie beide sequenties samen behandeld.

Ook in het Bekken van de Kempen valt er een belangrijke faciesverandering op ten tijde van sequentie 8. Zo is er in alle drie boringen van Beerse consistent een opwaartse daling in gammastraling naar heel lage waarden op een positie gelegen boven dateringen van MFZ12 en onder dateringen van MFZ13 van Hance (pers. comm.; Figuur 7). Een gelijkaardige daling in gammastralingwaarden valt ook op in nabijgelegen boring Merksplas. Ook in boring DZH1 omvatten biozones MFZ13 en MFZ14 een zone met relatief lage gammastralingwaarden.

In boring Beerse-GT-02 worden de kalkstenen in de lage gammastralingzone als bleek (wit) omschreven en de hogere gammastraling-zone daaronder, die tot aan de basis van de boring rijkt, als grijs tot donkergrijs. Ook in boring Turnhout is er een verbleking van de kalkstenen van bleekgrijs naar bleek (Bless et al., 1976) van respectievelijk MFZ12 richting MFZ13 en -14 (Hance, 2022). Hetzelfde stellen we vast in boring Halen, waar er een verbleking is van de kalkstenen van donker met hogere gammastraling-waardes in MFZ11 naar grijs met lagere gammastraling-waardes in MFZ13 (biozone MFZ12 valt hier samen met een breccieniveau). Deze verlaging in gammastraling en verbleking weerspiegelen de overgang van de Formatie van Velp naar de **Formatie van Loenhout**. Deze formatie bestaat uit bleke, fossielhoudende mudstones, bio- en lithoklastische wacke- tot grainstones en boundstones waarin lokaal dunne, donkere, kleirijke lagen worden aangetroffen (Laenen, 2003). Op basis van de lithologische beschrijving en log-signatuur heeft deze eenheid een dikte tussen 100-200 m in de boringen van DZH-1, Beerse, Merksplas en Halen.

Tijdens deze sequentie 8 en 9 ontwikkelden zich de rif-complexen van Heibaart (DZH-1) en Poederlee. Een belangrijk verschil tussen beiden is dat Heibaart een dikke rifkern heeft, terwijl Poederlee opgebouwd is uit een opeenstapeling van biohermen (Muechez et al., 1990). Dit lijkt erop te wijzen dat het rif zich in Heibaart vanaf grotere diepte kon ontwikkelen dan in Poederlee. Dit is geen verrassing aangezien Heibaart zich bevindt op de rand van het Viseaan platform, niet veel ten zuiden van de Hoogstraten breuk. Zo heeft Heibaart tijdens deze periode deel uitgemaakt van een noordwaarts voortschrijdende platformrand. Vermoedelijk door deze uitbouw kent het rif van Heibaart richting het jongste vroege Warnantiaan een verondieping (Muechez et al., 1990). De daaropvolgende sequentie 10 van het late Warnantiaan ontbreekt hier dan ook op.

In boring Turnhout zijn deze sequenties 8 en 9 opvallend dun ten opzichte van de andere boringen. Dit is op zich vreemd aangezien sequentie 10 erboven wel weer relatief dik ontwikkeld is. Het is ons vermoeden dat deze afwijkende dikte een gevolg is van één of meerdere breuken die doorheen de bovenkant van het Dinantiaan gaan op de locatie van boring Turnhout. De seismische lijn van Turnhout-Beerse 2015 die er vlakbij loopt, toont namelijk heel wat breuken nabij de top van het Dinantiaan. De breuksprongen hierop zijn in de orde van 25 ms (milliseconden) TWT of pakweg 70 m. Als je deze dikte bij sequenties 8 en 9 zou tellen, kom je uit op een meer gelijkaardige dikte als de omliggende boringen. Het veelvuldig voorkomen van breccia's rond de MFZ13/14 biozones in boring Turnhout zou ook deels aan breuken gerelateerd kunnen zijn.

In de gammastraling-log van boring DZH1 is er een duidelijke verhoging in gammastraling-waardes van een lagere naar hogere plateau rond 1245 m TVD (Figuur 7). Ook op basis van de INPEFA analyse van Panterra (2023) treedt op deze diepte een belangrijke trendverandering op. Dit is de expressie van een faciesverandering met verondieping van het Liviaan naar Warnantiaan volgens Muechez et al. (1987a). Volgens de meer recente biostratigrafische revisie van Hance (2022) is deze faciesgrens jonger, en ligt ze rond de grens tussen biozones MFZ13 en MFZ14. Daarmee zou deze faciesverandering overeen kunnen komen met de grens tussen sequenties 8 en 9.

→ **Sequentie 10**

Er werd eerder al gealludeerd op de aanwezigheid van sequentie 10 in België, maar er werd niet verder in detail op ingegaan door Poty (2016; Figuur 10). De kleirijke kalksteen en schalies van het bovenste lid van de Formatie van Anhée behoren hier waarschijnlijk toe. In Wallonië ligt de basis van deze sequentie 10 binnen biozone MFZ15. Hierdoor omvat het bovenste deel van onderliggende sequentie 9 mogelijks nog de Formatie van Goeree. In het Rhenish Kulm Bekken wordt de basis van sequentie 10 daarentegen gelegd op de basis van MFZ15 en gecorreleerd met een belangrijke zeespiegeldaling met debris flows (LST; Herbig, 2016).

In het Rhenish Kulm Bekken vormt de basis van sequentie 10 ook een belangrijke shift naar dominant donkere schalies en silicarijke schalies/gebandede chert, met onderaan nog dunne kalkbanken van de Formatie van Dieken. Ook in de buurt van het Bekken van de Kempen is er een belangrijke sedimentologische verandering in het latere Warnantiaan, eveneens met de kleurverandering (bleek naar donkerdere, meer kleiige kalksteen) en toename van silicagehalte. Dit pakket wordt ondergebracht in de **Formatie van Goeree**. Deze eenheid wordt vastgesteld in boringen Turnhout, Halen en Mol, zie paragraaf 3.1.3. In boring Turnhout is deze met 33 m nog relatief dun (2186 tot 2219 m), en verdikt richting 51 m in boring Mol-GT tot 225 m in boring Halen (645 tot 870 m) tot zelfs 500 m dikte in de Nederlandse boring Geverik (Figuur 9). In boring Turnhout is er onder de zwarte, fijnkorrelige kalksteen van de Formatie van Goeree een sedimentaire breccia aanwezig en in boring Halen is er in de basis van de Formatie van Goeree (810 m diepte) een conglomeraatniveau aanwezig. Deze zouden kunnen overeenkomen met de debris flow aan de basis van sequentie 10 die ze ook in het Rhenish Kulm Bekken hebben vastgesteld.

In boring DZH-1 op de Heibaart Structuur en boring Poederlee ontbreken afzettingen van sequentie 10 (Hance, 2023). Deze regio vormde vanaf dan vermoedelijk een relatief hoog (horst) met erosie en karstificatie van de top van het Dinantiaan als gevolg (zie paragraaf 6.2.4).

→ **Sequentie 11**

Sequentie 11 wordt niet besproken in Wallonië door Poty (2016), maar wel nog in het diepere Rhenish Kulm Bekken door Herbig (2016). Het zou in het Bekken van de Kempen overeen kunnen stemmen met de afzetting van de **Formatie van Souvré**. Het parastratotype van deze eenheid is boring Turnhout waar het - net zoals het stratotype in Wallonië - kan opgedeeld worden in een bovenste pakket bestaande uit donkere, verkiezelde schievers met fijngebankte kalksteen- en dolomietlagen en een onderste pakket voornamelijk opgebouwd uit geheel of gedeeltelijk verkiezelde, dungebankte dolomiet en een kleirijke basis (Laenen, 2003). Dit lithologisch contrast uit zich ook op de gammastraling-log die een groot contrast toont van hoge waarden in het bovenste pakket (2162 tot 2169 m TVD) en eerder lage waarden - slechts subtiel hoger dan het onderliggende - in het onderste pakket (2169 tot 2186 m; Figuur 9). In andere boringen, zoals die van Halen en Mol-GT, zien we hoofdzakelijk hoge gammastraling en dus de kleiige signatuur binnen de Formatie van Souvré. In boring Halen bestaat de eenheid dan ook uit zwarte, kiezel- en carbonaathoudende schalies (Bless et al., 1976). De dikte van de Formatie van Souvré varieert van 24 m in boring Turnhout tot een dikte van ongeveer 45 m in boringen Halen en Mol. Deze diktetrend volgt deze van onderliggende sequentie 10.

In boring Turnhout zouden de sedimenten van het onderste, kalkrijke pakket van de Formatie van Souvré volgens Hance (2022) mogelijks nog tot de MFZ15 biozone behoren, en dus een laatste Viseaan/vroegste Namuriaan ouderdom hebben. De ouderdom van het bovenste, kleirijke pakket van de Formatie van Souvré is onbekend, maar zou al Pendleiaan kunnen zijn.

→ **Sequenties 12 en 13**

De bovenliggende schalies van de Formatie van Chokier (sequentie 13) zijn heel gecondenseerd en hebben een boven Arnsbergiaan tot Alportiaan (vroege Namuriaan) ouderdom in boring Turnhout (J. Bouckaert in Grosjean et al., 1955 uit tabel 2 van Langenaeker & Dusaar, 1992). Er zit daarom een hiaat tussen de formaties van Souvré en Chokier (overeenkomend met sequentie 12?; Figuur 6), wat zich vertaalt in een kleine hoekdiscordantie tussen beiden in boring Turnhout (Laenen, 2003).

Naar het westen van het Bekken van de Kempen toe, in de boringen op en rond de Heibaart Structuur, zijn de formaties van Souvré en Chokier heel dun en lokaal zelfs afwezig (Langenaeker & Duser, 1992). Zo zijn in boring Heibaart de formaties van Souvré en Chokier beide afwezig, en wordt de Formatie van Loenhout (sequenties 8 en 9; zie hierboven) rechtstreeks bedekt door de Formatie van Andenne (Laenen, 2003). Dit blok van en rondom Heibaart (vooral ten oosten en zuiden) vormde vanaf dan vermoedelijk een relatief hoog (horst) met erosie en karstificatie van de top van het Dinantiaan als gevolg (zie paragraaf 6.2.4).

4 WERKWIJZEN EN RESULTATEN INTERPRETATIES SEISMIEK

4.1 Werkwijze seismische interpretaties Top en basis Dinantiaan en basis Devoon

Deze paragraaf licht de manier toe waarop de seismische lijnen geïnterpreteerd zijn voor de belangrijkste horizons: top en basis van het Dinantiaan en de basis van het Devoon. Het startpunt voor hun interpretaties zijn de al bestaande gegevens uit het G3Dv3-model. Zo werden er voor het G3Dv3-model al interpretaties uitgevoerd voor de grote pakketten vanaf de top van het Dinantiaan en hoger. Omdat voor de interpretaties van het Dinantiaan ook interpretaties van het bovenliggende pakket leidend kunnen zijn, zijn de interpretaties van bovenliggende horizons, met name die van basis Westfaliaan, dan ook meegenomen. Voor het huidige project zijn enkel interpretaties van het G3Dv3-model bijgesteld onder de basis van het Westfaliaan of top Namuriaan. Voor de top Dinantiaan is daarbij verder gewerkt op de interpretaties die opgemaakt waren in functie van het G3Dv3-model. Voor het Devoon en basis Dinantiaan zijn alle seismische interpretaties nieuw.

Om deze lagen of horizons op seismische data te kunnen interpreteren, dient er een juiste koppeling te gebeuren tussen de stratigrafische grenzen zoals vastgesteld in de boringen en reflecties op nabijgelegen seismische lijnen. Dit is de zogenaamde seismic-to-well tie, of koppeling tussen seismiek en boringen. Hiervoor dient de verticale diepteschaal van de boringen omgezet te worden naar de tijdschaal van de seismische lijnen. Dit stelt de interpretator dan in staat de diepteligging van stratigrafische niveaus uit de boringen op de seismische lijnen te visualiseren. De omzetting van diepte- naar tijdschaal gebeurde op de volgende manier:

- Voor de boringen worden de diktes van Devoon, Dinantiaan, Namuriaan en Westfaliaan onder het Perm of de Krijtgroep berekend.
- Via het snelheidsmodel voor het Namuriaan en Westfaliaan van het G3Dv3-model, werden hun werkelijke diktes omgezet naar tijdsdiktes. Voor het Dinantiaan was nog geen snelheidsmodel aanwezig, en zijn snelheden gebruikt van hoofdzakelijk sonic logs in boringen die het Dinantiaan aansnijden. Onze analyses wezen op een snelheid met als mediaan 5895 m/s voor het Dinantiaan (zie paragraaf 5.1.2). Die snelheid ligt dicht bij de 6000 m/s die in het SCAN project voor het Dinantiaan werd bepaald (ten Veen et al., 2019). Voor het Devoon is er maar één punt met snelheidsdata aanwezig binnen het Vlaamse deel van het Bekken van de Kempen, namelijk boring Mol-GT-03, waarin de snelheid van de bovenkant van het Devoon werd vastgesteld op ongeveer 5500 m/s. In de Nederlandse boring van CAL-GT-01 (Venlo), waar de Famanniaan zandstenen eveneens doorboord werden, zijn er gelijkaardige snelheden voor dit pakket van ongeveer 5200 m/s. Voor het pakket van het Devoon onder het Famanniaan zijn er helaas geen snelheidsdata beschikbaar.
- De tijddiktes van de interpretaties van lagen in de boringen werden opgeteld bij de eerder opgemaakte tijdsvlakken van de basissen van het Perm of Krijtgroep uit het G3Dv3-model. Zo werden nieuwe tijdsdieptes van deze interpretaties bekomen.
- De tijdsdieptes werden in GOCAD ingeladen zodat ze samen met de seismische data bekeken konden worden in het tijdsdomein.

In de GOCAD-software zijn deze ingeladen dieptes in het tijdsdomein gekoppeld aan boringen waarin ze vastgesteld werden. Deze boringen hebben meestal geen verticaal verloop in het Dinantiaan. Om goed in te kunnen schatten waar het boortracé loopt ten opzichte van de seismische lijnen die er in de buurt liggen, zijn daarom ook de boortracés in tijd ingeladen. Daarvoor is dezelfde procedure als voor de boorinterpretaties hierboven gebruikt.

Nadat de boortracés en hun lithostratigrafische interpretaties ingeladen zijn in de software, kan gestart worden met de interpretaties op de seismische lijnen. Initieel is er gestart met de interpretaties van top Dinantiaan, basis Dinantiaan en basis Devoon. Hieronder worden hun interpretaties apart toegelicht.

De interpretaties van de horizons op de seismische lijnen op basis van de nabijgelegen boringen werden gecorreleerd en geïnterpreteerd op de overige, omliggende seismische lijnen via het softwarepakket GOCAD. Naast het vervolgen van de horizons zelf, wordt ook het seismisch facies ertussen grondig bekeken en vergeleken op en tussen verschillende seismische lijnen om het consistent te kunnen vervolgen.

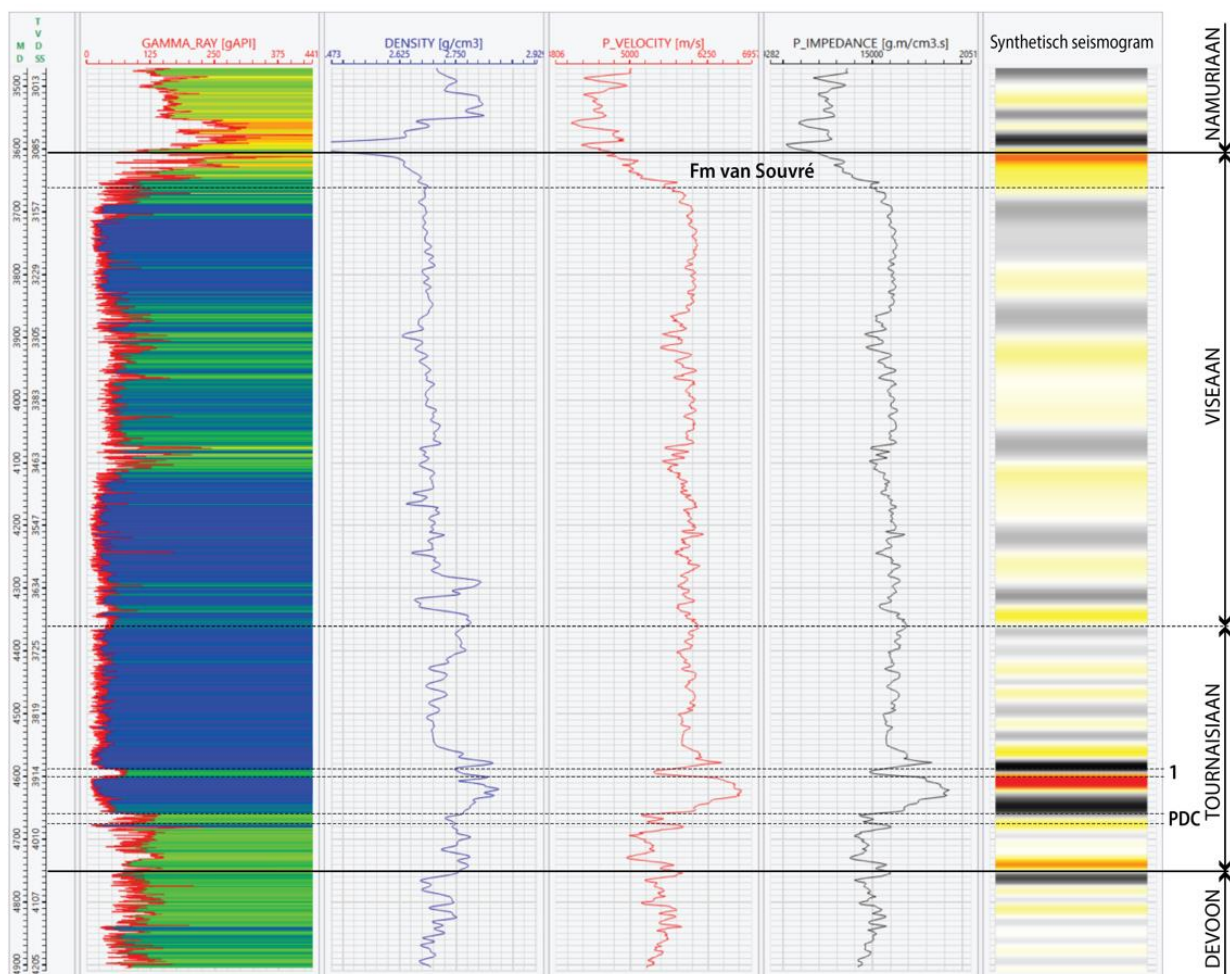
Soms liggen seismische lijnen al ver af van boringen of zijn er geen (goed kwalitatieve) snijdende seismische lijnen die het facies verbinden met een boring. Om die lijnen alsnog te kunnen interpreteren wordt gebruik gemaakt van de vergelijking van het seismische beeld in gebieden waar er wel een goede controle is op de seismische interpretatie (door correlatie met een boring). Zodoende kan men dus het seismische beeld nabij een boring gebruiken om alsnog seismische interpretaties uit te voeren in regio's waar wel seismische data aanwezig zijn, maar geen boring. Dit kan eenvoudig uitgevoerd worden in de 3D omgeving van de GOCAD-software via projectie van de ene seismische lijn (inclusief bijhorende interpretaties) op nabijgelegen seismische lijnen. Bij projectie kan men het 3D beeld dan zo verschuiven tot de beste overeenstemming verkregen wordt tussen twee seismische lijnen, zonder dat deze lijnen elkaar hoeven te snijden. Deze methodiek is bijvoorbeeld toegepast om de Olmen-Meerhout campagne te interpreteren (zie paragraaf 4.4.4). Er zijn geen boringen die daarbinnen het Dinantiaan aansnijden en er zijn ook geen goed kwalitatieve lijnen die het verbinden met een andere seismische campagne waar wel een boring ligt. Daarom is deze campagne geïnterpreteerd door de seismische lijnen van de Mol-Herentals campagne, waarlangs de Mol-GT boringen liggen, te projecteren op de meest nabij gelegen lijnen van de Olmen-Meerhout campagne. Hierdoor is de interpretatie van het Dinantiaan hier uiteraard minder zeker dan in gebieden waar wel directe connectie met een boring gemaakt kan worden.

- **Top Dinantiaan**

De top van het Dinantiaan stelt vaak een sterk lithologisch en geofysisch contrast voor met de abrupte overgang van Namuriaan schalies naar Dinantiaan carbonaten. De carbonaten hebben veel hogere snelheden dan de Namuriaan schalies, waardoor dit zich op seismiek vertaalt in een sterk impedantiecontrast of hard-kick. Door de sterkte van dit contrast is de top van het Dinantiaan in het westen en zuidwesten van het Bekken van de Kempen heel goed te interpreteren. Bovendien zijn er in die regio behoorlijk wat boringen die de top van het Dinantiaan bereiken, wat de betrouwbaarheid van de interpretatie ervan nog vergroot. In het oosten van het Bekken van de Kempen, aan de boringen van Mol-GT, is de top van het Dinantiaan opgemaakt uit een relatief dikke Formatie van Souvré, bestaande uit afwisselingen van schalies en carbonaten, waardoor er een meer graduele overgang is van Namuriaan schalies naar Dinantiaan carbonaten. Dit vertaalt zich ook in een minder sterk impedantiecontrast in deze regio. Hierdoor is de top van het Dinantiaan in het oosten van het Bekken van de Kempen moeilijker interpreteerbaar. Ook zijn er in het oosten van het Bekken van de Kempen amper boringen die de top van het Dinantiaan bereiken, wat de onzekerheid van interpretatie van deze top nog vergroot. Een extra moeilijkheid is dat sterke reflecties veroorzaakt door sterk gecementeerde zandstenen binnenin het Namuriaan in deze regio kunnen verward worden met de top van het Dinantiaan (zie bijvoorbeeld Figuur 48).

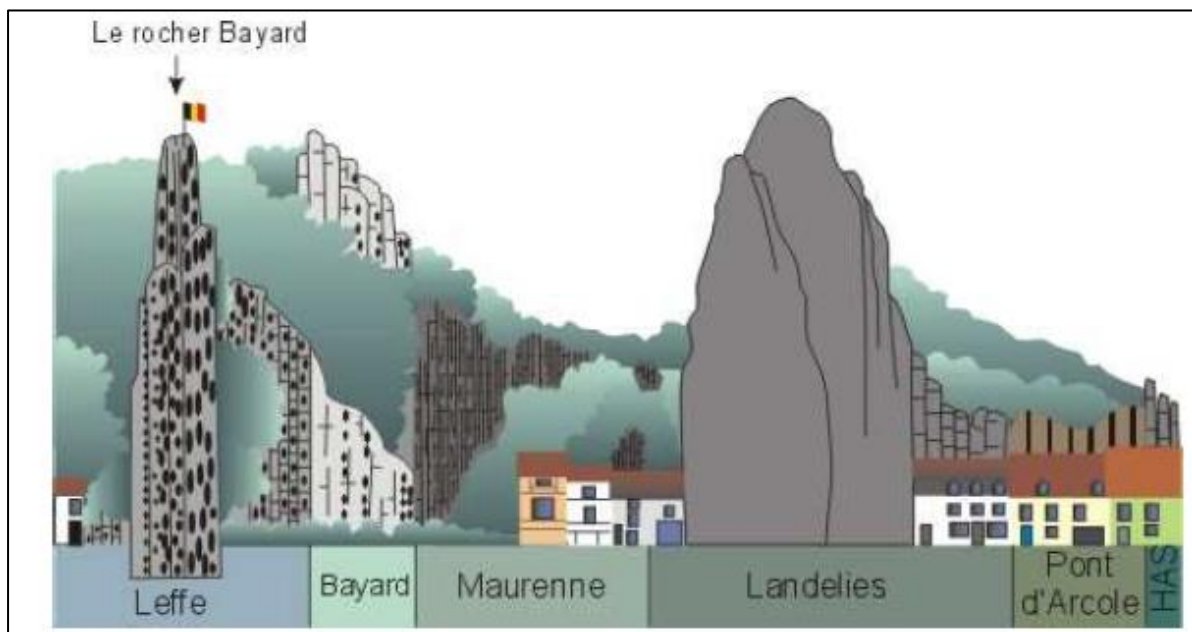
- **Basis Dinantiaan**

In tegenstelling tot de top, zijn er maar weinig boringen die de basis van het Dinantiaan bereiken in het Bekken van de Kempen. Hierdoor is er minder boorcontrole op de seismische interpretaties en dienen deze meer conceptueel gestuurd te worden. Eén van de methodes die kunnen helpen om een goed verband te vinden tussen geofysische contrasten in de boring en die op seismiek, is het synthetisch seismogram. Hierbij wordt vanuit de snelheids- en dichtheitscontrasten in de boring het seismisch signaal (zoals op een seismische lijn) nagebootst. Zodoende kan bekeken worden welk geofysisch contrast in de boring met welke impedantiecontrast op de seismische data overeenstemt. Dit laat omgekeerd ook toe om impedantiecontrasten, zoals zichtbaar op een seismische lijn nabij de boring, te vertalen naar dergelijke contrasten in de boring. Hierdoor wordt beter begrepen wat het seismische beeld in werkelijkheid voorstelt. Dit is dus een handige methode die veel en graag gebruikt wordt bij seismische interpretaties. Figuur 13 geeft een voorbeeld van een synthetisch seismogram van boring Mol-GT-03.



Figuur 13: Een synthetisch seismogram van het Dinantiaan in boring Mol-GT-03 op basis van de logs van de akoestische snelheid ("P_velocity") en dichtheid ("Density"). PDC= Formatie van Pont d'Arcole en 1= kleig niveau binnen de Formatie van Vesder.

Voor het Devoon/Dinantiaan zijn er echter weinig boringen die 1) over snelheids- en densiteitsgegevens beschikken alsook 2) een dikke sectie van het Dinantiaan aanboren. Meestal gaan de boringen met snelheidsgegevens slechts tot maximaal enkele 100-en meters diep in de bovenkant van het Dinantiaan, wat weinig meerwaarde biedt voor de aanmaak van een synthetisch seismogram. Een uitzondering is boring Mol-GT-03 die snelheids- en densiteitsgegevens heeft over het gehele bereik van het Dinantiaan. Daarom hebben we vanuit de gegevens van deze boring een synthetisch seismogram opgemaakt dat gebruikt is om het seismisch facies van het Dinantiaan te leren begrijpen (zie Figuur 13). Deze boring toont algemeen weinig sterke reflecties of contrasten binnen het Dinantiaan zelf. Het sterkste contrast zit aan de basis ervan, vanaf de grens tussen sequenties 2 en 3 (zie paragraaf 3.3.1), of nabij de top van de Formatie van Vesder (aanduiding met 1 op Figuur 13). Hier krijgen we sterke contrasten tussen de harde dolomietrijke pakketten met hoge snelheden en densiteiten en de zachte meer schalierrijke pakketten met lagere snelheden en densiteiten. Voorbeelden van harde pakketten zijn de equivalenten van de Formatie van Yvoir of de Formatie van Landelies, en voorbeelden van zachte pakketten zijn de equivalenten van de Formatie van Orient/Maurenne of de Formatie van Pont d'Arcole (zie paragraaf 3.3.1). Figuur 14 geeft een expressie aan het verschil in hardheid tussen deze equivalente pakketten in Wallonië.

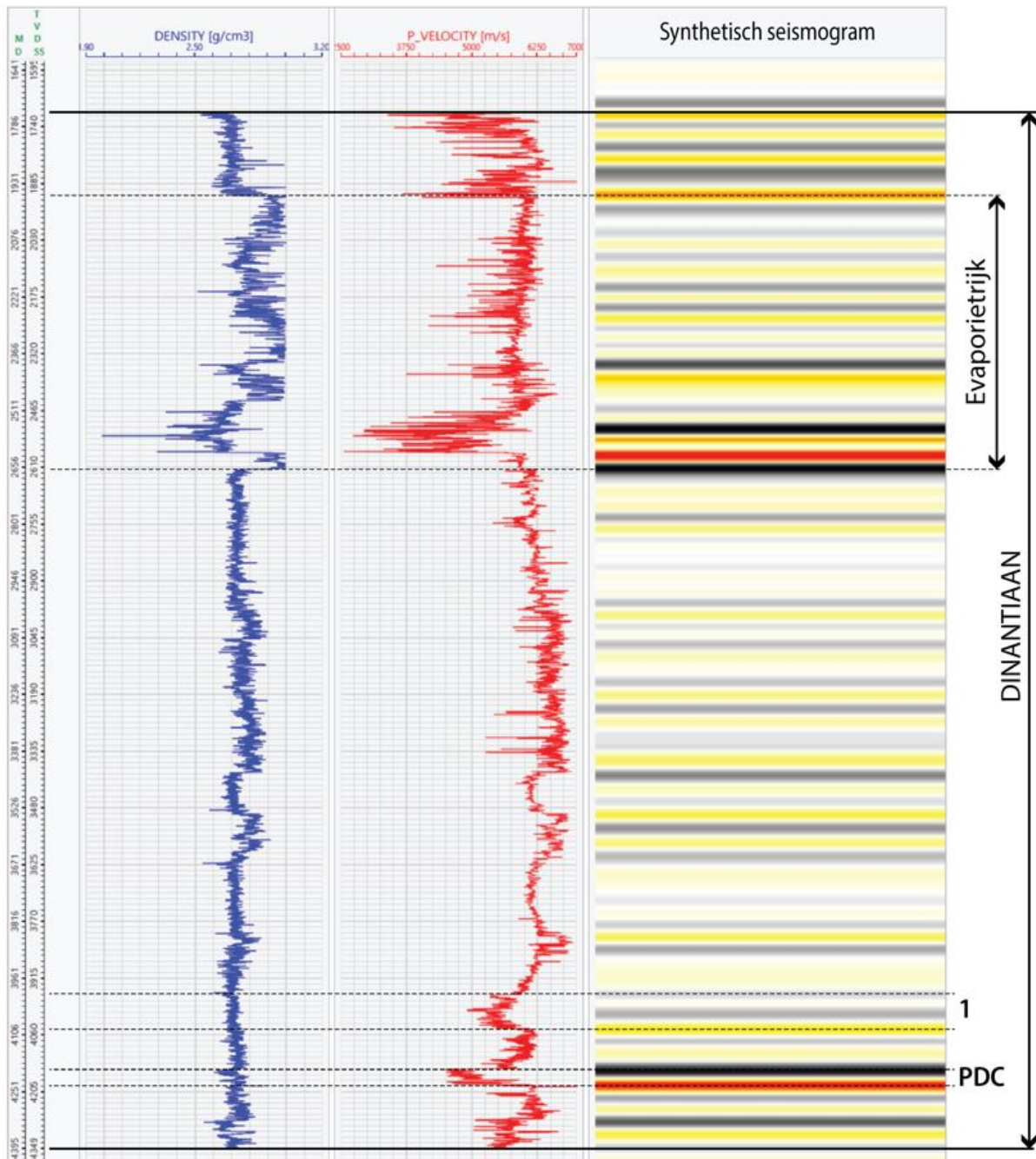


Figuur 14: Voorbeeld van de contrasten in hardheid of erosiegevoeligheid tussen de verschillende pakketten van het Tournaisiaan. Deze contrasten vertalen zich op naar reflectiecontrasten. De Formatie van Maurenne is een mogelijk equivalent aan pakket dat met "1" wordt aangegeven op Figuur 13. Uit Devuyst et al. (2005).

In boring Saint-Ghislain in Wallonië werd een heel dik pakket Dinantiaan doorboord. In het boorgat zijn ook snelheid- en densiteitswaarden gemeten. Hiervan is ook een synthetisch seismogram gemaakt voor deze studie, zie Figuur 15. Het interessante aan deze boring is namelijk dat de Formatie van Pont d'Arcole en bovenliggende pakketten dikker ontwikkeld zijn dan in boring Mol-GT-03. Dit geeft dus ook een ander seismisch facies ten opzichte van boring Mol-GT-03. Hierdoor krijgen we een beter beeld van de variatie aan seismisch facies die we kunnen verwachten binnenin en aan de basis van het Dinantiaan. Algemeen is het Dinantiaan er, net zoals in boring Mol-GT-03, weinig reflectief. Een uitzondering is een poreuze zone centraal in het Dinantiaan door oplossing van evaporieten, maar deze hoeft niet representatief te zijn voor het Dinantiaan van het Bekken van de Kempen. In boring Saint-Ghislain zit er net zoals in boring Mol-GT-03 een sterke reflector nabij de basis van het Dinantiaan (Figuur 15).

Hier is het de overgang van de Formatie van Landelies naar die van Pont d'Arcole die de sterkste reflectie geeft.

Ten opzichte van Mol-GT-03 zit hier de sterkste reflectie dus stratigrafisch nog wat dieper. Dit komt omdat het kleiige pakket op de grens tussen sequenties 2 en 3 (zie paragraaf 3.3.1) in boring Mol-GT-03 (aanduiding met 1 op Figuur 13), of nabij de top van de Formatie van Vesder, minder scherp begrensd is in boring Saint-Ghislain.

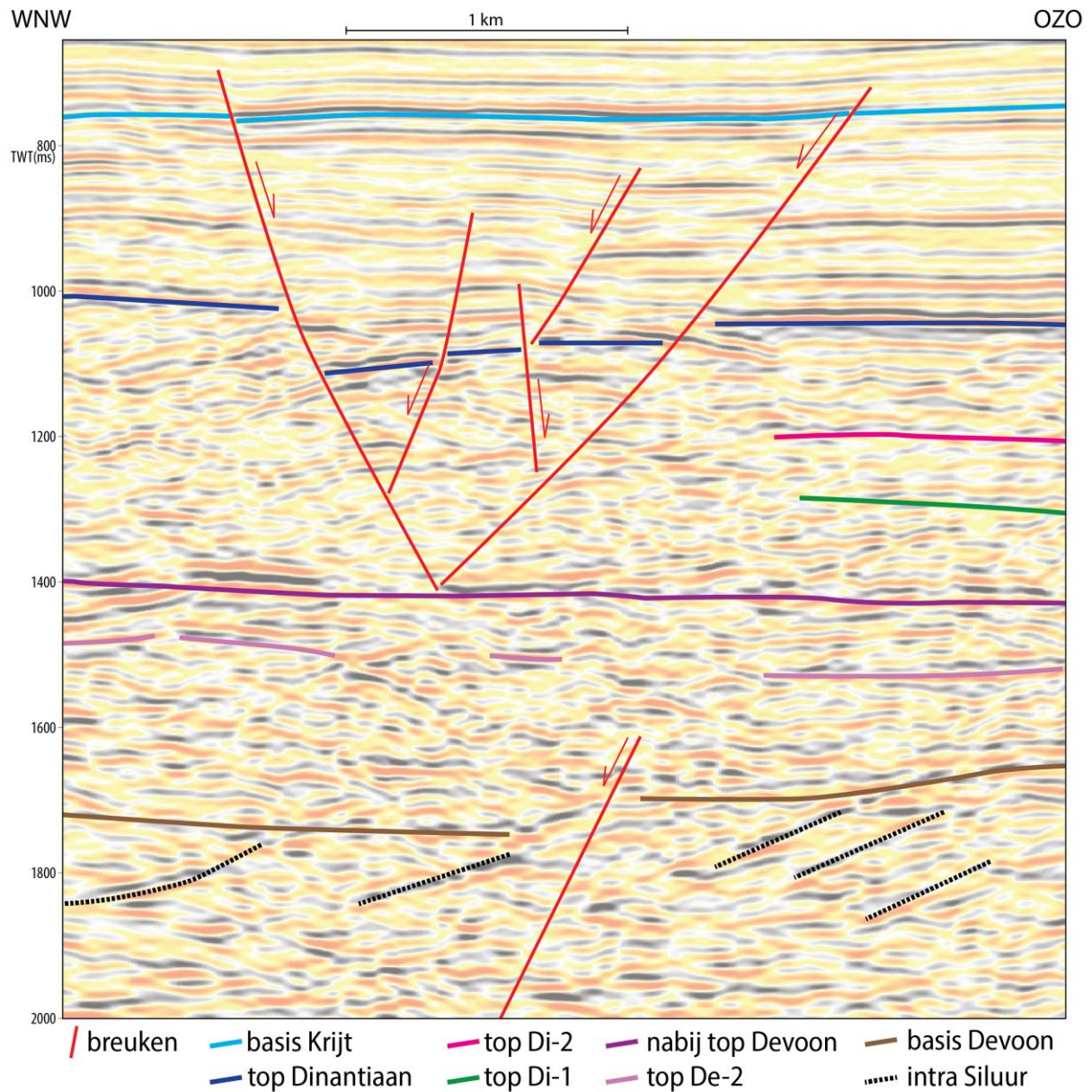


Figuur 15: Een synthetisch seismogram van het Dinantiaan in boring Saint-Ghislain, gelegen in het Mons Bekken, op basis van de logs van de akoestische snelheid ("P_velocity") en dichtheid ("Density"). Het sterkste geofysische contrast is gesitueerd op de zone waar de evaporieten zijn opgelost. Het tweede sterkste geofysische contrast valt samen met de Formatie van Pont d'Arcole (PDC). 1= Formatie van Oriënt.

Vanaf de Formatie van Pont d'Arcole tot in de top van de Famenniaan zandstenen is er een band van sterkere reflecties die de lithologische heterogeniteit van dit interval - carbonaten, schalies en zandstenen - weerspiegelen. De Formaties van Bosscheveld en Pont d'Arcole zijn echter niet overal aanwezig. In boring Booischot bijvoorbeeld ontbreken beide en liggen de Dinantiaan dolomieten van de Formatie van Vesder rechtstreeks op de Devoon zandstenen. Hierdoor is het aantal seismische contrasten aan de basis van het Dinantiaan beperkt. Dit weerspiegelt zich ook in het seismisch facies dat - in tegenstelling tot heel wat andere gebieden - samenvalt met slechts één matige reflectie (zie Figuur 17). De synthetische seismogrammen van Mol-GT-03 en Saint-Ghislain tonen dat de sterkste (lithologisch gerelateerde) geofysische contrasten aan de onderkant van het Dinantiaan zitten, net boven of op en onder de Formatie van Pont d'Arcole. Dit concept is meegenomen door deze studie. Op seismische lijnen zien we onder het zwak reflectieve Dinantiaan typisch een matig tot sterke hard-kick, gevolgd door een sterke soft-kick bovenop een sterke hard-kick. Op basis van de synthetische seismogrammen hierboven, vervolgen we de onderste sterke hard-kick, dewelke meest waarschijnlijk overeenstemt met de basis van de Formatie van Pont d'Arcole. Deze reflector zal dus niet exact samenvallen met de basis van het Dinantiaan die dieper ligt (Figuur 13), maar door diens sterke expressie en continuïteit is die wel te verkiezen als beste seismische representatie hiervan. Daarom spreken we hieronder over *nabij* basis Dinantiaan of *nabij* top Devoon.

- **Basis Devoon**

Voor de basis van het Devoon zijn er geen boringen met snelheidsdata en dus ook geen mogelijkheid tot het maken van een synthetisch seismogram om het seismische contrast aan de basis voor te stellen. Er zijn ook slechts twee boringen in het Bekken van de Kempen die deze basis doorboord hebben, namelijk boringen Booischot en Heibaart. Beide boringen liggen vlakbij seismische lijnen. Op basis van inschattingen van snelheden in het Devoon, kan de basis Devoon op deze seismische lijnen wel geïnterpreteerd worden. Zo kan er ook via deze lijnen kennisgenomen worden van de seismische expressie van de basis Devoon en het seismisch facies van het Devoon zelf op deze locaties. In boring Booischot bevindt er zich echter een dik pakket conglomeraten bovenop Siluurschiefers. Deze conglomeraten hoeven verder noordelijk, of verderaf van het Massief van Brabant, niet noodzakelijk voor te komen, waardoor het seismisch facies van het Devoon in boring Booischot ook niet noodzakelijk representatief is voor de rest van het Bekken van de Kempen. In boring Heibaart is het Devoon heel dun en door vervorming (helling en breuken) dan weer moeilijk om het seismisch signaal goed te lezen. Beide boringen maken ons daarom niet veel wijzer over de seismische expressie van het Devoon in het Bekken van de Kempen. Echter, de basis van het Devoon vormt lokaal een hoekdiscordantie met de onderliggende onder Paleozoische gesteenten. Zo ook bijvoorbeeld subtiel aan boring Booischot (zie Figuur 17). Deze hoekdiscordantie maakt dat de basis van het Devoon alsnog betrouwbaar geïnterpreteerd kan worden op plaatsen in het Bekken van de Kempen waar deze tot expressie komt, ervan uitgaande dat er binnen het Devoon zelf geen (lokaal) duidelijke hoekdiscordanties optreden. De hoekdiscordantie aan de basis van het Devoon is helaas op slechts een beperkt aantal plaatsen met goede betrouwbaarheid waar te nemen, en dit enkel op een beperkt aantal gereproceste lijnen. De reden voor de moeilijke interpretaties is het beperkte resterende signaal in combinatie met de overvloed aan multiples van bovenliggende lagen, de structureel toenemende complexiteit met diepte, en ook waarschijnlijk het vaak beperkte hoekverschil tussen de helling van het Devoon en dat van de onderliggende gesteenten, zoals bijvoorbeeld bij Booischot. Een van de meest duidelijke voorbeelden van deze hoekdiscordantie is te zien op lijn 9112 van de Rijkbevorsel 1991 campagne (Figuur 16).

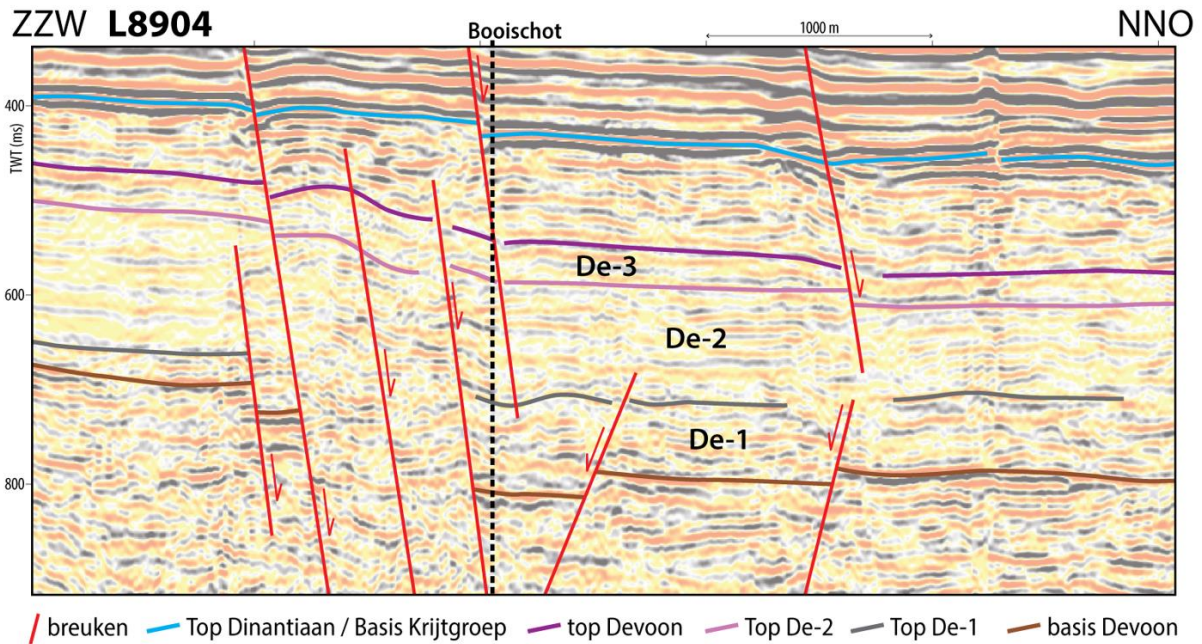


Figuur 16: Lijn 9112 van de Rijkevorsel 1991 campagne met een van de duidelijkste hoekdiscordanties aan de basis van het Devoon. Voor locatie zie Figuur 23.

4.2 Intra-Devoon seismische pakketten

De bovenkant van het Devoon is vanwege de sterke reflecties het best te vervolgen. Daaronder wordt het al snel complex om pakketten te vervolgen door een zwakker reflectief facies dat bovendien heel wat multiples van de basis van de Krijtgroep of jongere afzettingen lijkt te vertonen. De beste houvast voor seismische interpretaties onder de top van het Devoon was daarom de identificatie van de hoekdiscordantie aan de basis van het Devoon. Deze is op slechts een beperkt aantal plaatsen met voldoende zekerheid geïnterpreteerd (bijvoorbeeld Figuur 16 en Figuur 26). Op deze plaatsen kunnen er twee en lokaal drie pakketten afgebakend worden in het Devoon. Het onderste pakket, hierin genaamd De-1, is matig tot sterk reflectief. Het is niet altijd vast te stellen boven de basis van het Devoon, maar waar het voorkomt bestaat het uit een aantal dikke reflectieve banden die gezamenlijk meer dan 100 ms TWT dik kunnen zijn (Figuur 38). Het centrale pakket De-2 is meestal zwak tot matig reflectief, en De-3 daarboven matig tot sterk reflectief. De-3 vormt de overgang van het Devoon naar het Carboon, of de overgang van zandsteen en schalies naar zuivere kalksteen. Hierin zit dus met zekerheid nog de Formatie van Bosscheveld, wanneer deze aanwezig is, waardoor zeker het bovenste deel van De-3 als Dinantiaan beschouwd kan worden. Volgens het synthetisch seismogram van boring Mol-GT-03 is de Formatie van Evieux - uitgezonderd de topzone - zwak reflectief, waardoor deze al grotendeels tot De-2 gerekend zou worden (als Devoon aangegeven op Figuur 13), ervan uitgaande dat deze ook verder westelijk dik ontwikkeld is.

In boring Booischot verloopt deze overgang van het Devoon naar het Dinantiaan abrupt van de Devoon zandstenen van de Formatie van Evieux, zonder de aanwezigheid van kleine intervallen daartussen, naar de dolomieten van de Dinantiaan Formatie van Vesder en is de typisch sterk reflectieve top van De-3 dan ook afwezig (Figuur 17). Wel zijn de zandstenen van het Famenniaan nog duidelijk sterker reflectief dan de onderliggende schalies van de Formatie van Falisolle, wat hier samenvalt met de overgang van De-3 naar De-2, respectievelijk. Op de lijnen van de Oostmalle campagne is De-3 meestal rond 80-130 ms TWT dik (Figuur 16). Net zoals aan boring Booischot (en boring Heibaart) is dit pakket aan de Oostmalle campagne lokaal zwakker reflectief, wat wijst op laterale faciesveranderingen. In boring Booischot komt pakket De-2 grofweg overeen met het Frasniaan en onderste Famenniaan. Dit omvat de formaties van Aisemont, Fallisolle en de bovenkant van de Formatie van Booischot. De zwakke reflectiviteit wijst erop dat de geofysische contrasten binnen deze pakketten beperkt zijn. De kalkrijke pakketten binnen de Formatie van Aisemont of de zandstenen/klestenen binnen de bovenkant van de Formatie van Booischot zijn dus te dun om voor sterke reflectiecontrasten te zorgen. Onderin zorgen de Givetiaan conglomeraten, eveneens van de Formatie van Booischot, wel voor sterkere reflectiviteit van De-1.



Figuur 17: De interpretatie van de gereproceste lijn 8904 van de LSC 1989 campagne die doorheen boring Booischot loopt. Voor locatie zie Figuur 34.

4.3 Intra-Dinantiaan seismische pakketten

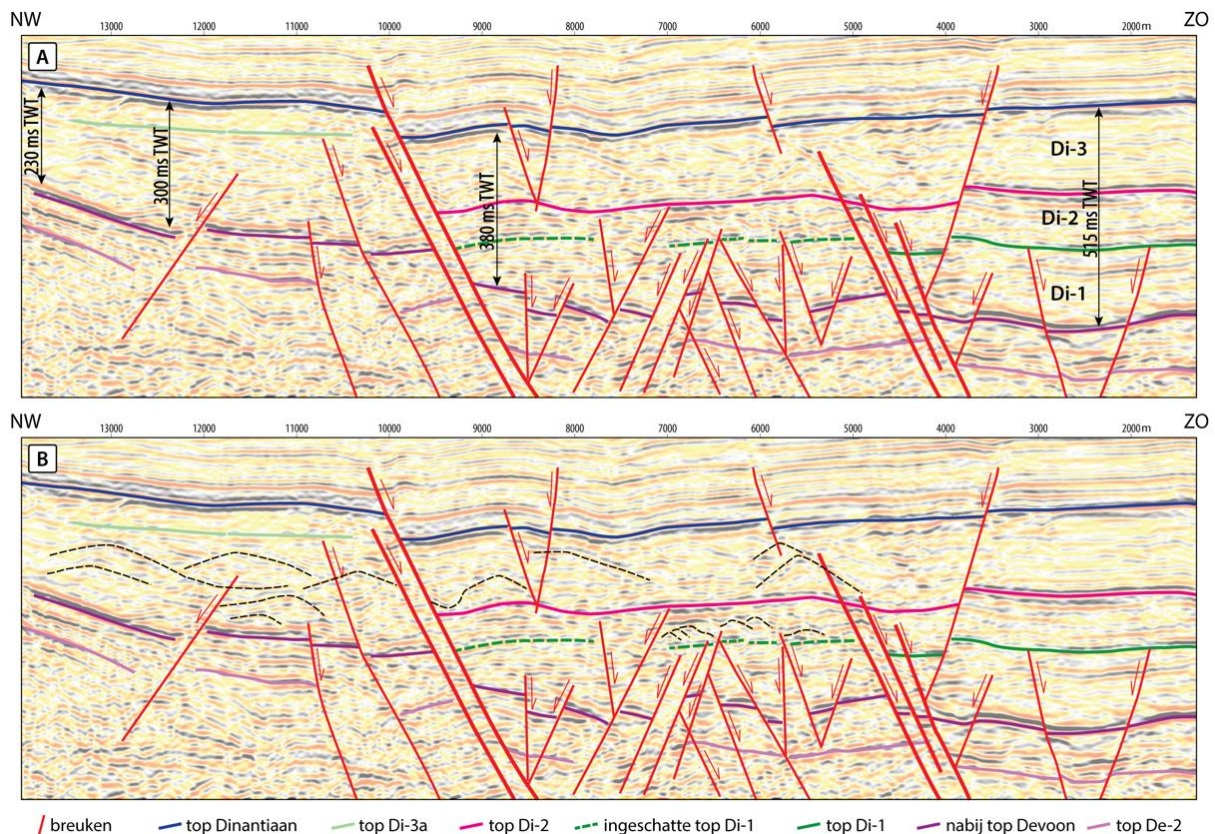
Voor deze studie is er getracht om naast de top en basis, ook binnen het Dinantiaan reflecties te interpreteren in zoverre als mogelijk. In tegenstelling tot de top en basis van het Dinantiaan, is deze indeling niet gebaseerd op het herkennen van bepaalde lithostratigrafische grenzen op seismiek, maar is er omgekeerd gewerkt. Er is gekeken naar welke niveaus op seismiek duidelijk vervolgd kunnen worden, en nadien zijn deze gekoppeld aan litho- of chronostratigrafische grenzen. Hierdoor is er dus niet gestart vanuit boringen, maar vanuit seismiek zelf. De reden hiervoor is dat er weinig boringen zijn die diep tot in het Dinantiaan gaan en dat de geofysische contrasten binnen het Dinantiaan hierin vaak klein zijn, zie Figuur 13. Op seismiek daarentegen zijn soms wel duidelijke contrasten waar te nemen op locaties verder van deze boringen.

Niet op alle seismische lijnen zijn indelingen in het Dinantiaan te maken. Er zijn een aantal voorwaarden waaraan de campagnes moeten voldoen om een interne onderverdeling in het Dinantiaan te kunnen definiëren:

- De kwaliteit van de campagne moet goed genoeg zijn om interne reflecties consistent te kunnen vervolgen. Het Dinantiaan mag ook niet te diep gelegen zijn omdat dit de resolutie verlaagt en het overgebleven signaal op grotere diepte te beperkt is om nog subtiele impedantiecontrasten te detecteren. Dit limiteert het bereik tot het westelijke deel van het Bekken van de Kempen waar de betere campagnes beschikbaar zijn, het Dinantiaan niet te diep gelegen is, en daarenboven de structurele complexiteit en hellingen van de lagen gemiddeld gezien beperkter zijn dan in het oostelijk deel.
- Je hebt hiervoor een campagne nodig met lange lijnen die elkaar snijden om de consistentie van de interne onderverdeling te kunnen controleren. Dit sluit bijvoorbeeld de lijnen van de Rijkvorschel campagnes van 1990 en 1991 uit omdat die veelal kort zijn en soms kriskras lopen.

- Het moet een representatieve campagne zijn voor een grotere regio. Dit sluit de campagne van Heibaart 1974 uit omdat die specifiek focust op de anomale Heibaart Structuur.

De seismische campagne die hierop veruit het beste scoort is deze van Oostmalle. Deze lijnen zijn van de beste kwaliteit voor het Dinantiaan, het zijn lange lijnen met twee sets rechte lijnen dewelke ongeveer loodrecht staan op elkaar en representatief zijn voor het relatief ondiep gelegen Dinantiaan van het westelijke Bekken van de Kempen. Daarom is er gekozen om een indeling van het Dinantiaan zoveel als mogelijk uit te werken op basis van de Oostmalle campagne en deze daarna proberen vervolgen naar de andere seismische campagnes.



Figuur 18: Lijn 8108 van de Oostmalle campagne waarop de verschillende geïnterpreteerde pakketten binnen het Dinantiaan zijn aangegeven (A). Sectie A duidt ook op de afname in dikte van Di-1 richting het noordwesten van de lijn. In het noordwesten valt het onderscheid tussen Di-1 en Di-2 niet langer te maken aangezien het ganse Dinantiaan er zwak reflectief is. Pakket Di-3b valt hier nog wel subtiel te onderscheiden. In sectie B worden enkele van de grote build-up structuren met zwarte streepjeslijnen aangegeven. Het is vermoedelijk door deze stapeling van build-up structuren dat het onderscheid tussen Di-1 en Di-2 niet te maken is in het noordwesten van de figuur. Voor locatie zie Figuur 23.

De lijnen van de Oostmalle campagne tonen een sterke verscheidenheid aan seismische facies in het Dinantiaan. In het zuiden van de campagne, zoals in het uiterste zuidoosten van seismische lijn 8108 (Figuur 18), is de indeling van het Dinantiaan het meest helder te maken. Hier is het Dinantiaan relatief dik ontwikkeld (500 ms TWT en meer) en bestaat het uit drie zwak reflectieve pakketten die gescheiden worden door twee sterke reflecties. De drie pakketten worden van onder naar boven Di-1, -2 en -3 genoemd in deze studie. Ze hebben de volgende kenmerken op de Oostmalle campagne:

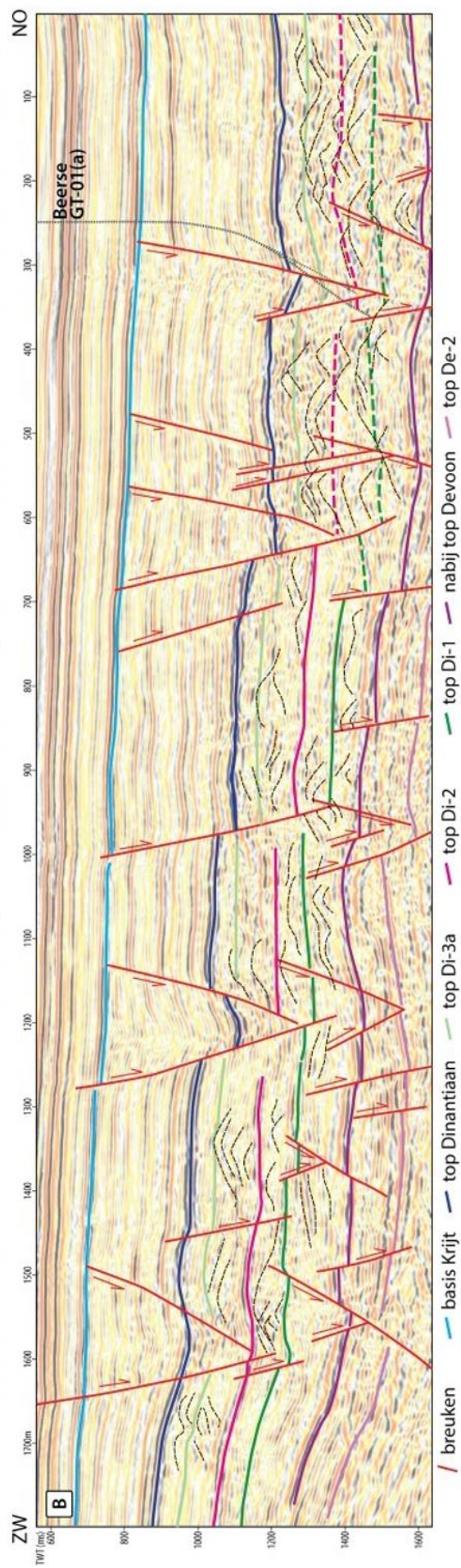
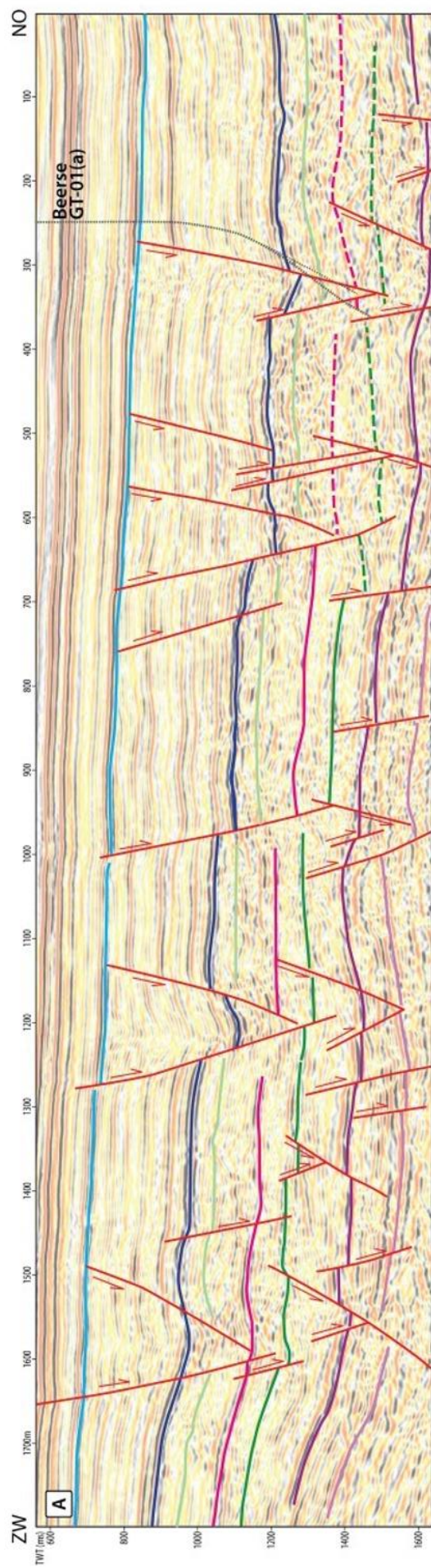
- **Di-1:** In heel de Oostmalle campagne gekenmerkt door een zwak tot matig reflectief pakket. In het zuidoosten van lijn 8108 heeft het een dikte tot 200 ms TWT (Figuur 18).
- **Di-2:** Een zwak tot matig reflectief pakket centraal in het Dinantiaan dat aan de top en basis begrensd wordt door zwak, matig tot lokaal sterkere reflecties. Het is ongeveer 120 ms TWT dik in het zuidoosten van lijn 8108 (Figuur 18). Verder van lijn 8108 kan dit pakket echter moeilijk afgelijnd worden omdat ofwel de basis ofwel de top reflectie ervan vaak zwak reflectief wordt (Figuur 19).
- **Di-3:** In het zuidoosten een heel zwak reflectief pakket dat naar het noorden toe progressief sterker reflectief wordt. Ten noorden van de Oostmalle campagne, maar ook op heel wat seismische campagnes verder weg in het Bekken van de Kempen, is dit net het sterkst reflectieve pakket van het Dinantiaan. Op lijn 8108 is dit pakket met 200 ms TWT relatief dik ontwikkeld en opvallend zwak reflectief (Figuur 18). Het wordt onderin begrensd door een sterke positieve reflector die gelegen is onder een sterke negatieve reflector.
 - Naar het noordwesten op lijn 8108 (Figuur 18) en op andere lijnen van de Oostmalle campagne, onderscheidt zich binnen het sterker reflectieve Di-3 een bovenste zone van 60-70 ms TWT met een zwakker reflectief seismisch facies. Door dit faciesverschil maken we binnen Di-3 een onderscheid tussen seismische pakketten **Di-3a** onderin en **Di-3b** bovenin. In het zuidoosten van lijn 8108 is het ganse pakket Di-3 nog zwak reflectief, waardoor het onderscheid tussen Di-3a en Di-3b er niet opvalt. Naar het noorden toe wordt Di-3a wat meer reflectief waardoor het onderscheid met het zwak reflectieve Di-3b wel opvalt. Lokaal zoals aan de boringen van Beerse (Figuur 19), is Di-3b matig tot sterk reflectief.

Op basis van correlaties en het sequentiestratigrafische kader (paragraaf 3.3) kunnen we inschattingen geven over de ouderdom van de pakketten en grenzen ertussen. Omdat we van boven naar beneden toe progressief minder data uit boringen hebben, worden de pakketten hieronder van jong naar oud besproken:

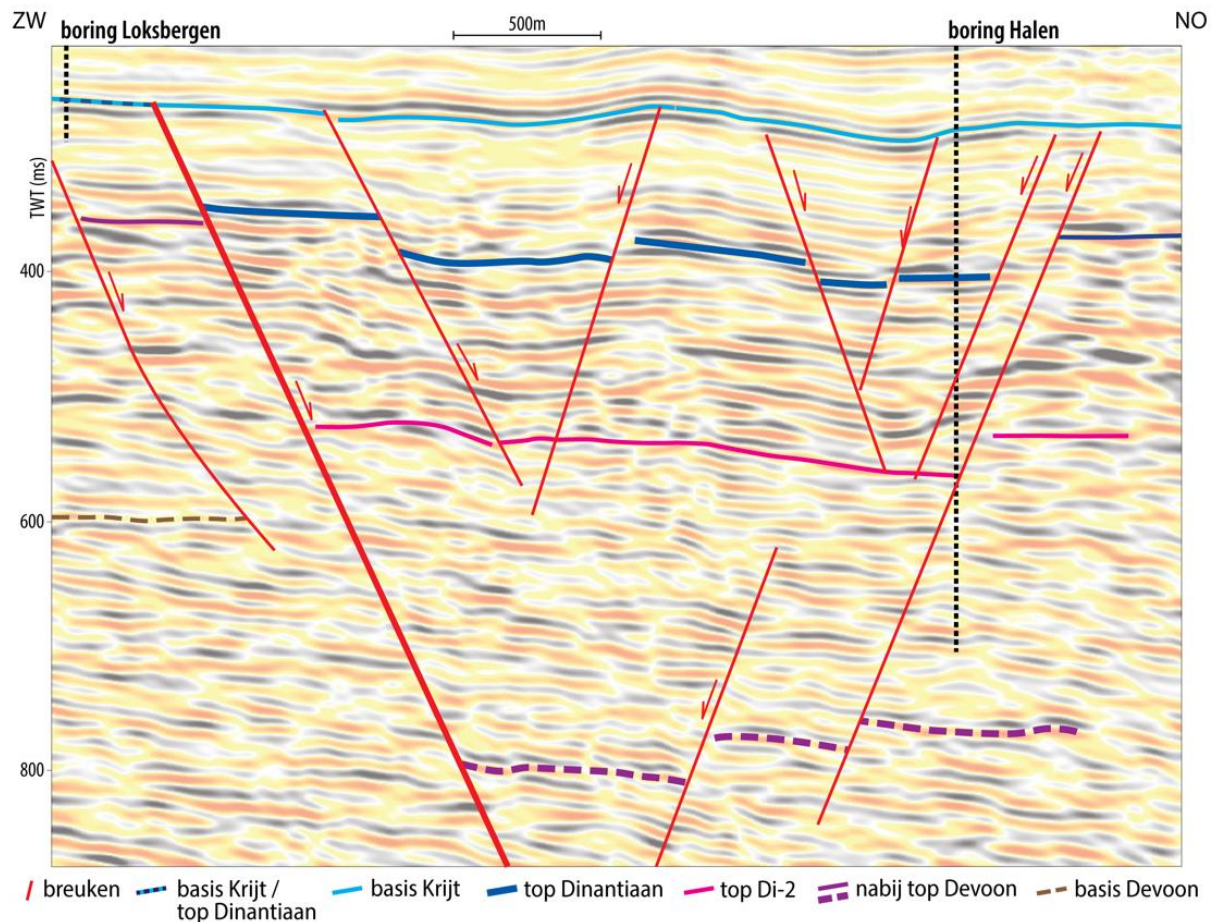
- Pakket Di-3: Boring Beerse-GT-01a lijkt net doorheen de ingeschatte diepte van de basisreflector van Di-3 te gaan (Figuur 19). In deze boring valt die basis ongeveer samen met de overgang van hogere gamma-waardes naar lagere gamma-waardes. Biostratigrafische analyses van Luc Hance (pers. comm.) op boring Beerse-GT-01a wijzen erop dat deze basis zou kunnen samenvallen met de overgang van Viseaan naar Tournaisiaan. Meer zekere biostratigrafische analyses van deze overgang werden uitgevoerd in boring Halen door Hance (2022). Aan deze boring is een sterk reflectief facies, ook geïnterpreteerd als Di-3, ongeveer 160 ms TWT dik (Figuur 20). Rekening houdende met een snelheid van 6000 m/s binnen het Dinantiaan kom je dan uit op een dikte van 480 m voor dit pakket. Als je dit van de top van het Dinantiaan in boring Halen aftrekt (top Dinantiaan op 608 m volgens Bless et al., 1976), dan kom je op 1088 m wat vlakbij de grens tussen het Tournaisiaan en Viseaan ligt volgens dateringen van Hance (2022; tussen 1075 m en 1077 m). Net zoals aan boring Beerse-GT-01a valt in boring Halen de overgang van Viseaan naar Tournaisiaan ook samen met een terugval van hogere naar lagere gamma-waardes. Beide boringen zijn daarom consistent qua ouderdom voor de basis van pakket Di-3.
De dikte van interne sequenties binnen het Viseaan van beide boringen is echter sterk verschillend. In boring Halen in het oostelijke Bekken van de Kempen is de jongste Viseaan Formatie van Goeree namelijk dik ontwikkeld terwijl deze afwezig is aan boring Beerse. In boring Beerse in het westelijk deel van het Bekken van de Kempen is de oudste Viseaan MFZ9 biozone dan weer vermoedelijk dik ontwikkeld, terwijl deze afwezig is in boring Halen. Dit vertaalt zich ook in diachronisme voor de eenheden Di-3a en Di-3b:
- Aan boring Beerse-GT-01a is Di-3b relatief sterk reflectief met een hard-kick in het centrum (Figuur 19). Op basis van correlaties met de boringen van Beerse-GT, komt deze centrale hard-kick ongeveer overeen met de overgang van de Formatie van Loenhout (MFZ13 tot -14; 100-tal meter dik) naar de Formatie van Velp (MFZ11 en -12). De basis van Di-3b zou dan overeen kunnen stemmen met de basis van de Formatie van Velp (80-tal meter dik) en de MFZ11 biozone. Di-3a zou dan de onderliggende Formatie van Steentje-Turnhout omvatten en een onder Moliniciaan (biozones MFZ9-10) ouderdom hebben.
- Aan boring Halen heb je bovenin Di-3 een zwak reflectief pakket van 70 ms TWT dat qua facies en dikte als Di-3b kan geïnterpreteerd worden (Figuur 20). Rekening houdende met een snelheid van 6000 m/s binnen het Dinantiaan kom je dan uit op een dikte van 210 m voor dit pakket. Dit komt in boring Halen volgens de datering van Hance (2022) overeen qua dikte met biozone MFZ15 en lithostratigrafisch met de Formatie van Goeree. Pakket Di-3a daaronder zou dan een boven Moliniciaan tot onder Warnantiaan ouderdom hebben (biozones MFZ11-14).

Hoewel de ouderdom van Di-3 dus hetzelfde is in de boringen van Beerse-GT-01a en Halen (MFZ9-15), blijft deze ouderdom toch onzeker verderaf van deze boringen. Nabij boring Beerse-GT-01a zitten namelijk tal van grote, verticaal gestapelde build-up structuren (Figuur 19). Boring Beerse-GT-01a lijkt net tussen deze build-up structuren te zijn geboord, waardoor misschien net hier een dik vroegste Viseaan werd aangeboord dat bestaand paleo-reliëf tussen de omliggende Tournaisiaan build-up structuren kan hebben opgevuld. De grootte van deze omliggende build-up structuren doet namelijk vermoeden dat het Waulsortiaan mudmounds zijn van Tournaisiaan ouderdom. Een dergelijke situatie is namelijk beschreven in het Bekken van Dinant waar mudmounds van Tournaisiaan sequenties 3 en 4 tijdens het vroege Viseaan nog paleohogen vormden waartussen vroege Viseaan kalkstenen (biozone MFZ9-10) werden afgezet (Figuur 21). Pas later tijdens het Viseaan (biozone MFZ11) werden deze Tournaisiaan paleohogen overspoeld. Het is daarom goed mogelijk dat, in analogie met het Bekken van Dinant, de basis van Di-3 tussen de build-up structuren (zoals in Beerse) samenvalt met de basis van de onder Viseaan sequenties 5 of 6 en ter hoogte van de build-up structuren samenvalt met bijvoorbeeld de boven-Ivoriaan sequentie 4B. Deze laatste situatie hebben we proberen schetsen met de rode lijn op Figuur 21. Dit heeft als gevolg dat de grenzen tussen de pakketten van het Dinantiaan zullen variëren in ouderdom en dat er niet over een exacte ouderdom kan gesproken worden. Hierdoor is het correcter om te spreken van “nabij” basis Viseaan voor de basis van Di-3.

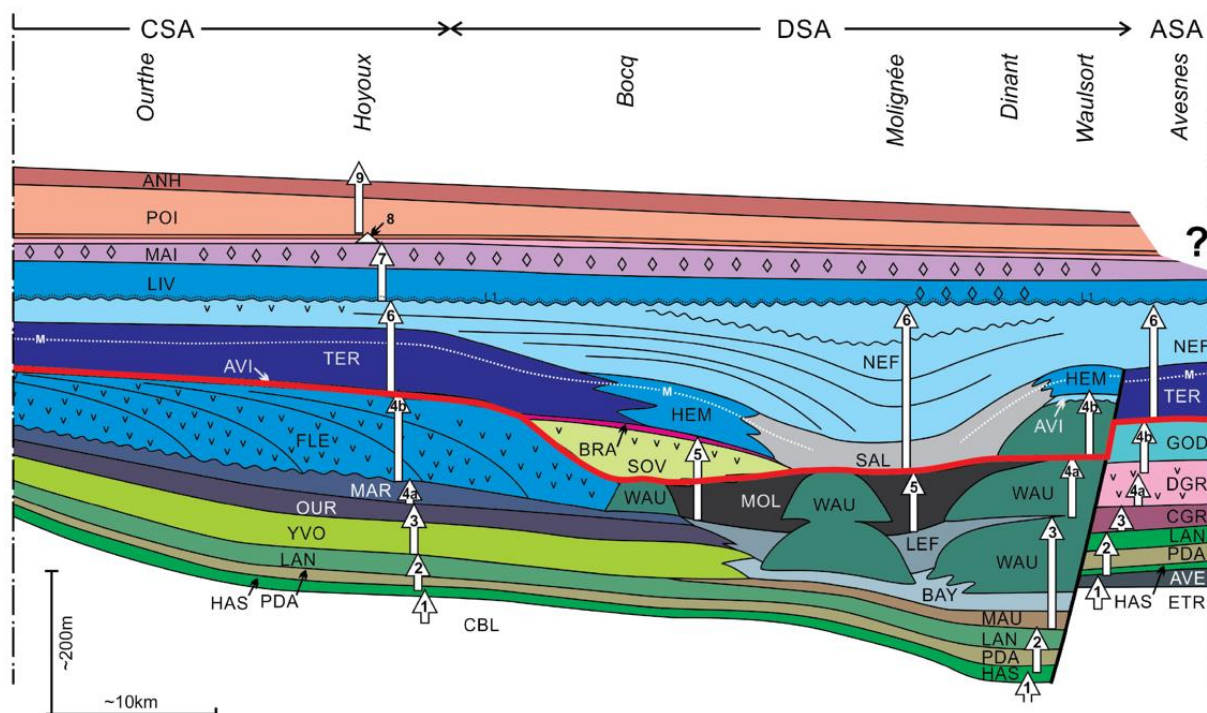
- Pakketten Di-2 en Di-1: op basis van de inzichten van Di-3 zoals hierboven beschreven, zouden pakketten Di-2 en Di-1 dus tot het Tournaisiaan moeten behoren. De basis van Di-1 valt samen met de sterke reflecties die geassocieerd zijn met de Formatie van Pont d’Arcole of lateraal equivalent van de Formatie van Maurenne (zie paragraaf 4.1), die een midden tot boven Hastariaan ouderdom hebben, respectievelijk (Poty, 2016). Pakketten Di-1 en Di-2 zouden dan een boven Hastariaan tot en met Ivoriaan ouderdom hebben. De grens tussen beide pakketten is duidelijk een sequentiegrens. In Wallonië worden er tussen het boven Hastariaan en Ivoriaan twee derde-orde sequentiegrenzen beschreven, één tussen sequenties 3 en 4 en de andere hogerop tussen sequenties 4A en 4B (zie ook Figuur 6). Aangezien het de eerste duidelijke sequentiegrens is op seismische data boven de midden/boven Hastariaan reflector, schatten we dat de grens tussen Di-1 en Di-2 samenvalt met de grens tussen sequenties 3 en 4. Dan zou pakket Di-1 samenvallen met de bovenste Hastariaan en onder Ivoriaan sequentie 3 en pakket Di-2 met de midden tot boven Ivoriaan sequentie 4.



Figuur 19: Lijn 8109 van de Oostmalle campagne die langsheen de Beerse-GT-01 boringen loopt en waarop de verschillende geïnterpreteerde pakketten van binnen het Dinantiaan aangegeven zijn. In het westen valt het onderscheid tussen pakketten binnen het Dinantiaan nog goed te maken, maar naar het oosten niet meer, waardoor de grenzen ertussen hier met streepjeslijnen zijn aangegeven. Deze verminderde vervolgbaarheid is een gevolg van de stapeling van build-up structuren. In sectie B van deze figuur worden enkele build-up structuren met zwarte streepjeslijnen afgelijnd. Let op de breukwerking in Di-1 die vermindert naar Di-2, terwijl Di-3 amper of niet meer door syn-sedimentaire breukwerking wordt beïnvloed. Hierdoor heeft Di-3 hier een heel uniforme dikte van ongeveer 180 ms TWT, hetgeen overeenkomt met iets meer dan 500 meter. Voor locatie zie Figuur 23.



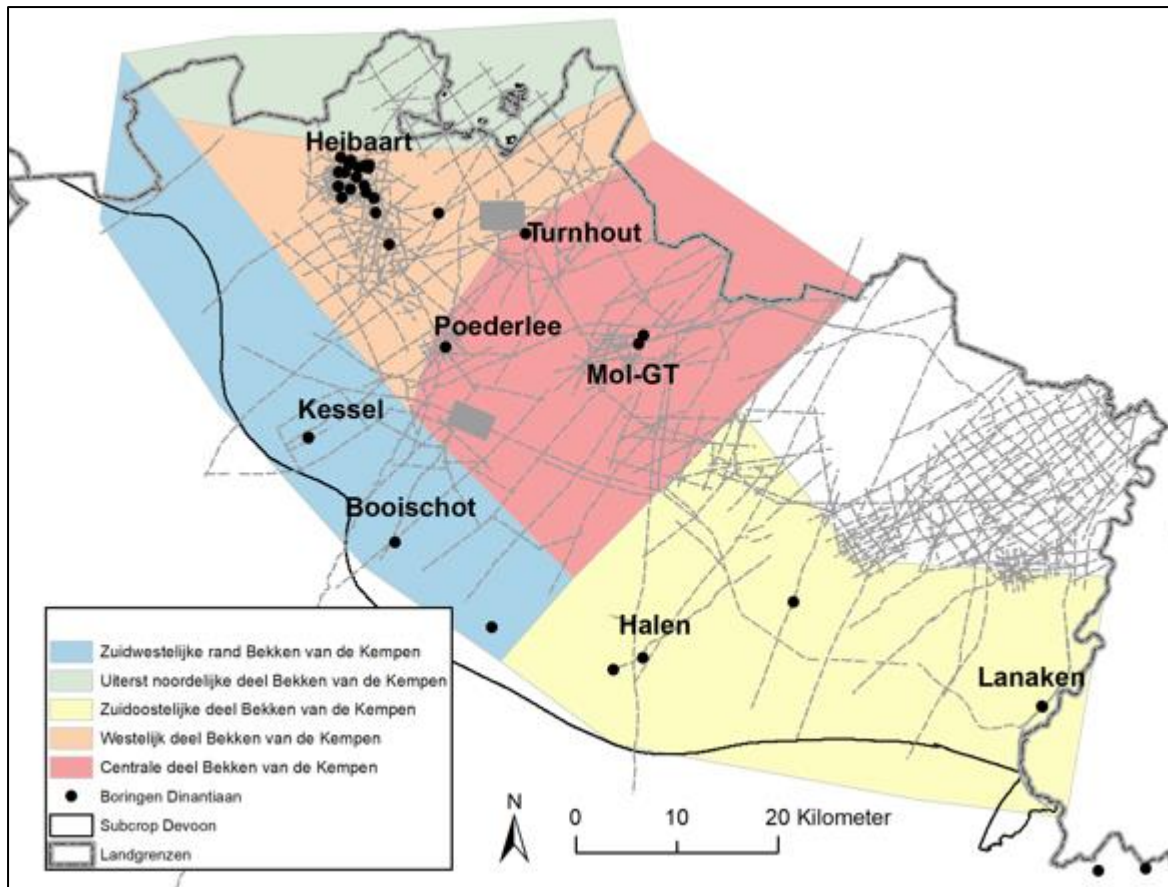
Figuur 20: De gereproceste lijn 8956 van de LSC 1989 campagne die nabij boringen Halen en Loksbergen loopt met daarop de geïnterpreteerde horizons van het Dinantiaan. De twee grabens bovenin het Dinantiaan centraal op de figuur zorgen voor welvingen van het Krijt erboven wat indicatief kan zijn dat het (deels) instortingsstructuren zijn.



Figuur 21: Geometrie van de 9 sequenties van het Dinantiaan in Wallonië uit Poty (2016) met een dikke rode lijn, dewelke weergeeft met welke sequentiegrenzen de basis van seismisch pakket Di-3 allemaal zou kunnen overeenkomen afhankelijk van de ligging. Aan boringen Beerse en Halen valt die basis samen met de basis van het Viseaan of top sequentie 4, maar elders kan dat ook de basis van de bovenste sequentie van het Ivoriaan (basis seq. 4B of top 4A) zijn of mogelijks zelfs de basis van het boven Moliniaciaan (basis seq. 6 of top seq. 5). Voor een bespreking van de verschillende eenheden hierop, zie Figuur 10.

4.4 Resultaten interpretaties seismische horizons Dinantiaan en lokaal ook devoon

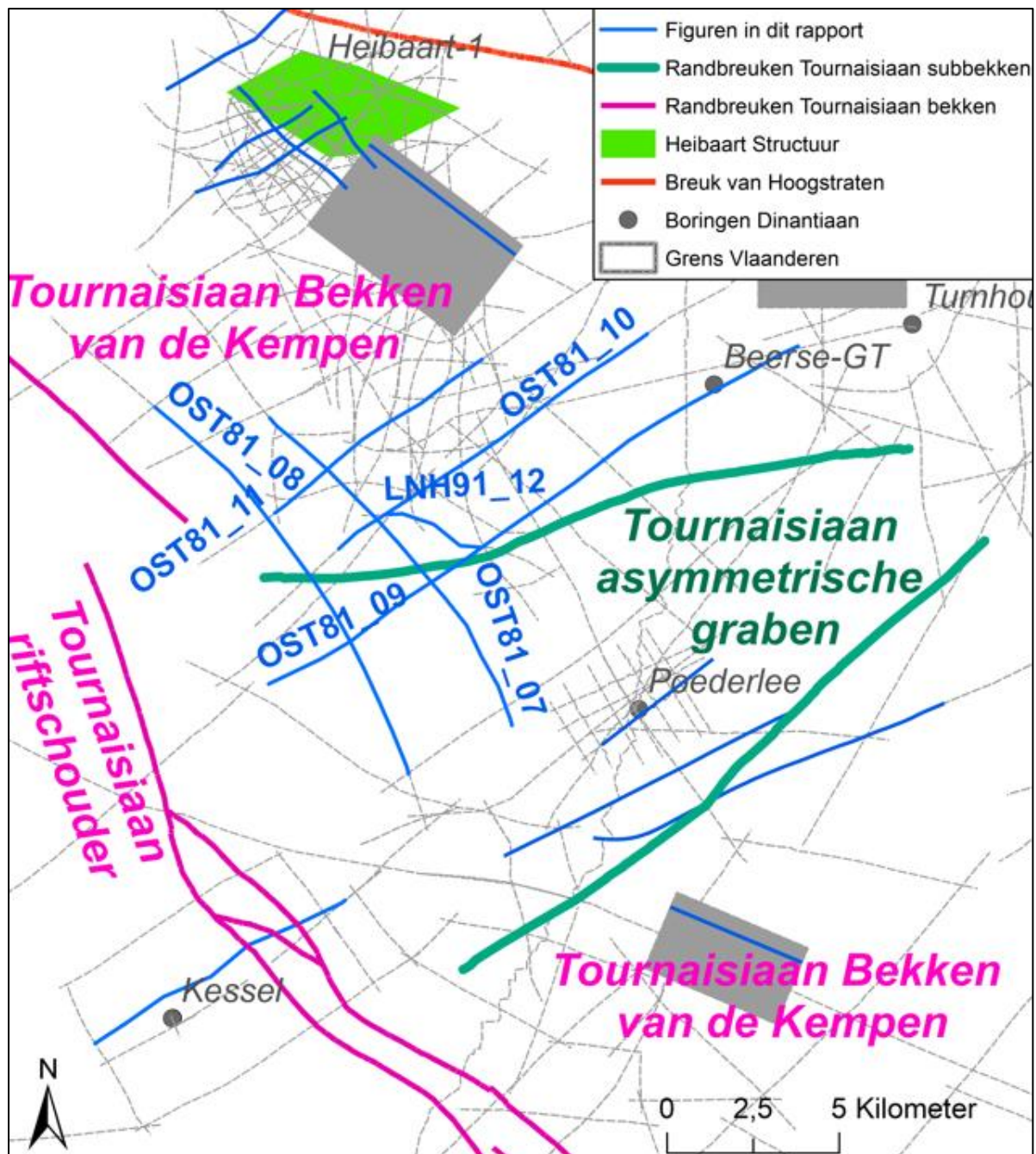
De resultaten van de seismische interpretaties van de hierboven beschreven horizons en pakketten worden hieronder verder besproken in deelgebieden van het Bekken van de Kempen om de bespreking ervan overzichtelijker te houden. Figuur 22 biedt een overzicht van deze deelgebieden. De deelgebieden vallen veelal samen met regio's met een aparte tektonische of sedimentologische geschiedenis tijdens het Dinantiaan. Hun tektonische of sedimentologische specificiteit wordt ook in de titel van de paragraaf vermeld.



Figuur 22: Overzicht van de verschillende deelgebieden van het Bekken van de Kempen die voor de toelichting van de seismische interpretaties in deze studie worden onderscheiden. Ook enkele van de belangrijkste boringen staan vermeld.

4.4.1 Westelijk deel Bekken van de Kempen – Tournaisiaan intra-rift en -hoog

Dit gebied omvat de regio die bedekt wordt door de seismische campagne van Oostmalle in het oosten en de Heibaart structuur in het noordwesten (Figuur 22). Er zijn in deze regio tal van boringen die het Dinantiaan aanboren (Figuur 23). Voor de interpretatie van de Oostmalle campagne zijn vooral de boringen van Beerse-GT gebruikt die tot diep in het Dinantiaan gaan en voor de Heibaart Structuur boring Heibaart-01 waarin de basis van het Devoon bereikt werd.



Figuur 23: Overzicht van de locaties van de seismische lijnen die in dit rapport getoond worden voor het westelijke deel van het Bekken van de Kempen. Enkele van de belangrijkste boringen in dit gebied en de seismische lijnen/3D campagnes zijn ook weergegeven, net als de Heibaart Structuur en de Breuk van Hoogstraten zoals gemodelleerd voor het G3Dv3-model, en belangrijke structuren zoals gemodelleerd voor de huidige studie. Op het complexe gebied van Heibaart wordt verder ingezoomd in Figuur 28.

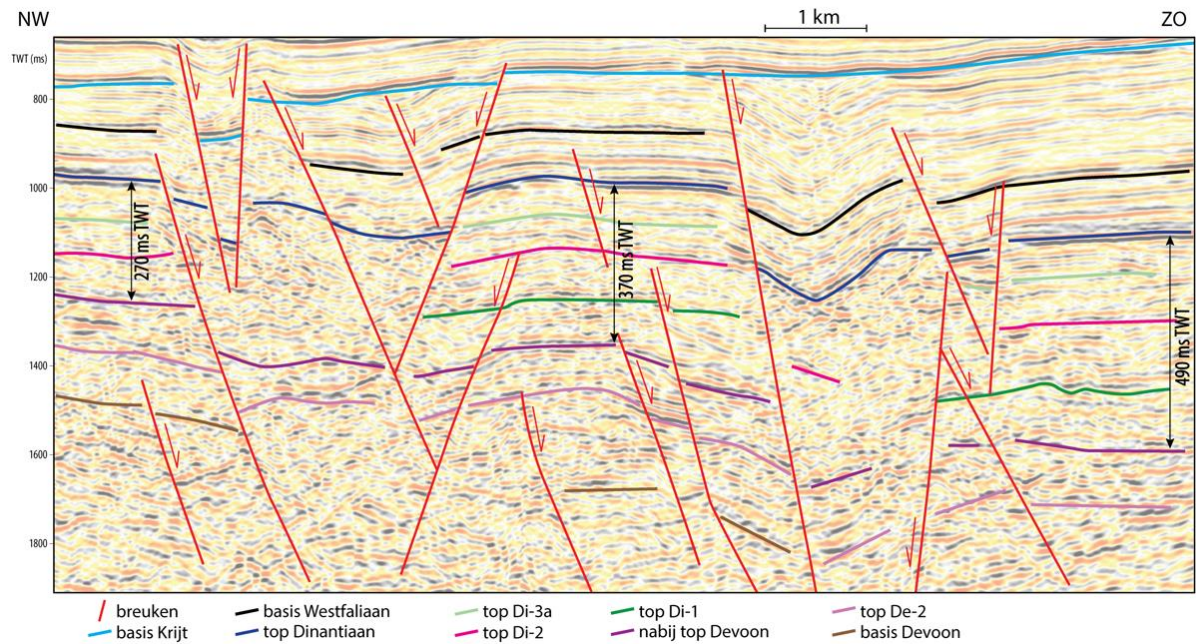
- **Devoon**

Lokaal valt er in het westelijke deel van het Bekken van de Kempen onder de basis van het Dinantiaan een hoekdiscordantie te observeren die geïnterpreteerd wordt als basis van het Devoon. Een voorbeeld hiervan is op lijn 9112 van de Rijkvorschorsel 1991 campagne (Figuur 16). Op deze lijn valt er weinig indeling binnen het Devoon te maken, buiten de sterker reflectieve top (De-3).

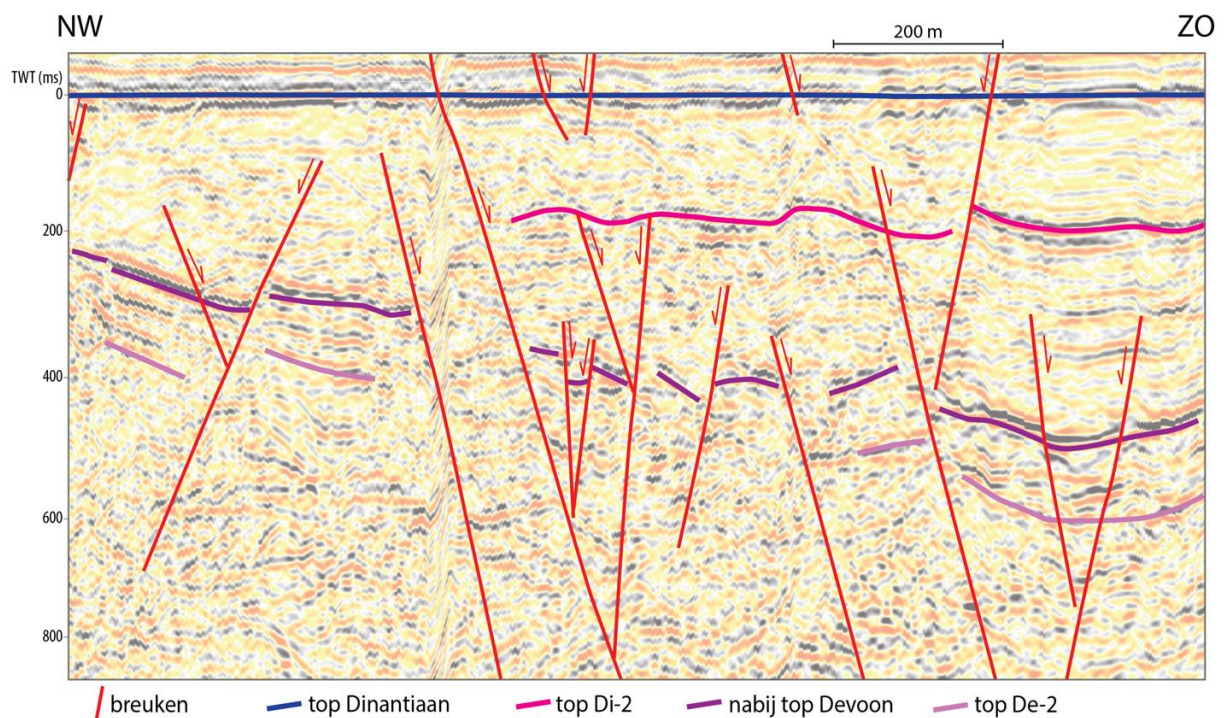
De dikte van het Devoon is hier 240 ms TWT, wat in dezelfde grootteorde is als de dikte van het Devoon zoals gemeten op de seismische lijn langs boring Booischot. Ook in het west-zuidwesten van lijn 9106 aan de voet van de Heibaart Structuur, is een gelijkaardig dikte voor het Devoon geïnterpreteerd (Figuur 31). Hier is geen duidelijke hoekdiscordantie vastgesteld, maar wel een sterke, continue reflectie die goed vervolgbaar is. Op de Heibaart Structuur zelf, waarvan het zuidwesten zichtbaar is op het oost-noordoostelijke deel van lijn 9106, is in boring Heibaart-01 vastgesteld dat het Devoon minder dan 200 m of 100 ms TWT dik is. Hierdoor is er een belangrijke verdunning (140-tal ms TWT) vereist van het Devoon van de flank naar de Heibaart Structuur zelf. Volgens onze interpretatie vindt deze verdunning plaats via een combinatie van helling en een complex breukensysteem rond de Heibaart Structuur. Echter, de interpretatie van breuken in het Devoon is uiterst onzeker. In elk geval wijzen de seismische interpretaties erop dat de dikte van boring Booischot niet anomaal is voor de regio, zoals eerder soms werd aangenomen, maar dat het ook op andere plaatsen in het Bekken van de Kempen bereikt wordt. Daarentegen lijkt de dikte van het Devoon op de Heibaart Structuur eerder anomaal voor deze regio, wat – zoals later in dit rapport blijkt – ook zo voor het Dinantiaan het geval is.

- **Dinantiaan**

Opvallend voor het Dinantiaan is de vaak grote dikte in deze regio, die in het zuiden van de Oostmalle campagne kan oplopen tot meer dan 600 ms TWT of bij een snelheid van 6000 m/s een 1800 m. Naar het noordwesten toe verdunt de eenheid tot 300 ms TWT en minder (Figuur 18 en Figuur 24). Hierbij valt op dat hoofdzakelijk de pakketten Di-1 en Di-2 sterk verdikken naar het zuiden van de Oostmalle campagne, en pakket Di-3 veel minder. Dit hebben we in Figuur 25 proberen duiden door de top van het Dinantiaan plat te leggen. Pakket Di-3 kent in de regio (uitgezonderd de Heibaart Structuur; zie volgende sectie) een relatief uniforme dikte van een 160-200 ms TWT. De pakketten van Di-1 en Di-2 daaronder variëren van samen minder dan 150 ms TWT in het noorden tot 400 ms TWT in het zuiden. Deze diktevariatie is hoofdzakelijk een gevolg van normale breukwerking (zie bijvoorbeeld Figuur 18 en Figuur 19). Aangezien de pakketten Di-1 en -2 als Tournaisiaan worden geïnterpreteerd (zie paragraaf 4.3), wijst dit op een Tournaisiaan breukenfase. De meeste van deze breuken lijken uit te sterven in pakket Di-1, sommigen werken nog door in Di-2 en zeldzaam tot in pakket Di-3 (Figuur 18). Dit wijst erop dat breukwerking uitstierf richting Di-3, of grofweg het Viseaan, en verklaart waarom er weinig diktevariatie zit in Di-3 ten opzichte van de onderliggende Di-1 en Di-2-pakketten. Vooral de dikte van pakket Di-1 wordt sterk beïnvloed door een grote hoeveelheid normale breuken (zie bijvoorbeeld Figuur 18 of Figuur 19). De grootteorde van breuken varieert sterk, van enkele ms tot 100 ms TWT. In de regio van Oostmalle vormen de breuken veelal horst- en grabenstructuren (zie bijvoorbeeld graben centraal op Figuur 26), en lokaal ook half-grabens (zie bijvoorbeeld in het noordwesten van Figuur 18). In het zuiden van deze campagne zijn er een reeks zuidhellende normaalbreuken die een asymmetrische Tournaisiaangraben afbakenen (zie ook Figuur 59) waar de bovenvermelde maximale diktes van 400 ms TWT voorkomen. Dit depocenter hebben we aangegeven in Figuur 23. De westrand en zuidrand van deze asymmetrische graben worden besproken in de paragrafen 4.4.2 en 4.4.4 over het zuidwestelijke en centrale deel van het Bekken van de Kempen.

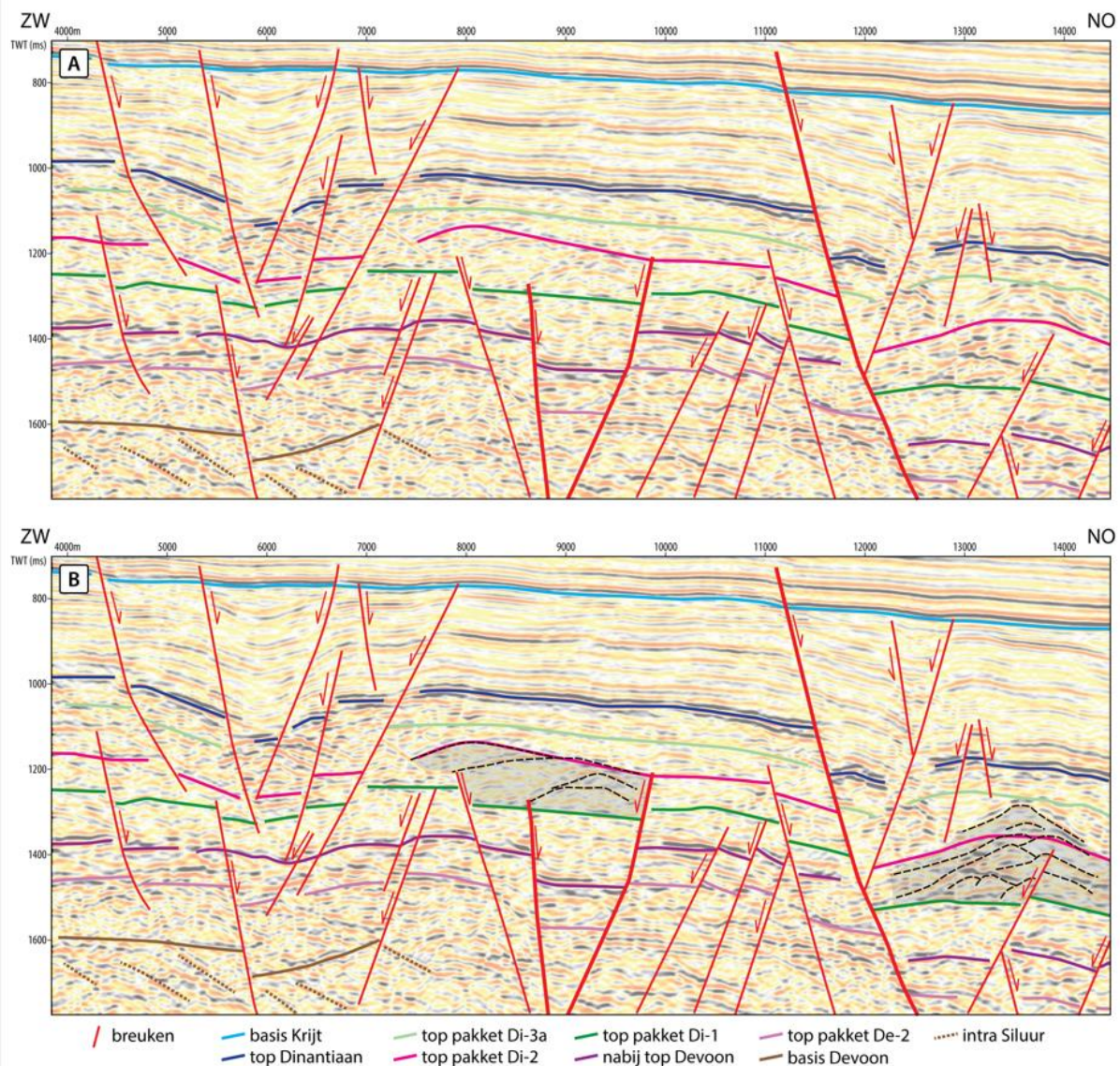


Figuur 24: Lijn 8107 van de Oostmalle campagne waarop een noordwestwaartse verdunning van het Dinantiaan te zien is in twee sprongen die samenvallen met grote instortingsstructuren. Voor locatie zie Figuur 23.



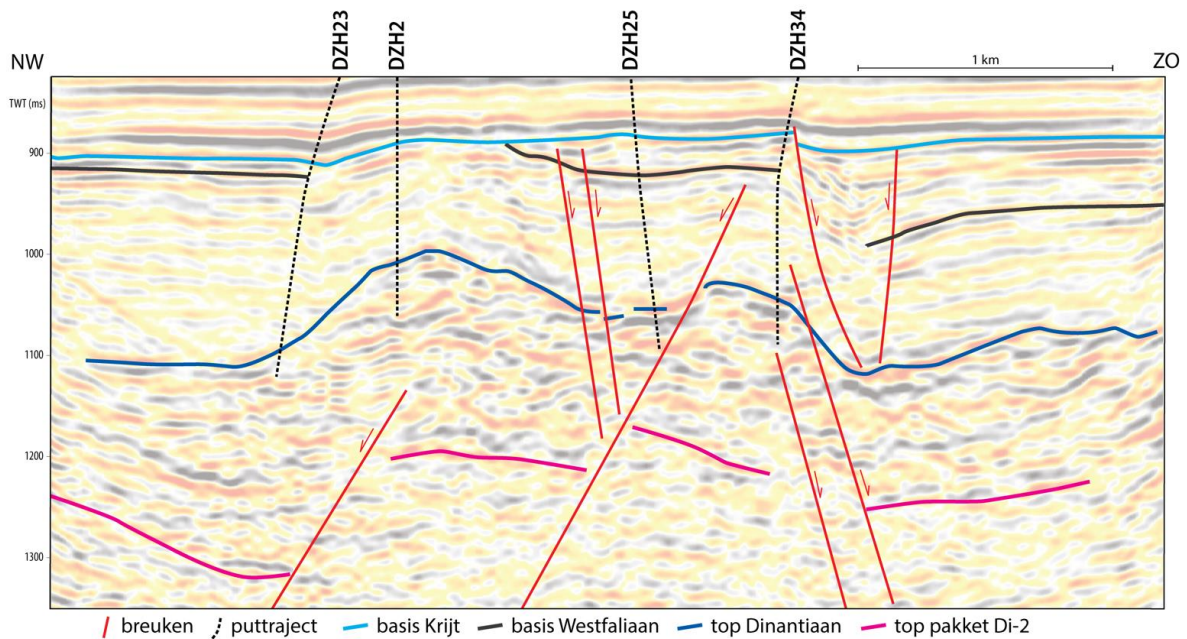
Figuur 25: Lijn 8108 van de Oostmalle campagne platgelegd op de seismische interpretatie van de top van het Dinantiaan. Hierdoor is de verdikking van het Dinantiaan (Tournaisiaan) onder de top van Di-2 richting het zuiden duidelijk waar te nemen. Voor locatie zie Figuur 23.

In het ganse bereik van het Dinantiaan komen build-up structuren voor. Die kunnen enorme gestapelde complexen tot 150 ms TWT of 450 m dikte (bij een snelheid van 6000 m/s) vormen (zie bijvoorbeeld Figuur 26). Deze complexen bevinden zich vaak binnen de grenzen van pakketten Di-1, -2, -3a en -3b, wat erop wijst dat deze seismische horizons sequentiegrenzen vormen. De grootste complexen lijken bovenaan begrensd door de basissen van Di-3a en Di-3b. In pakket Di-3b of - op basis van correlatie met boring Beerse - het boven Moliniaciaan tot boven Warnantiaan, komen geen grote build-up complexen meer voor. Daaronder komen ze wel voor in alle Dinantiaan pakketten, of dus van het midden Hastariaan tot onder Moliniaciaan. Tijdens deze periode werden er in het Dinant Bekken in Wallonië tot meer dan 300 m hoge complexen van Waulsortiaan mudmounds afgezet (Poty, 2016 en referenties daarin). Gezien de ouderdom en grootteordes, lijkt het ons waarschijnlijk dat de enorme build-up complexen in pakketten Di-1, -2 en 3a van het Bekken van de Kempen ook Waulsortiaan mudmounds voorstellen. In het Bekken van Dinant startte de ontwikkeling van deze mudmounds reeds in het laatste Hastariaan, of bovenop de Formatie van Maurenne. Ook in het Bekken van de Kempen startte de ontwikkeling van build-up structuren direct bovenop de sterke reflecties die geassocieerd worden met de Formatie van Pont d'Arcole en het laterale equivalent van de Formatie van Maurenne (voor uitleg van seismische interpretatie, zie paragraaf 4.1). In Wallonië duidde de afzetting van de Formatie van Maurenne de start aan van sterke subsidentie van het Bekken van Dinant, waarbij de mudmounds zich op grote dieptes ontwikkelden (Poty, 2016). Om de besproken diktes van wel 400 ms TWT of 1200 m dikte (bij een snelheid van 6000 m/s) af te zetten tussen het late Hastariaan en Ivoriaan was er ook in het Bekken van de Kempen een enorme toename in subsidentiesnelheid nodig na de afzetting van de Formatie van Pont d'Arcole. Dergelijke hoge subsidentiesnelheid lijkt erop te wijzen dat de Oostmalle campagne een Tournaisiaan intra-rift systeem bestrijkt. De subsidentie heeft vermoedelijk zo snel plaatsgevonden dat de sedimentatie het niet kon bijhouden en zich een dieper marien milieu vormde waarin zich lokaal Waulsortiaan mudmounds konden ontwikkelen vanuit grote diepte (afotisch met waterdieptes tot meer dan 300 m, genaamd fase A in Lees et al., 1985) naar ondiepere niveaus (fotische zone, genaamd fase D in Lees et al., 1985) tot de geobserveerde enorme complexen. Opvallend is de invloed van de intra-rift breuken op de sedimentatiestructuren. De grote build-up complexen lijken namelijk soms gelimiteerd door breukblokken. Zo zien we bijvoorbeeld een build-up complex van 130 ms TWT dikte op lijn 8110 dat zich ontwikkelt binnen een grabenstructuur (Figuur 26). Dit build-up complex omvat het gehele Di-2. Hetzelfde valt te zien in het noordoosten van lijn 8101 waar een complex in de hangingwall van een grote breuk zelfs kon uitgroeien tot een dikte van 190 ms TWT. Dergelijke voorbeelden behoren tot de grootst geobserveerde complexen, terwijl de build-ups daarrond en op horst structuren algemeen kleiner zijn. Het lijkt er daarom op dat sterke subsidentie in de grabenstructuren de build-up complexen extra accommodatieruimte verschaftte om te groeien. Vanuit de initieel hoger ontwikkelde build-up complexen vond er vermoedelijk laterale progradatie plaats waardoor ook de omliggende ruimte geleidelijk werd opgevuld.



Figuur 26: Lijn 8110 van de Oostmalle campagne waarop de verschillende geïnterpreteerde pakketten van binnen het Dinantiaan staan aangegeven. In sectie B zijn enkele grote build-up complexen ingekleurd en hun contouren met streepjeslijnen aangegeven. Beide build-up complexen lijken geassocieerd met breuksystemen, waarbij de linkse zich duidelijk in een grabenstructuur ontwikkelde. Voor locatie zie Figuur 23.

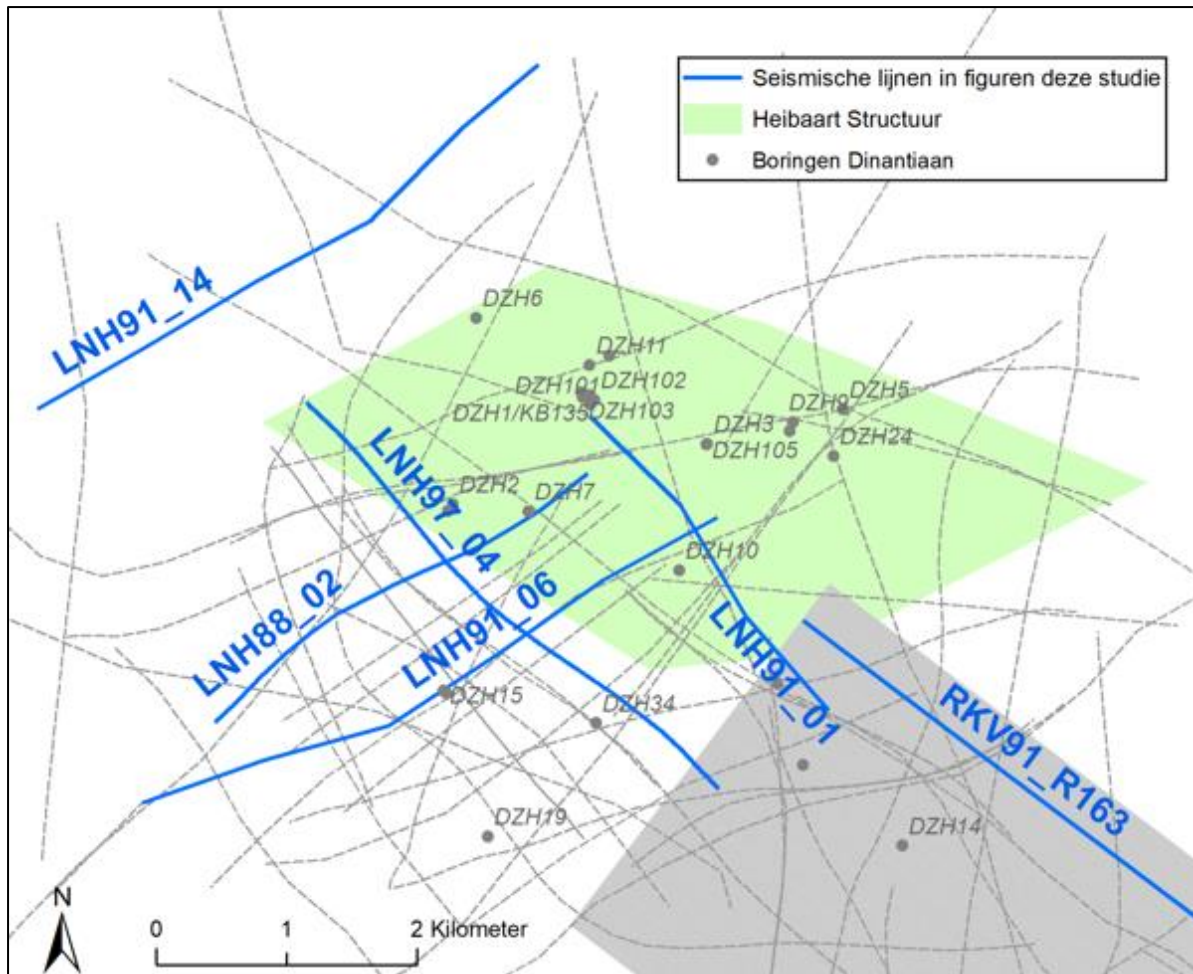
In het noorden van de Oostmalle campagne is de bovenkant van het Dinantiaan, of Di-3, sterker reflectief dan de onderkant of Di-1/-2. Dit contrast komt het sterkst naar voor nabij de Heibaart Structuur. In die regio komen heel wat sterke reflecties voor in Di-3 (zie Figuur 27). Meestal zijn deze sterke reflecties niet erg continu, maar fragmentair/chaotisch en geven ze een onduidelijk beeld van sedimentologische structuren zoals build-ups. Dit wijst op een sterk lateraal variabel facies dat duidelijk verschillend is van het gebied rond de Oostmalle campagne verder naar het zuiden. De sedimentologische analyses van de bovenkant van het Dinantiaan in boringen op en rond de Heibaart Structuur door Bless et al. (1981b) wijzen inderdaad op laterale faciesvariëaties tussen open mariene shelf en lagunes.



Figuur 27: Lijn 9704 van de Rijkevorsel 1997 campagne die net ten zuidwesten van de Heibaart Structuur loopt. Het jongste Dinantiaan of Di-3 is hier sterk reflectief. In het noordwesten van deze lijn is de Dinantiaan platformrand waar te nemen waarlangs het Namuriaan verdikt en het Dinantiaan eerder lijkt te verdunnen in noordwestelijke richting. De verdikking van het Namuriaan wordt bevestigd door grotere diktes ervan in boring DZH23 in vergelijking met de andere boringen. In de kleinere graben die doorboord wordt door DZH25 is het Namuriaan ook wat dikker dan op de horst van boring DZH 34 ernaast. Voor locatie zie Figuur 28.

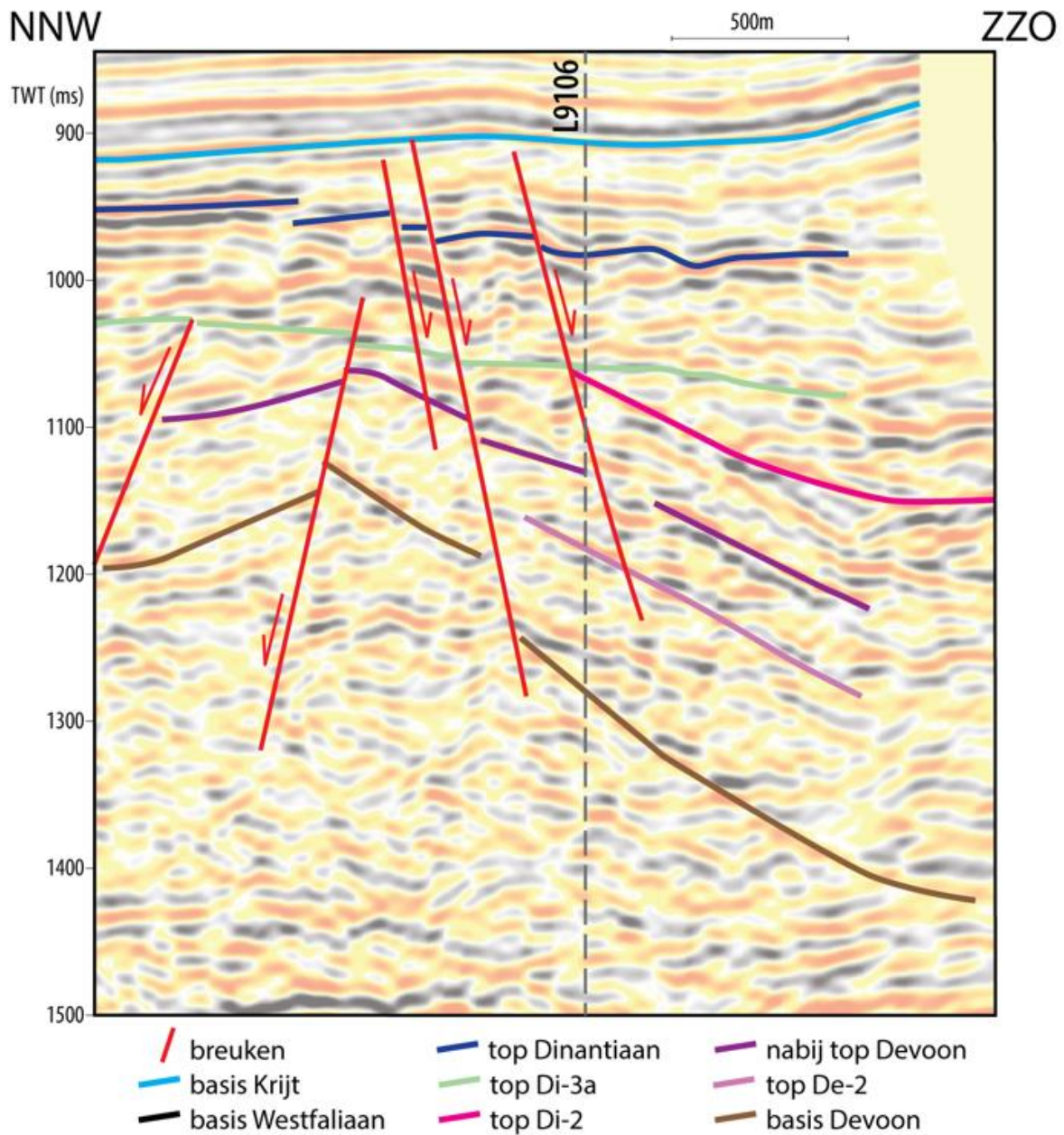
• Dinantiaan en Namuriaan Heibaart Structuur

Ten opzichte van bovengenoemde Dinantiaan trends, is de Heibaart Structuur een anomalie. Op de flanken van de Heibaart Structuur verdunt het Dinantiaan sterk richting de top ervan. Eén van de lijnen die deze verdunning het duidelijkst weergeeft is lijn 9101 van de Rijkevorsel 1991 campagne (Figuur 29). Op deze lijn is te zien hoe de basis van het Dinantiaan sterk verondiept richting het noordwesten, terwijl de top van het Dinantiaan dat veel minder sterk doet. Hierdoor krijgen we dus een convergentie tussen de top en basis van het Dinantiaan, met verdunning richting het noordwesten of de top van de Heibaart Structuur. De verdunning van het Dinantiaan gebeurt in de pakketten onder Di-3b. De basis van pakket Di-3b loopt namelijk parallel met de top ervan en dit van de flanken tot over de Heibaart Structuur zelf. De afwezigheid van pakketten onder Di-3b op de Heibaart Structuur is in overeenstemming met de afwezigheid of heel gecondenseerd zijn van het Tournaisiaan en vroegste Viseaan in boring Heibaart (Labofina, 1976). Op seismische lijnen die loodrecht op 9101 staan, zoals 8802 van de 1988 Rijkevorsel campagne (Figuur 30), 9106 van de 1991 Rijkevorsel campagne (Figuur 31) en inline 163 van de 3D Rijkevorsel campagne (Figuur 32), is te zien hoe de verdunning van Dinantiaan pakketten onder Di-3b richting de Heibaart Structuur ook via breuken verloopt. De Heibaart Structuur vormde dus een grote horststructuur tijdens de Tournaisiaan tektonische fase, en maakte geen deel uit van het riftsysteem dat in de omliggende gebieden voor sterke subsidentie zorgde. Lijn 9106 van de 1991 Rijkevorsel campagne (Figuur 31) geeft weer dat zich op de sterk subsiderende flanken van de Heibaart structuur grote build-up complexen konden ontwikkelen.

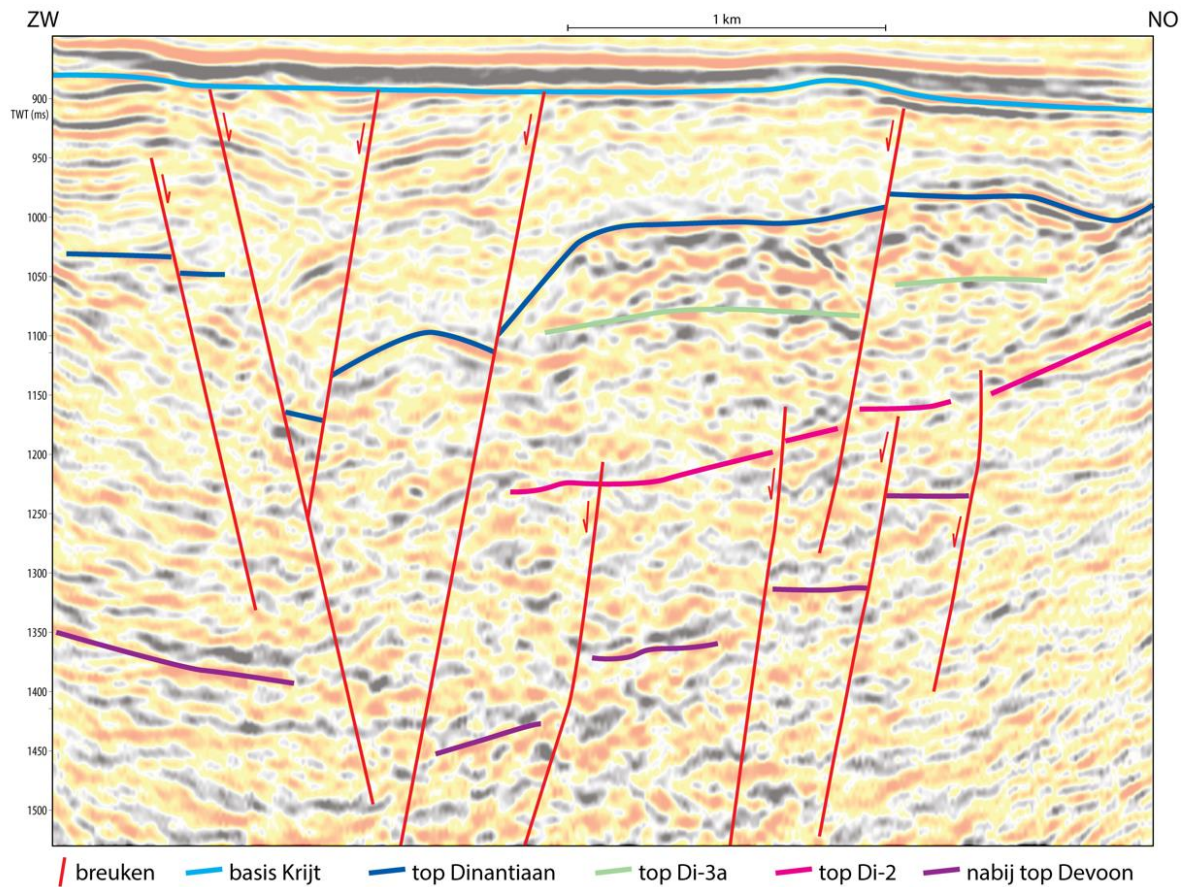


Figuur 28: Overzicht van de locaties van de seismische lijnen rond de Heibaart Structuur die in dit rapport getoond worden. De grijze zone is de 3D seismische campagne van Rijkvorsel 1991, waarin RKV91_R163 de inline weergeeft, getoond op Figuur 32.

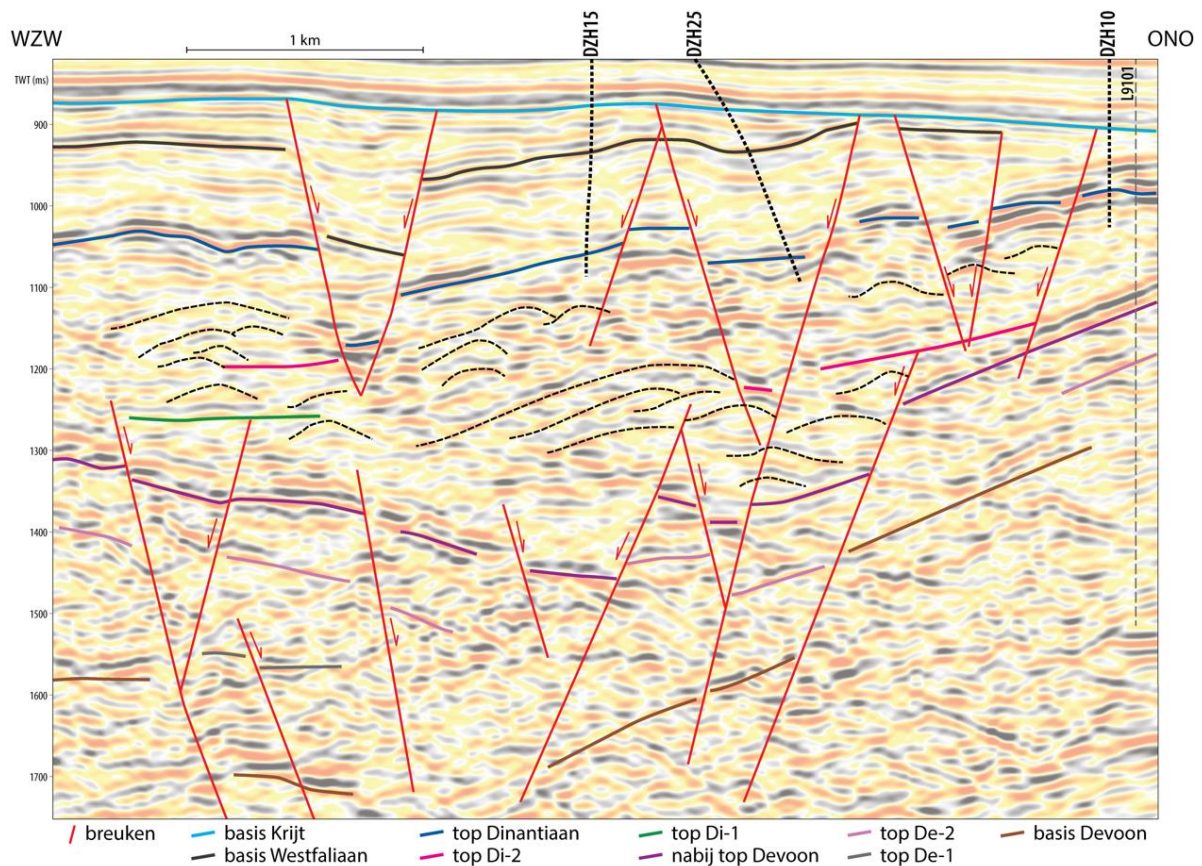
Op de flanken van de Heibaart Structuur verdikt het Namuriaan in bijna alle richtingen uitgezonderd het zuiden. Op de oostelijke flank is deze verdikking behoorlijk subtiel, met beperkt breukverzet zoals zichtbaar op inline 163 van de 3D Rijkvorsel campagne (Figuur 32). Op de westelijke flank is de verdikking heel wat duidelijker, zoals te zien is op lijn 9704 van de Rijkvorsel 1997 campagne (zie Figuur 27). Op de noordelijke flank is de verdikking geleidelijk, en wordt deze onderbroken door de Breuk van Hoogstraten die hier ontkoppeld op de top van het Dinantiaan. Al deze elementen, samen met het ontbreken van de 'hot shales' van de Formatie van Chokier, wijzen erop dat de Heibaart Structuur een breukgebonden hoog of horststructuur vormde tijdens het Namuriaan. De Heibaart Structuur participeerde dus - net zoals tijdens het Tournaisiaan - ook tijdens het Namuriaan niet aan tektonische subsidentie.



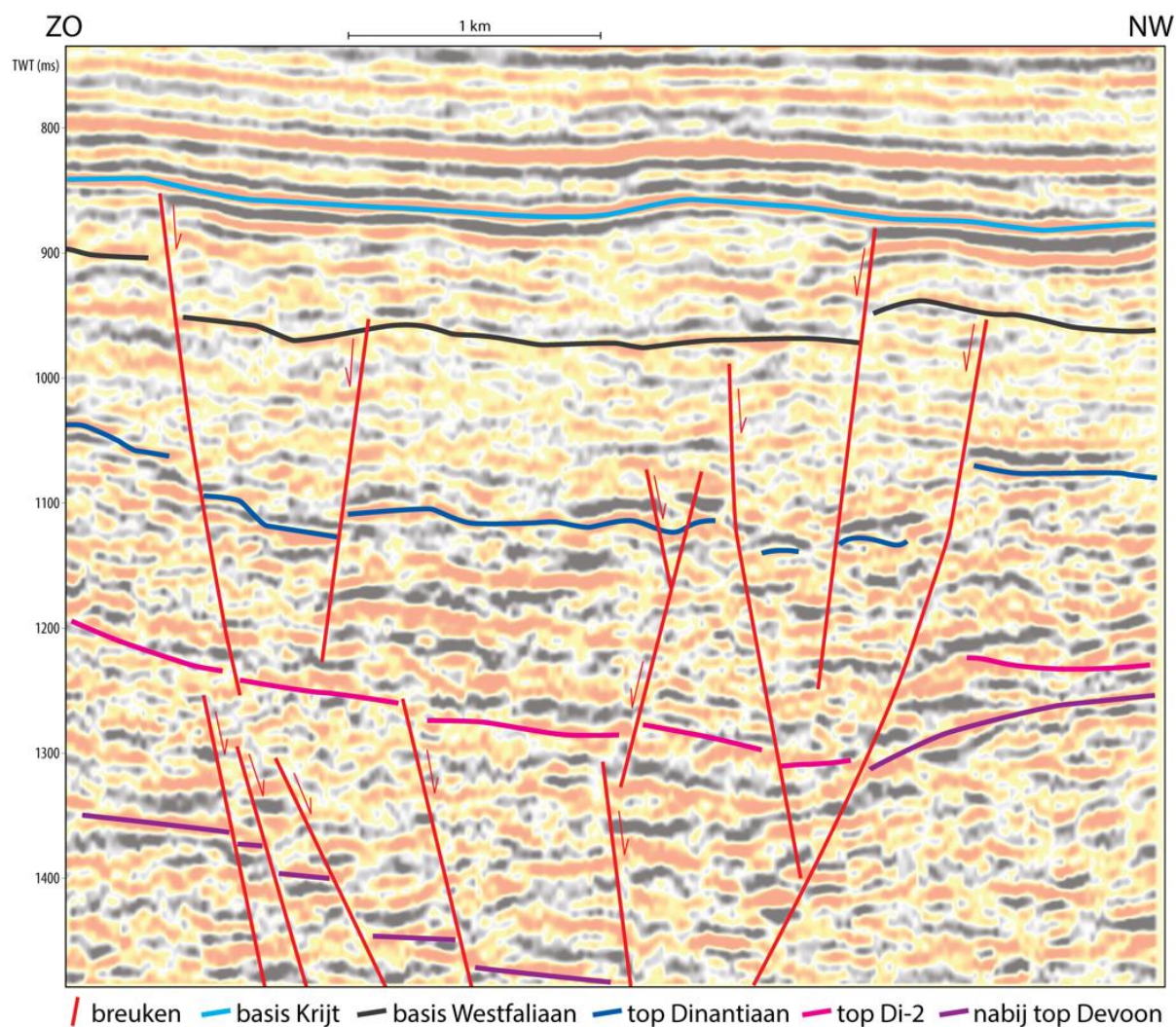
Figuur 29: Lijn 9101 van de Rijkevorsel 1991 campagne die van de Heibaart Structuur (links) richting het zuidzuidoosten (rechts) loopt met daarbij de verdikking van het Dinantiaan via een helling in dezelfde richting. Het bovenste pakket Di-3b van het Dinantiaan lijkt weinig geaffecteerd door deze verdikkende trend, maar lijkt subparallel met de top van het Dinantiaan te lopen. Pakket Di-3a daaronder lijkt te onlopen tegen de basis ervan of top Di-2. Centraal snijdt deze lijn met lijn 9106 van dezelfde seismische campagne (zie Figuur 31) die er grofweg loodrecht op staat. Voor locatie zie Figuur 28.



Figuur 30: Lijn 8802 van de Rijkevorsel 1988 campagne die van de Heibaart Structuur (rechts, NO) richting de flank ervan (links, ZW) loopt met daarbij de verdikking van het Dinantiaan via breuken in dezelfde richting. Het bovenste pakket Di-3 van het Dinantiaan lijkt weinig geaffecteerd door deze verdikkende trend, maar sub-parallel met de top van het Dinantiaan te lopen met een opvallend sterk reflectiefacies in de top van pakket Di-3b. Voor locatie zie Figuur 28.



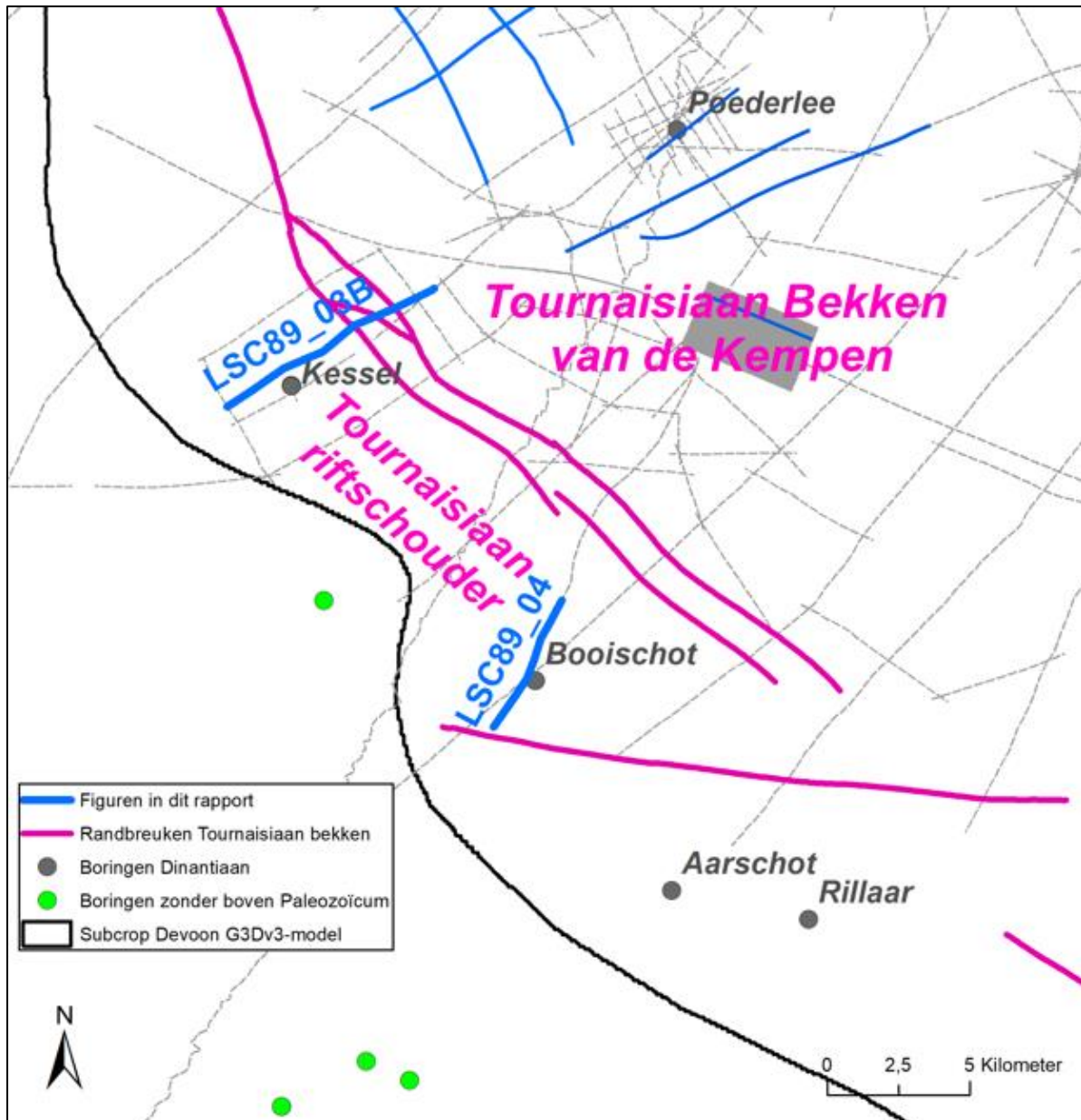
Figuur 31: Lijn 9106 van de Rijkvorschel 1991 campagne die van de Heibaart Structuur (rechts, ONO) richting de flank ervan (links, WZW) loopt met daarbij de verdikking van het Dinantiaan via breuken in dezelfde richting. Deze lijn loopt parallel met 8802 van de Rijkvorschel 1988 campagne (zie Figuur 30) en toont dan ook dezelfde diktetrends. In het uiterste oostnoordoosten snijdt deze met lijn 9101 van dezelfde campagne (zie Figuur 29) die er grofweg loodrecht op staat. Let op de verdikking van het Dinantiaan, en met name Di-1/2, richting het centrum van deze lijn. Enkele van de build-up structuren zijn met zwarte streepjeslijnen aangegeven. Voor locatie zie Figuur 28.



Figuur 32: Inline 163 van de 3D campagne van Rijkvorsel. Hierop is te zien hoe het Dinantiaan via breuken verdunt richting de Heibaart Structuur die hier in het noordwesten van ligt. Het Namuriaan verdunt in dezelfde richting en over dezelfde breuk. Net zoals op de lijn 9106 van de Rijkvorsel 1991 campagne (zie Figuur 31) is er een verdikking van het Dinantiaan voordat het verdunt richting de Heibaart Structuur. Voor locatie zie Figuur 28.

4.4.2 Zuidwestelijk rand van het Bekken van de Kempen – randzone Tournaisiaan riftsysteem

Deze regio wordt enkel bedekt door de minder kwalitatieve lijnen van de Limestone Subcrop 1989 en Campine Basin 1953-1956 campagnes (Figuur 22). Enkele lijnen van die eerste campagne lopen langsheen boringen die de top van het Dinantiaan hebben aangeboord (Figuur 33), en zijn daarom heel waardevol en werden dan ook binnen dit project daarvoor gereproceest. Eén van deze lijnen is 8904 langsheen boring Booischot dewelke het ganse Devoon en Dinantiaan heeft doorboord (Figuur 17).



Figuur 33: Overzicht van de locaties van de seismische lijnen die in dit rapport getoond worden voor de zuidwestelijke rand van het Bekken van de Kempen, met de overige seismische lijnen/3D campagnes erbij alsook belangrijke randbreuken zoals gemodelleerd voor de huidige studie.

- **Devoon**

Het seismische facies van het Devoon op lijn 8904 en de vertaling ervan naar de nabijgelegen boring Booischot wordt in detail besproken in paragraaf 4.2 hierboven. Op lijn 8904 is de discordantie aan de basis van het Devoon helaas niet heel duidelijk waar te nemen (Figuur 17). Wel lijkt het sterke contrast van basis Devoon richting het noorden te verondiepen, terwijl de top ervan net de omgekeerde trend kent. De verondieping lijkt via kleine breuksprongen te verlopen van 20 ms TWT en minder. Vanwege het zwak reflectieve facies centraal in het Devoon op deze lijn, is het niet duidelijk wanneer deze breukwerking optrad. Ten noorden van boring Booischot verdiept het Devoon sterk en wordt het moeilijk interpreteerbaar op deze lijn. In het zuidwesten van lijn 8903b van de Limestone Subcrop campagne is er een discordantie waar te nemen die we interpreteren als de basis van het Devoon (Figuur 34). Deze ligt

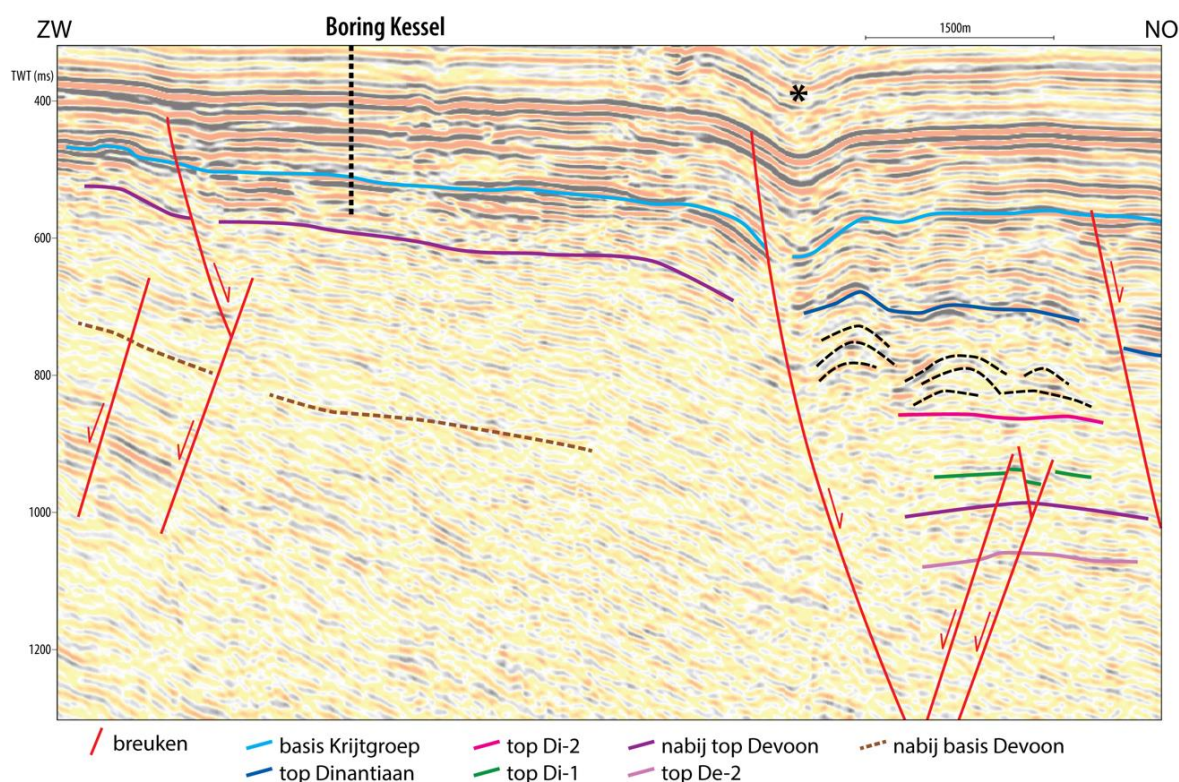
ongeveer 260 ms TWT onder de horizon van de basis van het Dinantiaan (Figuur 34). De dikte van 260 ms TWT voor het Devoon is quasi dezelfde als deze aan boring Booischot zoals geïnterpreteerd op lijn 8904 van de LSC-campagne (Figuur 17). Dit wijst er wederom op dat de dikte van het Devoon zoals vastgesteld in boring Booischot eerder de regel dan anomalie was. In tegenstelling tot lijn 8904, is pakket De-1 niet duidelijk vastgesteld op lijn 8903b en is het gehele Devoon er zwak reflectief.

- **Dinantiaan**

Het Dinantiaan is in boring Booischot relatief dun omdat het sterk in dikte variërende Tournaisiaan in vergelijking met andere boringen (Halen, Mol-GT-03 en Turnhout) hier relatief dun is, en de top van het Dinantiaan afgesneden wordt door de Krijtgroep. Het Dinantiaan bestaat er uit drie pakketten van ruwweg 100-tal meter met verschillende lithologie. Kalkstenen van de Formatie van Velp bovenin, het heterogene facies met kalksteen/zandsteen/schalies van de Formatie van Kessel centraal en de kalkstenen van de Formatie van Steentje-Turnhout op de dolomieten van de Formatie van Vesder onderin. Door deze afwisselingen van sedimentologische facies is het seismische facies matig reflectief, en algemeen reflectiever dan dat van het onderliggende Devoon (Figuur 17).

De Tournaisiaan dikte van een 100-tal meter in boring Booischot staat in schril contrast met de dikte van dat Tournaisiaan zoals hierboven beschreven in de Oostmalle campagne, waar het tot meer dan 1000 m kan oplopen. Ook op de meer noordelijke lijn 8903b die langs boring Kessel loopt, interpreteren we in het zuidwesten gelijkaardige, beperkte diktes voor het Tournaisiaan als in boring Booischot (Figuur 34). In het noordoosten sluit deze lijn aan op het zuidwesten van de Oostmalle campagne, waar Tournaisiaan diktes van minstens 300 ms TWT of 900 m geïnterpreteerd worden (Figuur 18). Er vindt langsheen lijn 8903b dus een enorme verdikking plaats van het Tournaisiaan in noordoostelijke richting. Om deze verdikking te accommoderen zijn twee grote normale breuken verantwoordelijk: één breuk op lijn 8903a met 100 ms TWT verdikking naar het oosten en een andere breuk op lijn 8903b met 200 ms TWT verdikking naar het oosten (Figuur 34). Opvallend bij deze breuk op 8903b is de aanwezigheid van een grote instortingsholte erboven (aangegeven met * op Figuur 34). De instortingsholte loopt van het Dinantiaan door tot in het Cenozoïcum. Over de instortingsholte valt een sprong van lagen op, dewelke sterk in amplitude afneemt naar boven toe, eerst aan de basis Krijt en hogerop ook in het Cenozoïcum. De Tournaisiaanbreuk lijkt daarom herhaaldelijk gereactiveerd te moeten zijn tot in het Cenozoïcum. Ook op lijn 8904 die doorheen boring Booischot loopt, zijn de grote Tournaisiaanbreuken later gereactiveerd en geassocieerd met grote instortingsholtes.

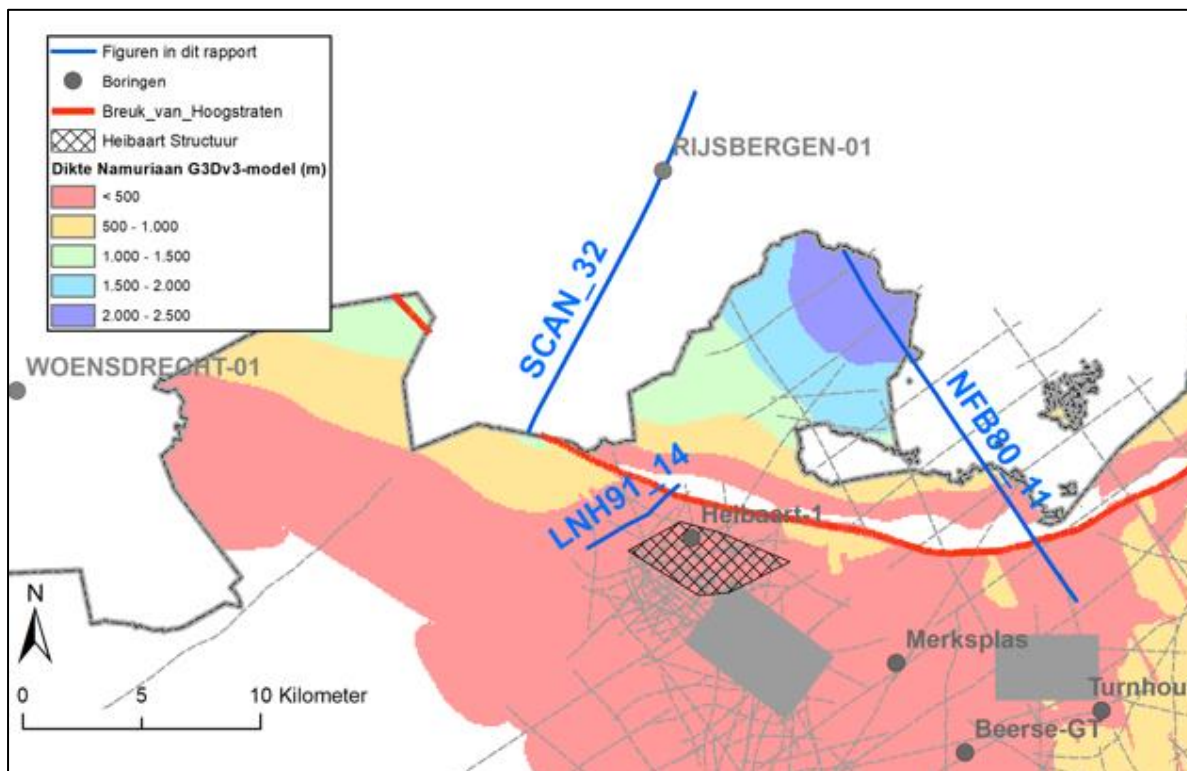
De concentratie van één of meerdere grote breuken in een zone van enkele kilometers breedte, waarachter (in de hangingwall) de dikteveranderingen meer willekeurig zijn (lokale horsten en grabens op de Oostmalle campagne), wijst erop dat het Tournaisiaانبekken hier begrensd werd naar het zuidwesten. De grote breuken op lijnen 8903b en 8904 kunnen daarom beschouwd worden als randbreuken van het Tournaisiaan riftsysteem van het Bekken van de Kempen. Het verloop van deze zone met randbreuken is weergegeven in Figuur 33. Boringen Booischot en Kessel zijn buiten of in de footwall van het Tournaisiaan riftsysteem gelegen. In de directe hangingwall van de grote breuk op lijn 8903b zijn er binnen het Dinantiaan een reeks build-up structuren ontwikkeld (aangegeven op Figuur 34). Ze bereiken een hoogte van minstens 70 ms TWT en worden afgedekt door een 60 ms TWT dik pakket met een reeks parallelle reflectoren onder de top van het Dinantiaan. Dit laatste pakket is typisch Di-3b, en de build-up structuren daaronder aanwezig in pakket Di-3a. Dit toont aan tot hoe ver westelijk grote build-up structuren zich konden ontwikkelen tijdens het Dinantiaan, in de directe hangingwall van de randbreuken, en hoe belangrijk deze randbreuken waren voor hun ontwikkeling.



*Figuur 34: De gereproceste versie van lijn 8903b van de LSC 1989 campagne met daarop de geïnterpreteerde horizons van het Dinantiaan en Devoon. Let op de grote instortingsholte, aangegeven met *, boven de breuk die voor belangrijke verplaatsing zorgt van de Paleozoïsche gesteenten. In de hanginwall van deze breuken lijken er build-up complexen aanwezig in pakket Di-3a van het Dinantiaan die aangegeven zijn met zwarte streepjeslijnen. Voor locatie zie Figuur 33.*

4.4.3 Uiterst noordelijk deel van het Bekken van de Kempen binnen Vlaanderen – Dinantiaan platformrand

Dit gebied omvat de regio die hoofdzakelijk bedekt wordt door de seismische campagne van NFB 1980, en in het westen ook door enkele lijnen van de Heibaart/Rijkevorsel campagnes (Figuur 22). Net ten zuiden van deze regio lopen de lijnen van de meer kwalitatieve Oostmalle campagne die ook gebruikt zijn voor de interpretatie van de matig tot zwak kwalitatieve NFB 1980 campagne. Ook loopt de NFB-campagne in het zuiden nabij boring Turnhout die gebruikt kan worden voor de seismische interpretatie ervan (Figuur 35). Deze laatste boring ligt ook langs de lijn Beerse-Turnhout 2015. Op de lijnen door of langsheen boring Turnhout valt op dat deze boring de apex van een anticline/horst in het Paleozoïcum doorsnijdt. Er lijken heel wat kleine breuken doorheen de anticline/horst te lopen, waarvan sommigen ook doorheen de bovenkant van het Dinantiaan. De kans lijkt groot dat boring Turnhout één van deze breuken heeft aangesneden nabij de top van het Dinantiaan. Dat zou kunnen verklaren waarom het pakket dat biozones MFZ11 tot en met MFZ14 omvat zo anomaal dun is in deze boring in vergelijking met andere boringen in de omgeving zoals Beerse, DZH1 of Halen, op basis van de biostratigrafische analyses van Hance (2022). Er is ook sprake van tal van gebreccieerde niveaus in deze boring aan de top van het Dinantiaan. Het aanboren van een breukzone zou ook een verklaring bieden waarom de temperatuur anomaal hoog is in het Dinantiaan van boring Turnhout (Broothaers et al., 2018). Hierdoor zijn de diktes van sequenties/biozones in boring Turnhout volgens ons minder bruikbaar (te dun) als kapstok voor intra-Dinantiaan seismische interpretaties in de regio.



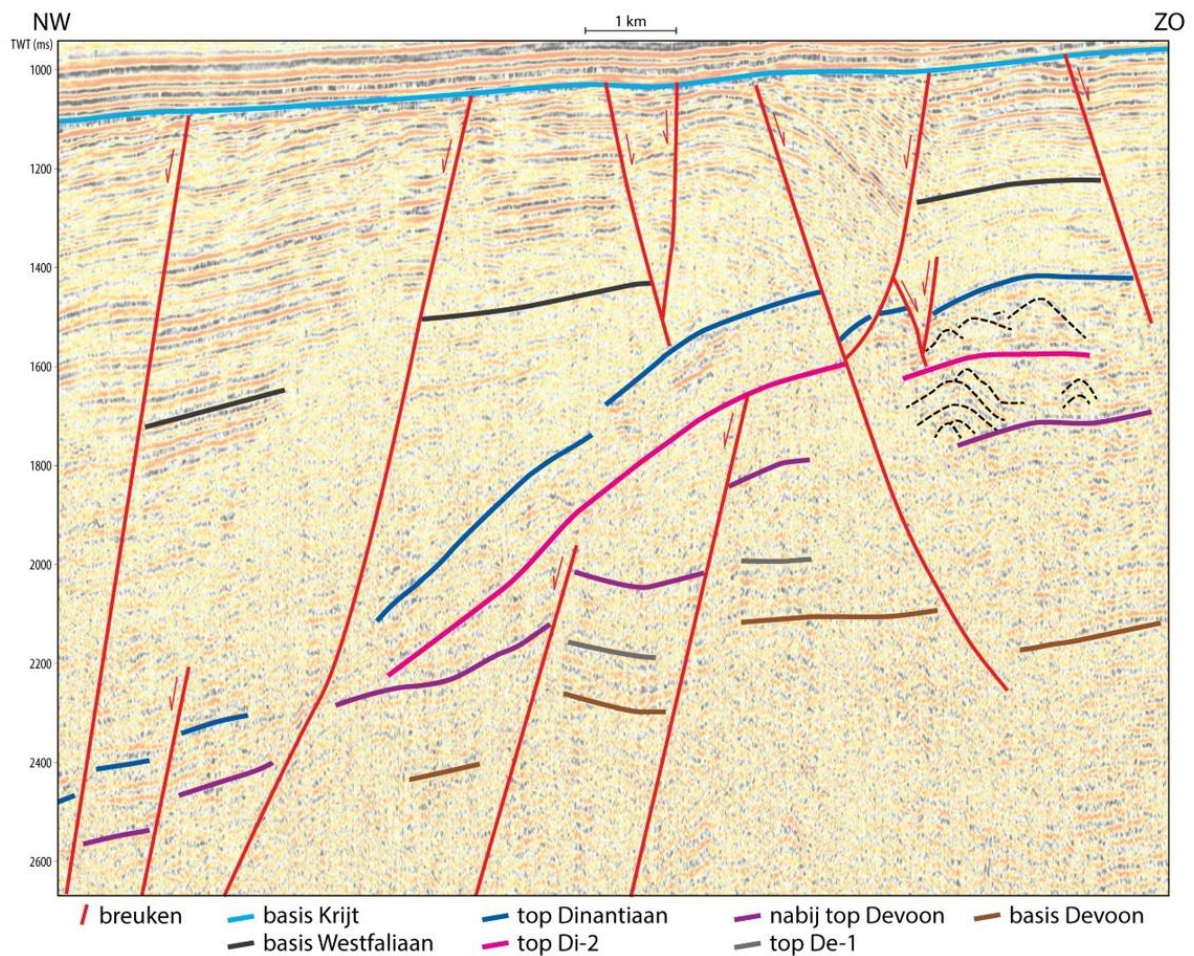
Figuur 35: Overzicht van de locaties van de seismische lijnen die in dit rapport getoond worden voor het uiterst noordelijke gedeelte van het Bekken van de Kempen. De overige Belgische seismische lijnen in het gebied en de dikte van het Namuriaan uit het G3Dv3-model zijn er illustratief ook bijgegeven. Door de rollover in de hangingwall van de Breuk van Hoogstraten, dewelke ontstaan is door het afglijden van Namuriaanschalies op de steile carbonaatplatformrand, is het Namuriaan hier lokaal afwezig. Het zuidelijke uiteinde van lijn SCAN-32 is dus in het verlengde van deze Breuk van Hoogstraten gelegen.

Dit uiterst noordelijke gebied onderscheiden we van het westelijke deel van het Bekken van de Kempen (zie paragraaf 4.4.1) vanwege de belangrijke verdieping van het Dinantiaan die hier plaatsvindt richting het noorden. In de regio meer ten zuiden blijft de top van het Dinantiaan min of meer op een gelijke diepte en loopt deze sub-horizontaal met de basis van de Krijtgroep. Het knikpunt van sub-horizontaal in het zuiden naar sterk noordhellend in het noorden ligt in het zuiden van de NFB 1980 campagne. De oriëntatie van dit knikpunt loopt grofweg west-oost, startende van het noorden van de Heibaart Structuur in het westen. De verdieping van de top van het Dinantiaan richting het noorden valt samen met een sterke verdikking van het Namuriaan, van een 220 m aan boring Heibaart tot meer dan 1700 m aan boring Rijsbergen in het uiterste zuiden van Nederland (Figuur 37; Figuur 35). Net ten noorden van het knikpunt is er bovenop het verdiepende Dinantiaan een grote roll-over structuur aanwezig van de listrische Breuk van Hoogstraten. Onder het knikpunt zelf lijken er zich binnen de pakketten van het Dinantiaan grote build-up structuren af te tekenen (Figuur 36). Vanwege de matig tot slechte kwaliteit/resolutie van de lijnen van de NFB 1980 campagne, zeker op grotere diepte, valt er echter weinig detail in te zien voor het Dinantiaan ten noorden van de Breuk van Hoogstraten. Wat wel opvalt is dat de reflecties van Di-3 sub-parallel lopen met die van de top van het Dinantiaan in een bundel van pakweg 160 ms TWT dikte. Daaronder is het seismische facies, inclusief dat van basis Dinantiaan, heel zwak reflectief tot transparant, waardoor het moeilijk interpreteerbaar is. Op lijn 8011 van de NFB-campagne schijnen de Di-3 reflecties een hoek te maken met onderliggende reflecties (Figuur 36).

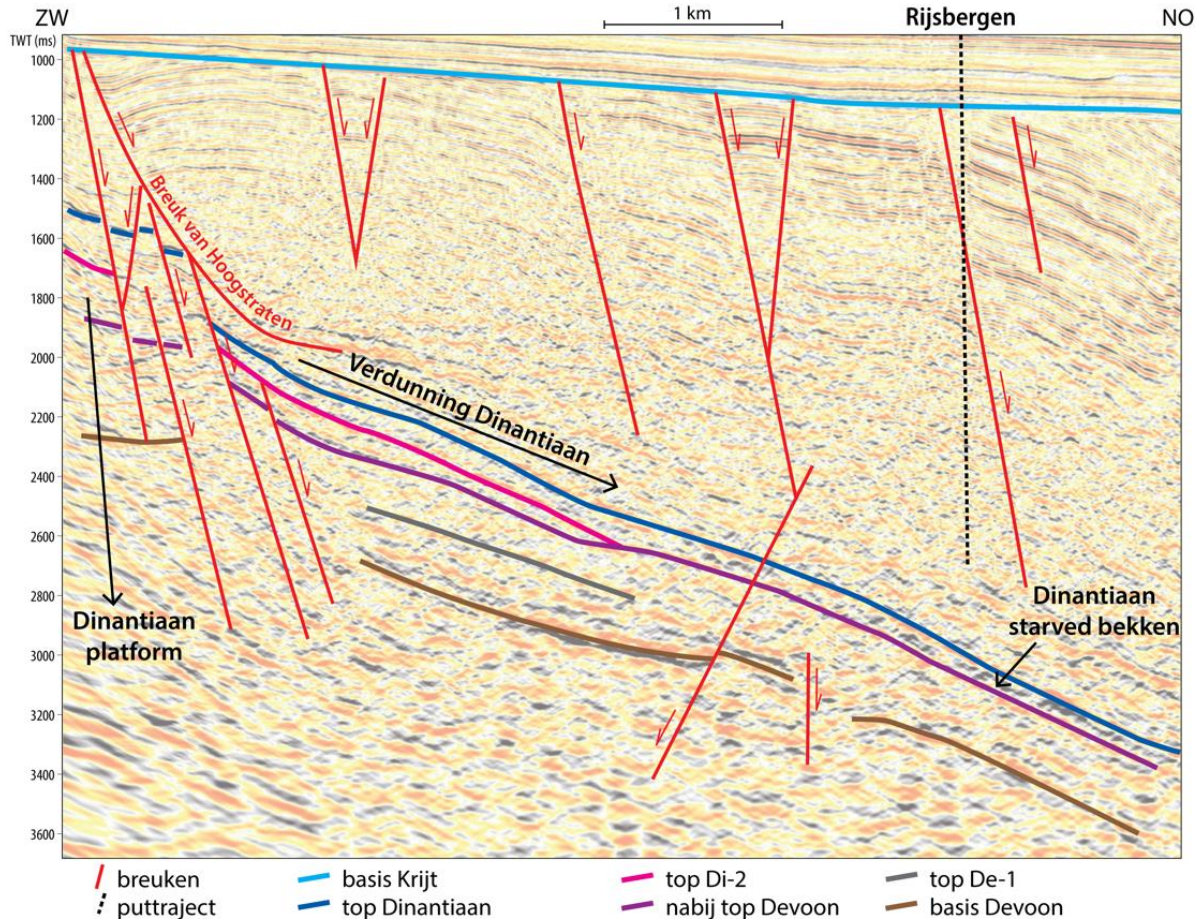
Terwijl de Di-3 reflecties, net zoals elders in het Bekken van de Kempen sub-parallel lopen met de (sterk noordhellende) top van het Dinantiaan, hellen sommige matige reflecties daaronder minder sterk af naar het noorden en lijkt de inzakking van de basis van het Dinantiaan naar het noorden eerder door breuktrappen geaccommodeerd te zijn. Deze breuken moeten dan min of meer parallel met de afhelling van het Dinantiaan lopen, of grofweg oost-west, en hellen naar het noorden. De vraag rest dan of de reflecties onder Di-3 van het Dinantiaan zijn of ouder. Als ze van het Dinantiaan zijn, dan is hier een sterke hoekdiscordantie tussen Di-3 en Di-1 en -2. Dan zouden Di-1 en -2 nog trapsgewijs verdiepen via noordhellende oost-west georiënteerde breuken, terwijl Di-3 dit met een sterke noordhelling doet. In het andere geval, als de horizons onder Di-3 ten noorden van de Breuk van Hoogstraten niet van het Dinantiaan zijn, moet er een sterke verdunning van het Dinantiaan en vermoedelijk gans Di-1 en -2 optreden onder de listrische Breuk van Hoogstraten. Ook zou er dan een belangrijke hoekdiscordantie moeten zijn tussen de basis van het Dinantiaan en onderliggende Devoon. We kiezen het eerste scenario omwille van volgende argumenten:

- De trapsgewijze verdieping van Di-1 en Di-2 via oost-west georiënteerde breuken past in de regionale setting aangezien we weten dat er grote breuksystemen in deze pakketten kunnen zitten met dergelijke oriëntatie (zie paragraaf 4.5.3). Deze breuken sterven bovendien typisch uit nabij basis Di-3 of in het Viseaan, wat de hoekdiscordantie kan verklaren tussen Di-1/2 en Di-3 op lijn 8011.
- Een hoekdiscordantie tussen het Dinantiaan en Devoon hebben we elders niet vastgesteld. Wel een hoekdiscordantie tussen Di-1/2 en Di-3, zoals aan de flank van de Heibaart Structuur (zie bijvoorbeeld Figuur 29).

Volgens deze interpretatie krijgen we richting het noorden initieel een sterke verdikking over een breuk van Di-1/-2 met verder noordelijk een snelle trapsgewijze verdieping en verdunning van dit pakket met Di-3 of het Viseaan daarbovenop dat verdiept via een sterke noordhelling, met een meer subtiel geleidelijke noordwaartse verdunning. Een mogelijke onderbouwing van deze sterke noordwaartse verdunning is te vinden op de recente Nederlandse SCAN 32 seismische lijn, die een heel goede kwaliteit vertoont voor het Dinantiaan in het zuidelijke segment. Deze lijn start ten noordwesten van de Heibaart Structuur en gaat van daaruit over de diepe Nederlandse boringen van Rijsbergen en Steelhoven naar het noordoosten (Figuur 37). Op deze lijn interpreteren we een relatief dun Dinantiaan, van amper 200 ms TWT dikte, onder de hangingwall van de Breuk van Hoogstraten. Daarin interpreteren we twee pakketten die Di-3 bovenin en Di-1/2 onderin zouden kunnen voorstellen, waarbij Di-3 geleidelijk naar het noordoosten verdunt, en Di-1/2 daaronder meer abrupt zodat deze afwezig of heel dun wordt in het noordoosten. Het dunne Dinantiaan zou dan accommodatie toelaten van dik Namuriaan daarboven tot de meer dan 1700 m in boring Rijsbergen (Dinantiaan niet bereikt). De verdunning van het Dinantiaan en verdikking van het Namuriaan vanuit het zuiden naar het noorden lijkt hier heel abrupt te gebeuren onder de Breuk van Hoogstraten. Hier lijkt zich een heel scherpe Viseaan platformrand te hebben bevonden. Ook verder naar het noordwesten, in het zuidwesten van Nederland, is verdunning van het Dinantiaan geobserveerd van een platform nabij het Massief van Brabant richting een dieper bekken (Figuur 6-8 in Mozafari et al., 2019).



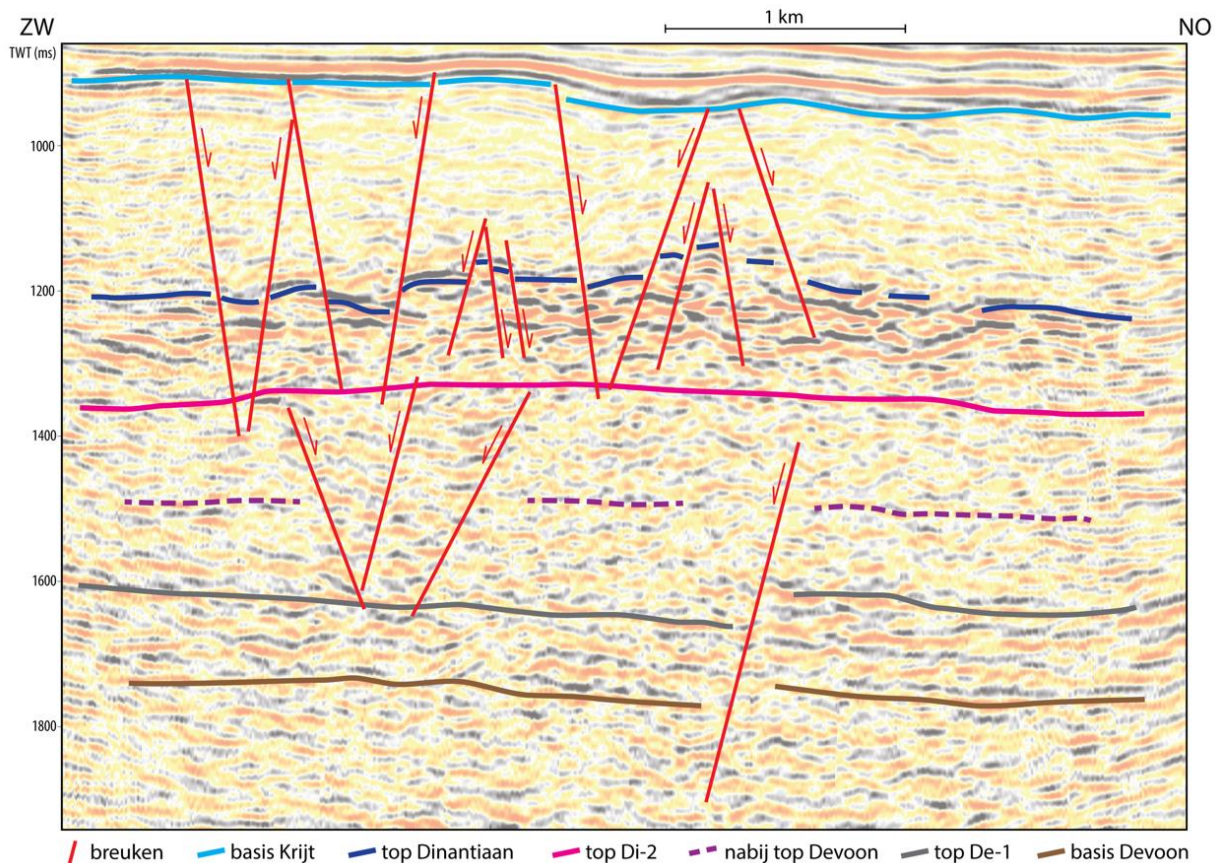
Figuur 36: Lijn 8011 van de NFB campagne met de Breuk van Hoogstraten in het zuidoosten met de rollover in het Namuriaan en Westfaliaan erboven. Deze breuk is ontkoppeld nabij de top van het Dinantiaan die hier sterk naar het noorden duikt. De interpretaties van intra-Dinantiaan en Devoon reflecties zijn heel onzeker op deze lijn, maar volgens de huidige interpretaties zou het oudste Dinantiaan (Tournaisiaan) sterk verdunnen richting het noordwesten. Let op de grote build-up complexen, aangegeven met zwarte streepjeslijnen, net onder het zuidelijke uiteinde van de Breuk van Hoogstraten. Voor locatie zie Figuur 35.



Figuur 37: Lijn 32 van de SCAN campagne met de Breuk van Hoogstraten in het zuidoosten met de rollover in het Namuriaan en Westfaliaan erboven. Deze breuk is ontkoppeld nabij de top van het Dinantiaan die hier sterk naar het noorden duikt. De interpretaties van intra-Dinantiaan en Devoon zijn heel onzeker op deze lijn, maar volgens de huidige interpretaties zou het Dinantiaan sterk verdunnen langs een breukensysteem onder de Breuk van Hoogstraten en zou het oudste Dinantiaan (Tournaisiaan, onder top Di-2) van daaruit verder verdunnen en niet meer te onderscheiden zijn vanwege sterke condensatie. Voor locatie zie Figuur 35.

Ten noordwesten van de Heibaart Structuur zijn er opvallend sterke amplitude reflecties te zien binnen Di-3, die hier globaal 120 ms TWT dik is (Figuur 38; voor locatie zie Figuur 28). Dergelijk sterke reflecties zijn niet te zien aan de zuidoostflank van diezelfde Heibaart Structuur. Aangezien we hier aan de noordrand zitten van het Dinantiaan platform, zou de sterkte van de reflecties het gevolg kunnen zijn van afwisseling van meer en minder schalierrijke pakketten die zich tijdens trans- en regressiepulsen tijdens het Viseaan afzetten op deze rand. Onder pakket Di-3 zijn seismische faciessen zwak reflectief en hun interpretaties heel onzeker. Er zijn ook maar twee kwalitatief goede seismische lijnen langs deze noordelijke flank van de Heibaart Structuur, 9101 en 9114. Daarenboven is de eerste door breukwerking moeilijk interpreteerbaar. Lijn 9114 valt beter te interpreteren omdat die meer parallel met de breuken loopt. Op deze lijn is het zwak reflectieve pakket onder het sterk reflectieve Di-3 ongeveer 300 ms TWT dik. Onderin wordt het begrensd door een pakket met een reeks van parallelle, sterke reflecties van een 140 ms TWT dik. Dit laatste pakket heeft de expressie zoals elders soms ook vastgesteld voor de onderkant van het Devoon, of De-1.

Dit zou betekenen dat de grens van het Dinantiaan en Devoon ergens binnen het zwak reflectieve pakket van 300 ms TWT dikte valt. Waarom deze grens, met de typische sterke contrasten die geassocieerd worden met de schalies van Pont d'Arcole, hier niet duidelijk naar voor komt is onduidelijk. Mogelijks zijn deze schalies hier afwezig, net zoals verder naar het zuidoosten op de Heibaart Structuur.

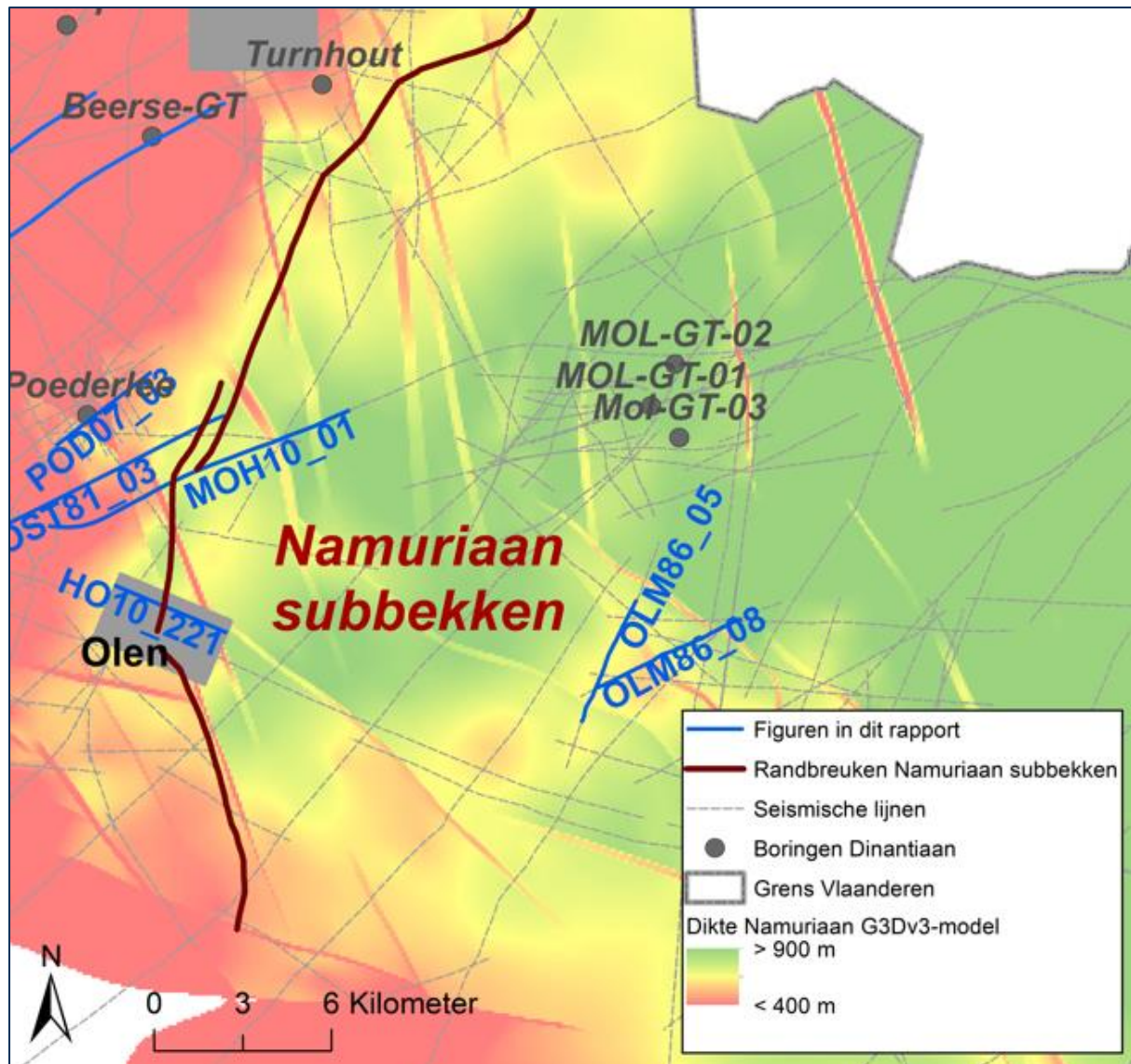


Figuur 38: Lijn 9114 van de 1991 Rijkbevorsel campagne die ten noordwesten van de Heibaart Structuur loopt. De top van het Dinantiaan of Di-3 is hier heel sterk reflectief, terwijl de basis van het Dinantiaan niet duidelijk geïnterpreteerd kon worden (streepjeslijn). Wel konden de sterk reflectieve banden van pakket De-1 in de onderkant van het Devoon geïnterpreteerd worden. De top van pakket Di-2 is hier heel moeilijk interpreteerbaar en daarom maar grofweg weergegeven, en is in realiteit veel complexer. Voor locatie zie Figuur 35.

4.4.4 Centrale deel van het Bekken van de Kempen – Namuriaan riftsysteem

Op de grofweg NNO-ZZW lopende lijn doorheen het Bekken van de Kempen vanaf de 3D seismische campagne van Olen-Herentals in het zuiden richting boring Poederlee in het centrum en tenslotte boring Turnhout in het noorden (voor locaties zie Figuur 39), kent de top van het Dinantiaan een belangrijke verdieping in oostelijke richting. Ten westen van deze lijn is de top van het Dinantiaan op een diepte van minder dan 1.8 km gelegen en ten oosten van deze lijn zakt deze snel tot meer dan 2.5 km diepte (zie G3Dv3-model model van Deckers et al., 2019). De seismische interpretaties in de regio ten westen van de lijn van Olen-Poederlee-Turnhout worden hierboven beschreven als het westelijke deel van het Bekken van de Kempen (paragraaf 4.4.1) en deze ten oosten van diezelfde lijn worden in deze paragraaf besproken (voor locatie van deelgebied, zie Figuur 22). Ten opzichte van het westelijke gebied, zijn er beduidend minder seismische lijnen van goede kwaliteit voor het Dinantiaan en boringen doorheen het Dinantiaan aanwezig in dit centrale deel van het Bekken van de Kempen.

In deze regio hebben enkel de 3D campagne van Olen-Herentals en de lijnen van de Mol-Herentals campagne van 2010 een goede kwaliteit voor het Dinantiaan en snijden enkel de boringen van Mol-GT het Dinantiaan aan.



Figuur 39: Overzicht van de locaties van de seismische lijnen die in dit rapport getoond worden voor het centrale deel van het Bekken van de Kempen. Enkele van de belangrijkste boringen in dit gebied en de seismische lijnen/3D campagnes zijn ook weergegeven, net als de dikte van het Namuriaan zoals gemodelleerd voor het G3Dv3-model, en de belangrijke laatste Viseaan en Namuriaan randbreuken zoals gemodelleerd voor de huidige studie.

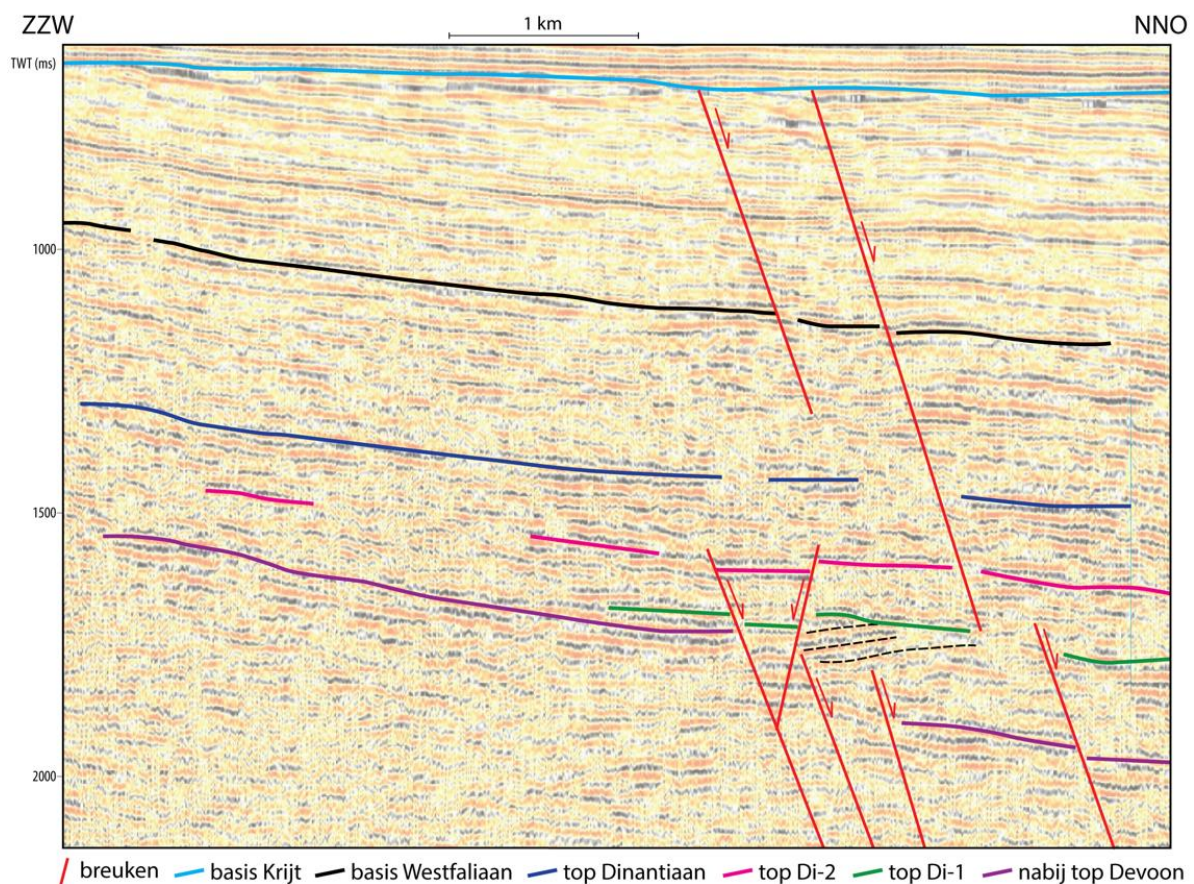
- **Dinantiaan en Devoon**

Vanwege het beperkt aantal lijnen en de soms lage resolutie/kwaliteit, zijn er in deze regio weinig nieuwe inzichten voor het Dinantiaan (uitgezonderd het jongste deel) ten opzichte van de meer westelijke regio. Net zoals verder westelijk zijn lokaal breuksprongen te zien in de basis van het Dinantiaan die uitsterven naar boven toe, zoals op lijn 8605 van de Olmen-Meerhout campagne (Figuur 40). Dit wijst erop dat de tektoniek van in het westen hier ook nog invloed had. Ook dezelfde opdeling van seismisch facies als in het westelijke deel van het Bekken van de Kempen (zie paragraaf 4.4.1) wordt hier lokaal vastgesteld, met zwak reflectief Di-1 en -2 en sterker reflectief Di-3.

Ook zijn er build-up complexen vast te stellen in alle pakketten van het Dinantiaan, zoals mogelijks op lijn 8608 van de Olmen-Meerhout campagne (Figuur 41), of 10-01 van de Mol-Herentals campagne (Figuur 42).

Aan boring Mol-GT-03 is het Dinantiaan maar rond 300 ms TWT dik, in tegenstelling tot de meer dan 500 ms TWT in het zuidwesten van de Oostmalle campagne en uiterste westen van lijn 10-01 van de Mol-Herentals campagne (Figuur 42). Hoe deze verdunning verloopt is onzeker, maar het lijkt alsof het dunnere Dinantiaan (340 ms TWT) al bereikt is in het westen van lijn 10-01. We interpreteren nu de verdunning van het Dinantiaan op een groot, noordwesthellend breukensysteem met een verzet van ongeveer 200 ms TWT op de hierboven vermelde seismische lijn (Figuur 42). Ook op nabijgelegen lijn 8103 van de Oostmalle campagne valt de verdunning van het Dinantiaan op naar het oosten (Figuur 43). De zone met maximale Tournaisiaandikte zoals vastgesteld in het zuidoosten van de Oostmalle campagne (zie paragraaf 4.4.1) lijkt daarom zowel in het westen als oosten breukbegrensd te zijn. Het kan dus beschouwd worden als een asymmetrische graben binnen het Tournaisiaan riftsysteem (zie ook Figuur 59). Dit depocenter hebben we aangegeven in Figuur 23.

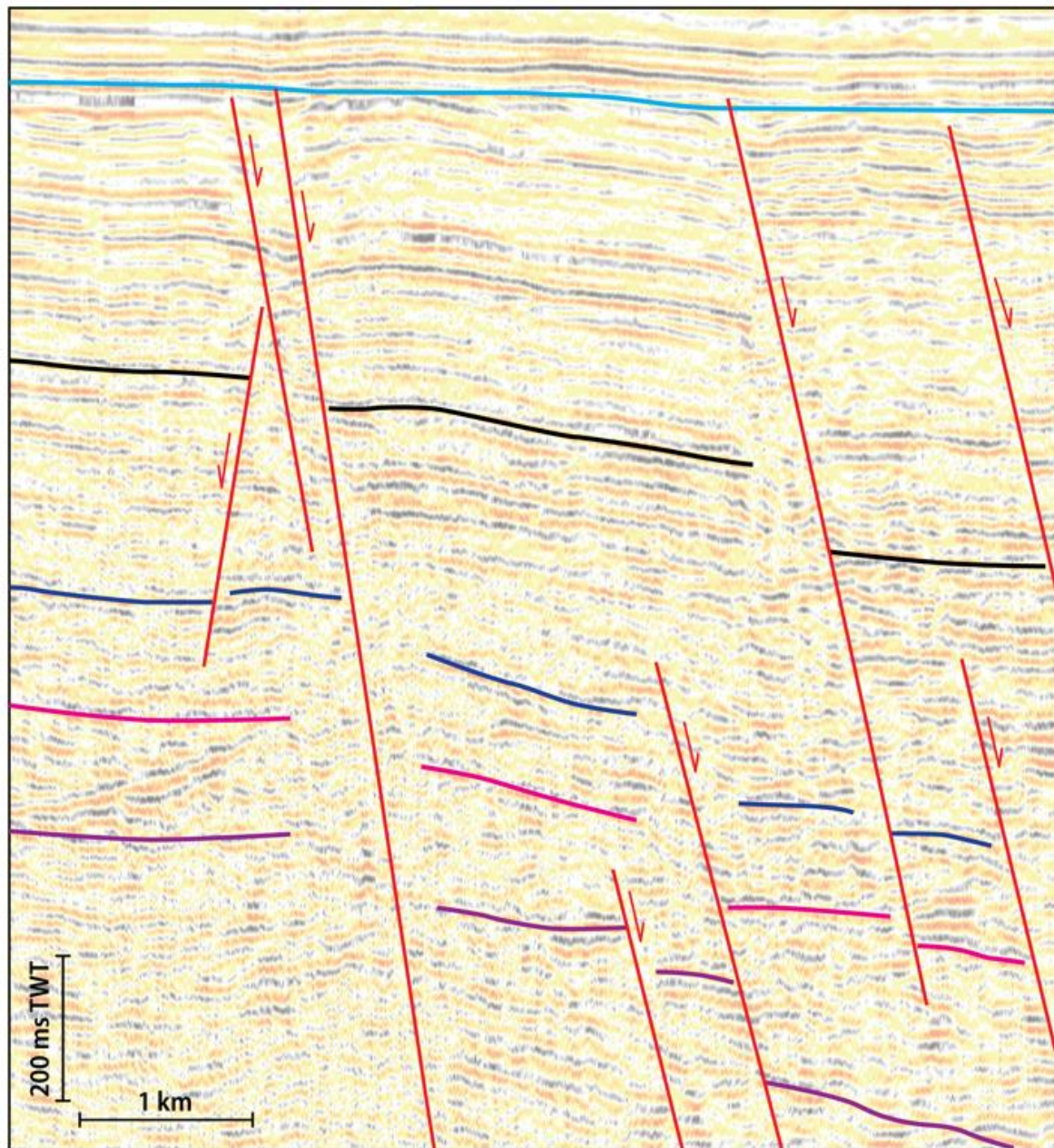
Ten oosten van de Mol-Herentals campagne zijn de lijnen gelegen van de DGE-rollout campagne. Op de gereproceste versie van deze lijnen is de top van het Dinantiaan regelmatig nog te interpreteren, en vooral in het uiterste westen, waar deze campagne aansluit op de Mol-Herentals campagne en doorheen boring Mol-GT-01 gaat. De onzekerheid op deze interpretatie neemt wel sterk toe in oostelijke richting voor deze campagne.



Figuur 40: Lijn 8605 van de Olmen-Meerhout 1986 campagne met daarop de geïnterpreteerde horizon van het Dinantiaan en Devoon. Let op de noordwaartse verdikking van het Dinantiaan onder de top van Di-2. Mogelijke aflijningen van build-up complexen zijn aangegeven met zwarte streepjeslijnen. Voor locatie zie Figuur 39.

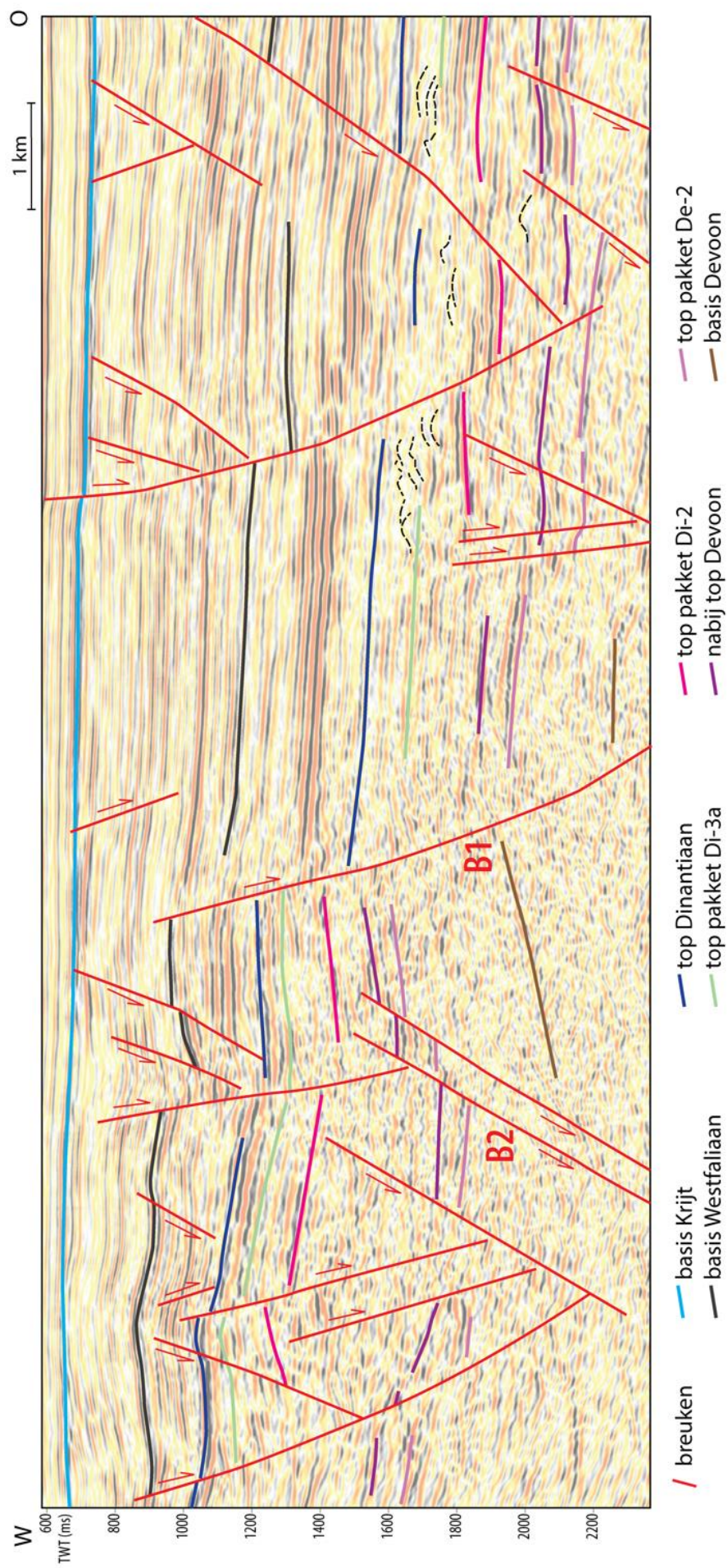
ZW

NO

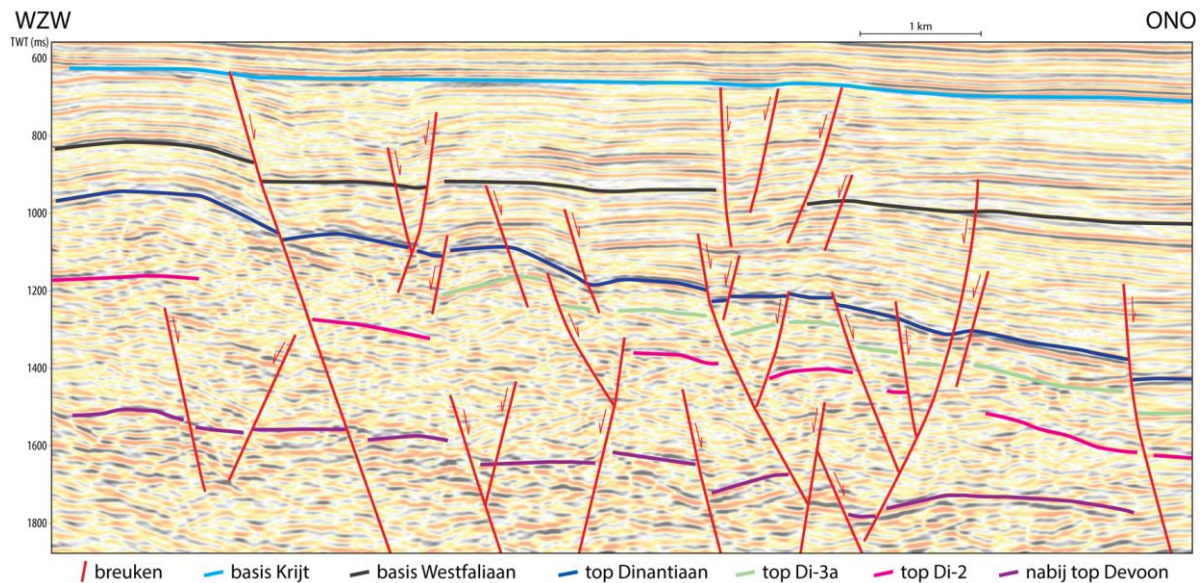


/ breuken — basis Krijt — basis Westfaliaan — top Di-2
— top Dinantiaan — nabij top Devoon

Figuur 41: Lijn 8608 van de Olmen-Meerhout 1986 campagne met daarop de geïnterpreteerde horizon van het Dinantiaan en Devoon. Let op de noordoostwaartse verdieping van het Dinantiaan via breuksprongen. Let ook op de scheve reflecties binnen het Dinantiaan onder de top van Di-2 in het linkse (ZW) breukblok. Gezien de onder- en bovenliggende eenheden sub-horizontale reflecties vertonen, zouden deze scheve reflecties onderin het Dinantiaan de expressie van een groot build-up complex kunnen zijn. Voor locatie zie Figuur 39.



Figuur 42: Lijn MH10-01 van de Mol-Herentals campagne met daarop de sterk toenemende dikte van het Namuriaan (tussen top Dinantiaan en basis Westfaliaan) in oostelijke richting, deels via helling, maar ook via een grote sprong langs de breuk die aangegeven is met B1. De sterke reflecties boven de top van het Dinantiaan worden geïnterpreteerd als een gevolg van de aanwezigheid van zandstenen in het schalie-gedomineerde Namuriaan. Het Dinantiaan verdunt sterk van west naar oost langs deze lijn, met bijna 200 ms TWT langsheen het breukensysteem dat is aangegeven met B2. Lokaal komen in zwak reflectieve zones van pakket Di-3 build-up structuren voor, aangegeven met zwarte streepjeslijnen. Voor locatie zie Figuur 39.

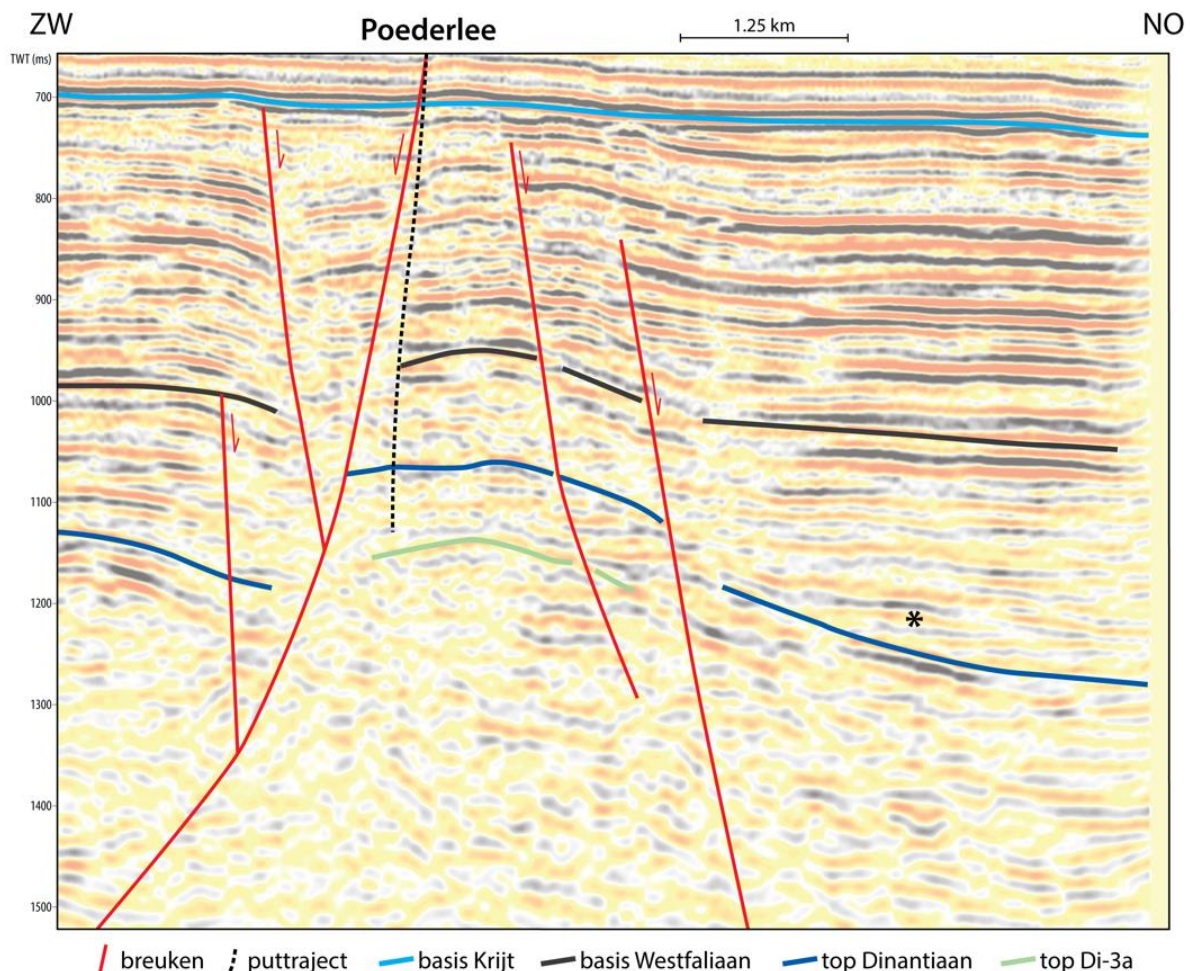


Figuur 43: Lijn 8103 van de Oostmalle campagne met daarop de sterk toenemende dikte van het Namuriaan (tussen top Dinantiaan en basis Westfaliaan) in oostelijke richting via beperkte breuksprongen en vooral een helling van de top van het Dinantiaan. De dikte van het Dinantiaan neemt dan weer af in diezelfde richting, weg van het depocenter dat samenvalt met de zuidelijke begrenzing van de asymmetrische graben in het zuiden van de Oostmalle campagne. De totale som qua dikte TWT van het Dinantiaan en Namuriaan blijft daarom ongeveer gelijk over deze lijn. Voor locatie zie Figuur 39.

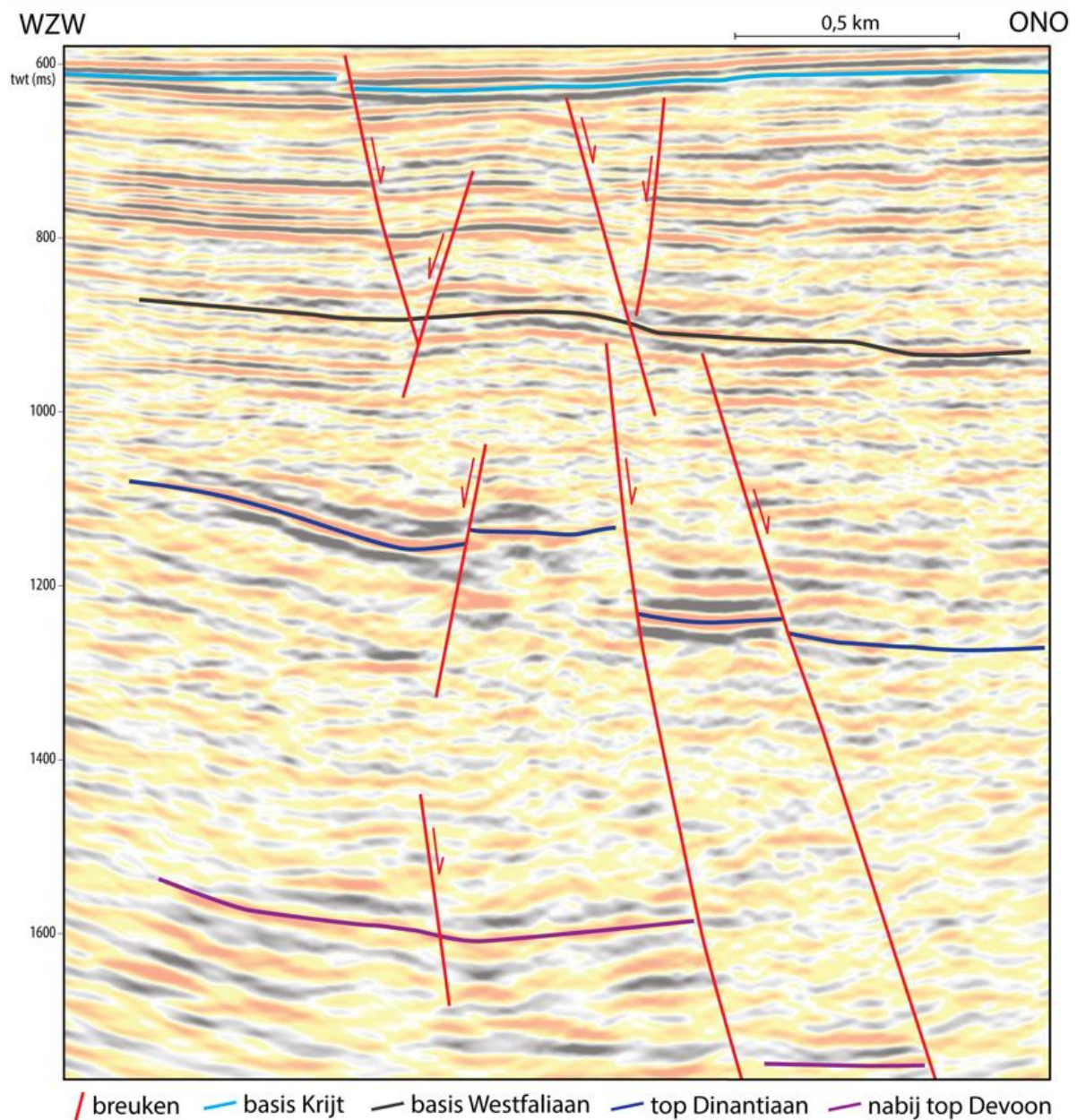
- **Laatste Dinantiaan en Namuriaan**

De verdieping van het Dinantiaan richting het oosten over de lijn van Olen-Poederlee-Turnhout heeft grotendeels te maken met een verdikking van het Namuriaan in dezelfde richting, van meestal minder dan 400 m in het westen tot meer dan 800 m in het oosten (zie G3Dv3-model model in Deckers et al., 2019; Figuur 39). Aan boring Poederlee is het Namuriaan amper 240 m dik. Het Namuriaan kent hier een sterke oostwaartse verdikking met onlap richting boring Poederlee die goed te observeren valt op de Poederlee campagne van 2007 (Figuur 44). Diezelfde oostwaartse verdikking is ook te zien aan de nabijgelegen lijnen van 8103 van de Oostmalle campagne en 10-01 van de Mol-Herentals campagne, waar ze plaatsvindt door zowel breuksprongen als hellingsveranderingen (Figuur 43 en Figuur 42). De hierboven beschreven diktetrend van het Namuriaan was reeds vastgesteld en gekarteerd in het G3Dv3-model. Na het G3Dv3-model werd ten zuiden van de hierboven beschreven lijnen de 3D seismische campagne van Olen-Herentals geschoten. Op deze recente campagne zien we dezelfde trends als op de hierboven beschreven lijnen 8103 en 10-01 (Figuur 45). Omdat het een 3D seismische campagne betreft, is de Olen-Herentals campagne ook uitermate geschikt om de strekking van breuken na te gaan.

Dit zou NNW-ZZO tot NNO-ZZW zijn, of dus parallel met de grotere trend van Namuriaan dikteverandering (zie breuk in Figuur 39). Verder naar het westen of oosten zijn dergelijke breukgerelateerde diktesprongen voor het Namuriaan niet vastgesteld, met uitzondering van de Heibaart Structuur waar ze ook uitgesproken zijn (paragraaf 4.4.1). De concentratie van vervorming op deze NNO-ZZW zone van Olen tot Poederlee en Turnhout met daarrond veel meer beperkte breukwerking, maakt dat we de NNO-ZZW zone als een randzone van een Namuriaan riftsysteem interpreteren. De randzone van dit systeem hebben we weergegeven in Figuur 39.



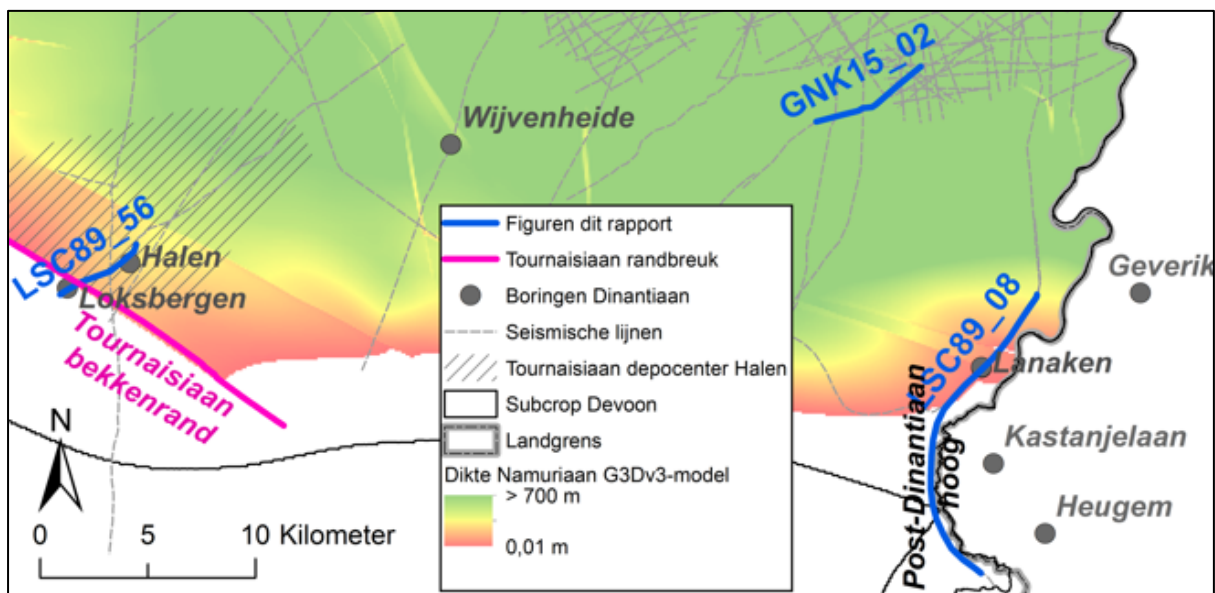
*Figuur 44: Lijn 0703 van de Poederlee campagne met daarop de afnemende dikte van het Namuriaan in zuidwestelijke richting via onlap tegen het hoog waarin boring Poederlee geboord werd. De locatie met sterke onlap van het Namuriaan tegen de top van het Dinantiaan wordt aangegeven met een *. Voor locatie zie Figuur 39.*



Figuur 45: Crossline 221 van de Olen-Herentals campagne met daarop de sterk toenemende dikte van het Namuriaan in oostelijke richting, deels via helling en deels via breuken. Deze breuken sterven uit richting de basis van het Westfaliaan. Opvallend hierbij is dat tussen de Westfaliaan-Namuriaan overgang en de basis Krijt een gelijkaardige set van breuken zichtbaar is, dewelke zich verticaal boven de onderliggende set heeft ontwikkeld. Dit wijst erop dat in deze regio een ontkoppeling heeft plaatsgevonden van breuken rond de Westfaliaan-Namuriaan overgang. Voor locatie zie Figuur 39.

4.4.5 Zuidoostelijk deel van het Bekken van de Kempen – van rand naar intrariftsysteem voor zowel het Tournaisiaan als Namuriaan

Zowel de seismische bedekking als de kwaliteit van het seismische beeld verminderen algemeen richting het zuidoostelijke deel van het Bekken van de Kempen. De vermindering van het beeld is een gevolg van de sterke verdieping van het Dinantiaan in oostelijke richting in combinatie met algemene toename in helling van de lagen en structurele complexiteit. Het centraal oostelijk gedeelte wordt bedekt door tal van seismische campagnes, maar hier ligt het Dinantiaan al te diep om een goed beeld ervan te bekomen. In het westelijke deel van dit deelgebied liggen slechts een beperkt aantal seismische campagnes. De campagne van Campine Basin 1953-1956 heeft algemeen een slecht beeld en is weinig bruikbaar, de lijnen van de Limestone Subcrop 1989 campagne geven een matig (als gereprocest) tot slecht (als niet gereprocest) beeld en die van Genk 2015 campagne geven het beste beeld. Van deze twee laatste campagnes, lopen de lijnen van de Limestone Subcrop 1989 campagne het verst zuidwestelijk tot tegen de rand van het voorkomen van het Dinantiaan aan het Massief van Brabant, wat we als de Tournaisiaan bekkenrand beschouwen.



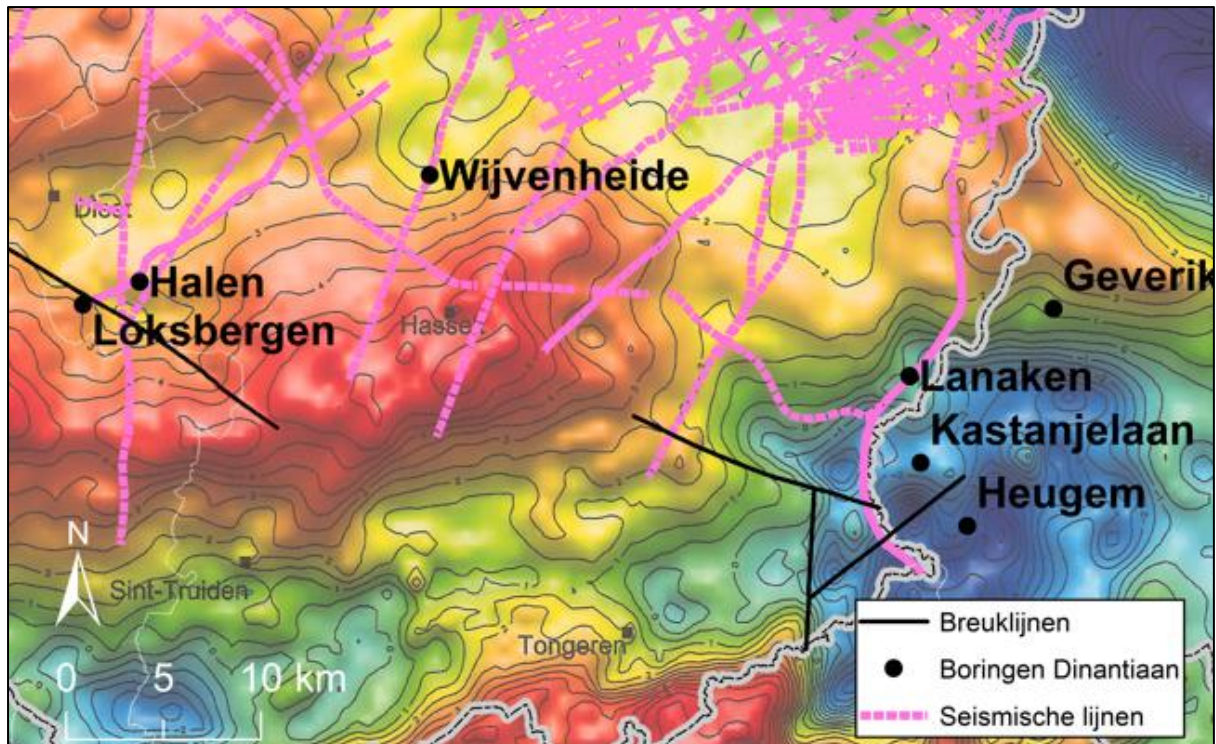
Figuur 46: Overzicht van de locaties van de seismische lijnen die in dit rapport getoond worden voor het zuidoostelijke gedeelte van het Bekken van de Kempen. Enkele van de belangrijkste Vlaamse en Nederlandse boringen in dit gebied en de seismische lijnen zijn ook weergegeven, net als de dikte van het Namuriaan zoals gemodelleerd voor het G3Dv3-model, en de Tournaisiaan randbreuk die tussen boringen Halen en Loksbergen loopt.

- **Tournaisiaan bekkenrand: lijn 8956 van de Limestone Subcrop campagne**

Eén van de meest interessante lijnen van de Limestone Subcrop campagne in deze regio is die van 8956 (Figuur 20) omdat deze vlakbij boring Halen loopt (Figuur 46), dewelke de meeste informatie over het Dinantiaan bevat in het centraal zuidelijke deel van het Bekken van de Kempen. Met behulp van deze boring is de top Dinantiaan langs het zuidwestelijke deel van deze lijn 8956 redelijk te interpreteren. Echter blijft de interpretatie langs het noordoostelijke deel van deze lijn erg onzeker. Op lijn 8956 valt binnen het Dinantiaan op de locatie van boring Halen een tweedeling op, met bovenin een matig tot sterk reflectief seismische facies van Di-3 en onderin een zwak reflectief seismisch facies van Di-1/2.

Het onderste, zwakker reflectieve facies van het Dinantiaan (Di-1/2) valt samen met het Tournaisiaan op basis van de biostratigrafische analyses van stalen van boring Halen door Hance (2022). Het gebrek aan sterke geofysische contrasten hierin (zwak reflectief) is in overeenstemming met de heel uniforme, lage gammastraling-waardes van het Tournaisiaan in de boring. De basis van het Tournaisiaan werd niet bereikt in de boring en is op de seismische lijn niet eenduidig te interpreteren. Echter, op een diepte van 780 ms TWT komt er een sterker reflectief pakket voor dat als de basis van het Dinantiaan geïnterpreteerd kan worden. Dit zou het Tournaisiaan 200 ms TWT of 600 m dik maken. Bijna de helft, of 300 m, daarvan, allemaal van sequentie 4 volgens de dateringen van Hance (2022; zie paragraaf 3.3.1), wordt door de boring Halen doorboord. Op lijn 8956 vallen er in Di-1/2 enkele hellende reflecties op die op een build-up complex zouden kunnen wijzen onder boring Halen. Helaas zijn de pakketten in de onderkant van boring Halen volledig gedolomitiseerd, en valt dus niet meer te achterhalen of dit het geval was. Een build-up complex onder boring Halen zou wel kunnen verklaren waarom het vroegste Viseaan (MFZ 9 en 10) hier afwezig is volgens de dateringen van Hance (2022): in het Dinant Bekken in Wallonië zorgen de Tournaisiaan Waulsortiaan mudmounds voor paleo-relief tijdens het vroegste Viseaan.

Op het uiterste zuidwestelijke uiteinde van lijn 8956 ligt boring Loksbergen (BGD 076e0273) waarin 77 m van het Dinantiaan doorboord werd. Opvallend is dat hier het Dinantiaan volgens biostratigrafische analyses van Bless et al. (1976) zou bestaan uit de V1a biozone direct onder het Krijt. V1a wordt tegenwoordig als Tournaisiaan gedateerd, wat zou willen zeggen dat het ganse Viseaan en Namuriaan, samen nog 739 m dik in boring Halen, over een afstand van amper 3,1 km volledig zou zijn verdwenen (zie verdwijnen Namuriaan op deze breuk in Figuur 46). Op basis van de seismiek is dat door een noordoosthellende breuk helemaal op het uiteinde van lijn 8956. Op de gereproceste versie van Figuur 20 is deze breuk amper meer te zien, maar op de origineel geproceste nog wel. Dit enorme verzet komt ook in de graviteitskaart tot uiting (tussen boringen Halen en Loksbergen op Figuur 47). Het vormt één van de grote randbreuken van het Bekken van de Kempen die vermoedelijk tijdens het Jura actief was. Of deze breuk ook actief was tijdens het Dinantiaan valt niet te bepalen omdat ze helaas net op de rand van de seismische lijn gelegen is. Op basis van analogie met de breukverzetten op lijnen 8904 en 8903b nabij boringen Booischot en Kessel (zie paragraaf 4.4.2), lijkt het ons wel waarschijnlijk dat dit ook een belangrijke randbreuk was van het Tournaisiaan riftsysteem, die dan ook tijdens het Jura gereactiveerd werd. Een bijkomend argument voor Tournaisiaan breukwerking langs de grote Jura breuk is dat - net zoals op lijnen 8904 en 8903b (zie paragraaf 4.4.2) - er in de hangingwall van de grote breuk op lijn 8956 indicaties zijn voor instortingsstructuren (Figuur 20). Ook op de snijdende lijn 09 van de 1953-1956 campagne zijn deze instortingsstructuren heel duidelijk waar te nemen in de hangingwall en afwezig in de footwall van de grote breuk. De ligging in de zone met tal van instortingsstructuren kan verklaren waarom de kwaliteit van lijn 8956 zo slecht is rondom boring Halen. Boring Halen zelf ligt naast een instortingsstructuur, mogelijks omdat er net een build-up structuur onder ligt (zie verdere discussie in paragraaf 6.3). Deze grote Jura breuk als randbreuk van het Tournaisiaan riftsysteem met een depocenter rond boring Halen - op basis van de negatieve graviteitsanomalie hier - is geschetst op Figuur 46.



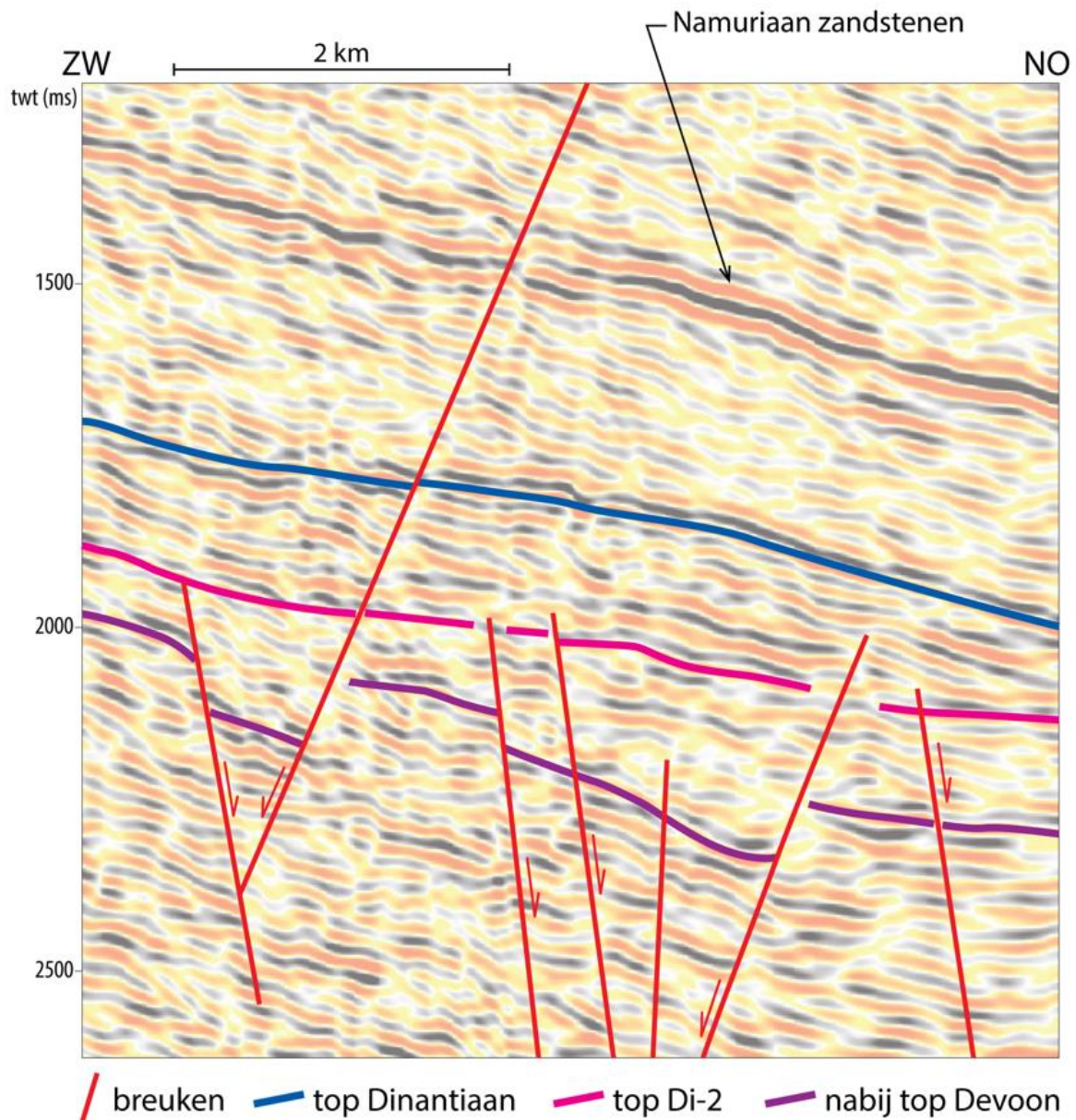
Figuur 47: De gravimetrische kaart van het zuidoostelijke deel van het Bekken van de Kempen en het Massief van Brabant. De rode en blauwe kleuren zijn respectievelijk positieve en negatieve Bouguer anomalieën. Hierin valt de sterke negatieve anomalie op in het uiterste zuidoosten van het Bekken van de Kempen aan boringen Heugem, Kastanjelaan en Lanaken. In het westen lijkt deze anomalie begrensd door een grofweg N-Z lopende breuk die stopt tegen een WNW-OZO lopende breuk. De lijn van de gemodelleerde breuk tussen boringen Heugem en Kastanjelaan - zoals geïnterpreteerd op Figuur 49 en schematisch weergegeven op Figuur 50 - is ook weergegeven. Let ook op de sterke veranderingen in graviteitsanomalie waarden tussen boringen Loksbergen en Halen in het westen, dewelke samenvallen met een gemodelleerde breuklijn.

- **Tournaisiaan en Namuriaan intra-rift gebied: Genk campagne**

De lijnen van de Genk campagne van 2015 gaan niet langsheen een boring die het Dinantiaan aanboort, maar zijn geïnterpreteerd op basis van het seismische facies dat van elders gekend is. Een belangrijk referentiepunt hiervoor is het zwak reflectieve facies van het schaliegedomineerde Namuriaan met centraal daarin sterke reflecties die een concentratie van zandsteenpakketten voorstellen (zie Deckers et al., 2019). Deze zandstenen werden ook geobserveerd centraal in het Namuriaan in boring Wijvenheide (DOV [kb25d77w-B178](#); BGD 077w0174), die 5-6 km ten westen van de meest westelijke lijn van de Genk-2015 gelegen is. De aanwezigheid van dit Namuriaan met dikke zandsteenpakketten in, wijst erop dat deze regio mee deel uitmaakt van het Namuriaan riftsysteem. De top van het Dinantiaan is hier sterk reflectief, evenwel minder dan de zandstenen van het Namuriaan. Op de westelijke delen van deze lijnen is het seismisch beeld verstoord door breukwerking. Verder naar het oosten is het beeld minder verstoord, maar ligt het Dinantiaan al heel wat dieper, wat het beeld ook minder duidelijk maakt. Op de meest kwalitatieve lijn van de Genk campagne, namelijk 15-02, kunnen in het noorden twee faciessen onderscheiden worden binnen het Dinantiaan (Figuur 48). Een bovenste matig reflectief facies, overeenstemmend met Di-3 en onderste zwak reflectief facies van typisch Di-1 en -2. Di-3 heeft een dikte van 180 ms TWT en Di-1/2 eronder

tussen 180 en 250 ms. Net zoals in het westelijke en noordoostelijke deel van het Bekken van de Kempen, lijken er breuken te zitten in Di-1/2.

Op het noordoostelijke uiteinde van lijn 15-02 van de Genk campagne valt er bijvoorbeeld een verplaatsing op van 65 ms TWT van het zwak reflectieve facies (Figuur 48). In pakket Di-3 is deze sprong beperkt, en het grootste deel van de sprong (40 ms TWT) lijkt dan geacommodeerd door dikteveranderingen in Di-1/2 daaronder. Dit wijst erop dat de Tournaisiaan breukenfase ook in deze regio belangrijk was.



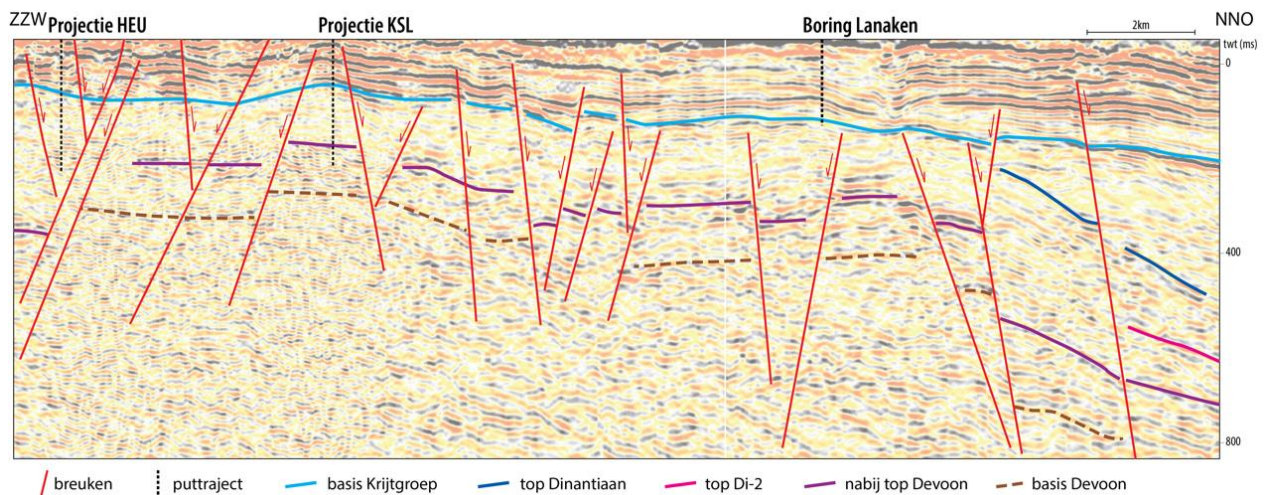
Figuur 48: De gereproceste lijn 15-02 van de Genk campagne met interpretaties van het Dinantiaan. Let op de breuksprong in de basis en zwak reflectieve onderkant van het Dinantiaan die lijkt uit te sterven richting het matig reflectieve pakket Di-3 in de bovenkant van het Dinantiaan. Voor locatie zie Figuur 46.

- **Post-Dinantiaan hoog: 8908 van de Limestone Subcrop campagne**

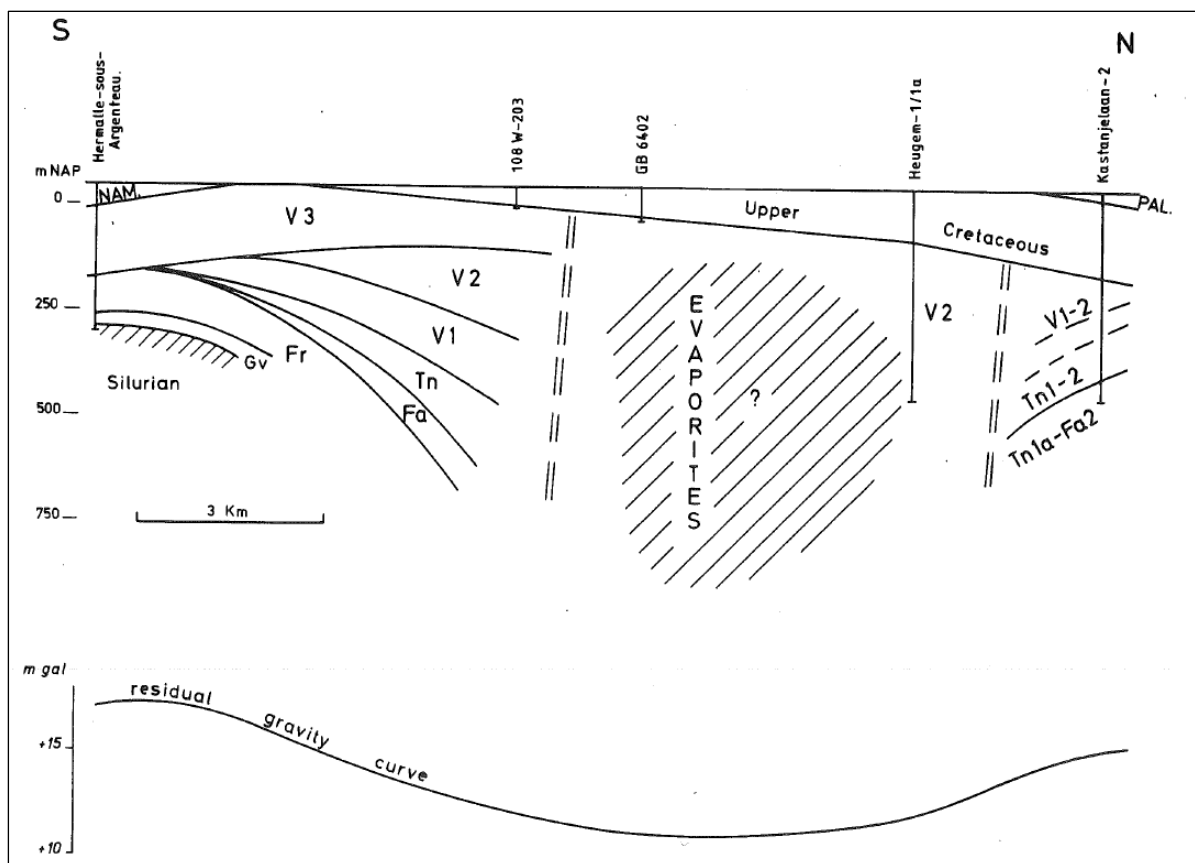
De meest zuidelijke lijn in de regio is 8908 van de LSC-campagne (Figuur 46), die van matige kwaliteit is (Figuur 49). Deze lijn gaat doorheen boring Lanaken (DOV [kb34d93e-B119](#); BGD 093e0115) waarin 5 m Namuriaan en 1 m Dinantiaan werd aangeboord waarna de boring stopte. Het Dinantiaan is hier heel zwak reflectief en over het grootste deel van de lijn onder de Krijtgroep gelegen. Ongeveer 120 ms TWT onder de top is een dubbele band met sterkere reflecties die typisch als basis van het Dinantiaan (midden Hastariaan, zie paragraaf 4.1) geïnterpreteerd wordt. In de Nederlandse boring Kastanjelaan, ongeveer 3,3 km ten oosten van deze seismische lijn gelegen, zijn bijna 20 m dikke schalies van de Formatie van Pont d'Arcole vastgesteld tussen de carbonaten van de formaties van Bosscheveld en Vesder (Laenen, 2003) die inderdaad zorgen voor sterke geofysische contrasten (zie paragraaf 4.1). Bij een snelheid van 6000 m/s maakt de 120 ms TWT het Dinantiaan hier 360 m dik onder boring Lanaken, wat heel wat dunner is dan verder naar het noorden. Vanwege de beperkte diktes aan boring Lanaken is het echter de vraag of het Namuriaan hier conform ligt op het Dinantiaan, of een invulling is van een Dinantiaan karstholte. Boring Lanaken ligt namelijk vlakbij een grote instortingsholte in de top van het Paleozoïcum en onderkant van de Krijtgroep (Figuur 49). Als het Namuriaan dat aangeboord werd in boring Lanaken opvulling van een instortingsholte zou zijn, dan hoeft de dikte van het Dinantiaan er niet de maximale dikte te zijn.

Ten noorden van boring Lanaken zakt het Dinantiaan sterk in de richting van het Mijngedebied op deze seismische lijn. In eerste instantie gebeurt de zakking door een serie van noordoosthellende breuken en verder noordelijk door een sterke helling. Het Dinantiaan bereikt daar een dikte van 280 ms TWT, al is de interpretatie van de basis er erg onzeker. Hierbij lijkt er ook een tweedeling in het Dinantiaan aanwezig, met bovenin een 150 ms TWT dik sterker reflectief pakket, overeenkomstig met Di-3, en onderin een 130 ms TWT dik zwak reflectief pakket, overeenkomstig met Di-1/2.

Ten zuiden van de boring Lanaken blijft het Dinantiaan rond 100-150 ms TWT dik onder de Krijtgroep (post-Dinantiaan hoog op Figuur 46) tot aan het zuidelijke uiteinde van de seismische lijn. Aan dit zuidelijke uiteinde zakt de basis van het Dinantiaan sterk naar het zuiden langs een breukensysteem (geschetst op Figuur 46), waardoor het Dinantiaan hier een dikte van 300 ms TWT of bij een aangenomen snelheid van 6000 ms/s een 900 m bereikt. Het breukensysteem hierboven beschreven valt samen met een belangrijke gravimetrische verandering naar een meer negatieve anomalie waarin ook boring Heugem gelegen is (Figuur 47). Deze laatste boring ligt 3,5 km naar het oosten van de seismische lijn en hierin werd bijna 400 m van het Dinantiaan doorboord zonder de basis ervan te bereiken. De Dinantiaan afzettingen van boring Heugem zouden van V2 of vroege Viseaan ouderdom zijn (Bless et al., 1981a). Volgens de seismische interpretaties zou hier dus nog een 500 m ouder Dinantiaan onder kunnen zitten. Dit is niet onrealistisch aangezien in nabijgelegen boring Kastanjelaan een 180 m Dinantiaan, vermoedelijk Tournaisiaan, werd aangetroffen tussen de Formatie van Pont d'Arcole en de Krijtgroep. Net zoals op het zuidelijke uiteinde van lijn 8908, wordt er tussen de nabijgelegen Nederlandse boringen van Heugem en Kastanjelaan de aanwezigheid van een belangrijke breuk vermoed (Figuur 50; Bless et al., 1981a). Deze breuk lijkt op 8908 samen te vallen met een instortingsholte in de top van het Dinantiaan en delen van de Krijtgroep. Het mogelijke verloop van deze breuk vanuit lijn 8908 naar het oosten tussen boringen Heugem en Kastanjelaan is geschetst op Figuur 47.



Figuur 49: De gereproceste lijn 8908 van de LSC 1989 campagne die langs boring Lanaken loopt met daarop de geïnterpreteerde horizons van het Devoon en Dinantiaan. De nabijgelegen Nederlandse boringen van Kastanjelaan (KSL) en Heugem (HEU) zijn hierop geprojecteerd. Voor locatie zie Figuur 46.



Figuur 50: Een schematische doorsnede (N-Z) van afzetting van het Dinantiaan in het Visé-Puth gebied uit Bless et al. (1981a). Let op de breuk tussen boringen Heugem en Kastanjelaan. Voor locatie van deze boringen zie Figuur 46.

Net zoals in het westelijk deel van het Bekken van de Kempen, valt het voorkomen van het Dinantiaan in het meest zuidoostelijke deel van het Bekken van de Kempen samen met een negatieve graviteitsanomalie (Figuur 47). In de uiterste zuidoostelijke hoek van Vlaanderen wordt deze negatieve anomalie in het westen begrensd door een grofweg N-Z lijn waar de overgang plaatsvindt naar de positieve anomalie die het Massief van Brabant karakteriseert. Vanwege de analogie met het westelijke deel van het Bekken van de Kempen en omdat deze grens zo scherp is op de gravimetrische kaart, veronderstellen we dat deze N-Z lijn samenvalt met een N-Z georiënteerde breuk. Deze breuk helt dan naar het oosten waar het Dinantiaan bewaard is gebleven in de hangingwall. Vanwege de oriëntatie is dit vermoedelijk een post-depositionele breuk. Naar het noorden toe verbindt deze N-Z breuk met een WNW-OZO georiënteerde breuk die tot in het Cenozoïcum actief was (Figuur 47).

4.5 Werkwijze en resultaten interpretaties breuklijnen

4.5.1 Algemene werkwijze

Deze paragraaf geeft een toelichting van de werkwijze waarop breuklijnen geïnterpreteerd zijn op de seismische lijnen. Het startpunt voor hun interpretaties zijn de reeds bestaande breukinterpretaties uit het G3Dv3-model. Zo werden er voor dit bestaande model reeds breukinterpretaties op seismiek gemaakt vanaf de top van het Dinantiaan en hoger. Deze zijn overgenomen en waar nodig aangepast. Deze aanpassing kan een gevolg zijn van het gebruik van meer recente of nieuw geïnventariseerde of gereproceste seismiek, of door nieuwe inzichten die daaruit voortvloeien.

De breuken die op de basis, maar niet in de top van het Dinantiaan effect hebben, werden niet eerder gekarteerd voor het G3Dv3-model en zijn daarom volledig nieuw geïnterpreteerd voor het huidige project. Voor de methodiek tot interpretatie van deze breuklijnen op seismiek, verwijzen we naar de methodiek zoals gebruikt voor het G3Dv3-model (zie Deckers et al., 2019). Hieronder volgt een opsomming van de resultaten van breukinterpretaties op seismiek. Daarin maken we onderscheid tussen breuken in het Devoon en Dinantiaan. Binnen de breuken van het Dinantiaan is er een duidelijke ontkoppeling tussen deze in de top en de basis: breuken die de basis opbreken, bereiken vaak niet de top en vice versa. Hieronder maken we daarom onderscheid tussen breuken die de top en die de basis van het Dinantiaan affecteren.

4.5.2 Breuken Devoon

De basis van het Devoon kon slechts op een beperkt aantal seismische lijnen met enige zekerheid geïnterpreteerd worden. Hierdoor zijn ook slechts een heel beperkt aantal breuken in het Devoon vastgesteld. Op lijn 8904 van de LSC 1989 campagne zijn de breuksprongen in de basis van het Devoon beperkt tot een 20-tal ms TWT (Figuur 17). Op lijn 9106 van de Rijkevorsel campagne lijkt er een trapsgewijze verdikking te zitten op het Devoon richting het westen via breuken (Figuur 31). De hierboven beschreven breuken lijken vooral effect te hebben op de basis van het Devoon en minder op de top ervan. Dit wijst op een breukfase die tijdens het Devoon plaatsvond en uitstierf richting het einde ervan. Een logische tijdsperiode voor deze breukactiviteit is het Givetiaan en oudste Frasniaan, wanneer de conglomeraten van de Formatie van Booischot werden afgezet (Muechez & Langenaeker, 1993; Lagrou & Coen-Aubert, 2017).

4.5.3 Breuken in de onderkant van het Dinantiaan of Tournaisiaan

Voor de basis van het Dinantiaan is het opvallend dat deze opgebroken wordt door tal van relatief kleine breuken (veelal < 50 ms TWT). Deze breuken eindigen veelal in de Tournaisiaan pakketten Di-1 of -2 en hebben soms ook nog een beperkte expressie in het Viseaan pakket Di-3 (zie bijvoorbeeld Figuur 18; Figuur 19; Figuur 26). De breuken vormen in het gehele Bekken van de Kempen horst, graben en half-graben structuren die hun effect hebben op de sedimentologie, zoals blijkt uit hun associatie met build-up complexen (Figuur 19; Figuur 26). Het zijn daarom duidelijk syn-sedimentaire breuken. De breuken hebben dan ook een sterke invloed op de dikte van het Dinantiaan die varieert van minder dan 100 m tot meer dan 1000 m. Uitgezonderd de Heibaart Structuur, is het Tournaisiaan het dunst op de randzone van het Bekken van de Kempen met het Massief van Brabant. Zo is het Tournaisiaan slechts een 100-tal meter dik in boring Booischot volgens dateringen van Hance (2022). Van daaruit verdikt het snel over een reeks van randbreuken naar het noordoosten (Figuur 34). In de regio rond Poederlee is er een breukgebonden depocenter met Tournaisiaandiktes van 1000 m. De breuken die dit depocenter begrenzen hebben sprongen die al snel 100 ms TWT of 300 m bedragen. Op basis van de geometrie zouden we deze structuur als asymmetrische graben omschrijven, met in het noordwesten kleinere breuktrappen dan in het zuidoosten (Figuur 59). Diktesprongen langs Tournaisiaanbreuken zijn in sommige gevallen gemaskeerd door bovenliggende instortingsstructuren. Op lijn 8107 zijn er bijvoorbeeld twee grote instortingsstructuren te zien in het Paleozoïcum (en soms ook hoger) die zich net op de locaties bevinden waar het Dinantiaan sprongsgewijs verdikt richting het zuidoosten (Figuur 24), en ook op lijn 8903b zit er een grote instortingsstructuur boven de grootste Tournaisiaanbreuk (Figuur 34).

Een bijzondere tektonische structuur in het Bekken van de Kempen is de Heibaart Structuur, een horst blok waarop het Dinantiaan heel dun ontwikkeld is ten opzichte van de omgeving, met enkel het jongste Dinantiaan pakket Di-3b nog substantieel aanwezig op de top (Figuur 29). De overige Dinantiaan pakketten verdunnen op de flanken van deze structuur en Di-1 en -2 verdwijnen zelfs tegen de top ervan. De activiteit van deze horst blok dateert dus voor Di-3b of grofweg het boven Moliniaciaan. Dit is consistent met de Tournaisiaan breukenactiviteit zoals vastgesteld elders in het Bekken van de Kempen. De diktes van de jongste Dinantiaan (onder Warnantiaan) sequenties op de Heibaart Structuur zijn gelijkaardig aan de diktes van diezelfde sequenties buiten dit blok op basis van dateringen van Hance (pers. comm.), wat in overeenstemming is met het gebrek aan duidelijke indicaties voor breukwerking tijdens deze periode. Eén van de lijnen die de verdunning van het Dinantiaan richting de Heibaart Structuur het duidelijkst weergeeft is de NW-ZO lopende lijn 9101 (Figuur 29). Deze lijn toont enkel een kanteling en geen groot breukenverzet. Op deze lijn lijkt Di-3a te ontlappen op het hoog. Lijn 9101 sluit aan op de NO-ZW lopende lijn 9106 (Figuur 31) die in het uiterste NO ook op de Heibaart Structuur loopt. Op deze lijn 9106 lijkt de verdunning richting de Heibaart Structuur via grote breuksprongen te verlopen, net zoals op enkele parallelle lijnen daarvan zoals 8802 van de Rijkervorsel 1988 campagne (Figuur 30) en inline 163 van de 3D Rijkervorsel campagne (Figuur 32). Ondanks de goede kwaliteit van lijn 9106, blijft de locatie en grootte van breuksprong voer voor meerdere interpretaties. Wat wel duidelijk is, is dat het Dinantiaan langs deze lijn over een zone van 2 km moet verdunnen van 320 ms TWT in het zuidwesten naar 125 ms TWT in het noordoosten. Dit impliceert een totale sprong in deze zone van bijna 200 ms TWT. Dit is qua verzet ongeveer gelijkaardig aan de sprong op andere grote breuken in het Bekken van de Kempen, zoals de noordwesthellende in het westen van lijn MH10-01 (B2 in Figuur 42). Dit lijkt erop te wijzen dat de breuksprongen tijdens het Dinantiaan een maximum grootteorde hadden van 200 ms TWT of grofweg 600 m, maar dat de meeste breuken daar ruimschoots onder bleven.

4.5.4 Breuken in de bovenkant van het Dinantiaan en in het Namuriaan

Langs de NNO-ZZW lijn van Olen – Poederlee – Turnhout zijn er een reeks sprongen te zien op oosthellende breuken in de top van het Dinantiaan, Namuriaan en oudste Westfaliaan die niet of beperkt doorwerken in het jongere Westfaliaan. Deze breuken accommoderen, samen met een kanteling richting het oosten, een belangrijke verdikking van het Namuriaan in oostelijke richting over enkele kilometers afstand. Voorbeelden hiervan zijn te zien op inlines van de Olen-Herentals 3D campagne (Figuur 45), de lijn 8103 van de Oostmalle campagne (Figuur 43), en lijn 10-01 van de Mol-Herentals campagne (Figuur 42). Deze breuken hebben geen of slechts een beperkt effect op de dikte van het Dinantiaan eronder. Op lijn 10-01 van de Mol-Herentals campagne lijkt pakket Di-3b of het jongste Dinantiaan wel te verdikken met 40-tal ms TWT over de breukzone waarlangs ook een belangrijke verdikking van het Namuriaan daarboven plaatsvindt (Figuur 42). Dit wordt ook bevestigd door correlaties tussen boringen waarin het jongste Dinantiaan (Brigantiaan of MFZ15 biozone) dikker lijkt te worden van boringen Beerse-GT in het westen, naar boring Turnhout en tenslotte richting boring Mol-GT-01 helemaal in het oosten (Hance, 2022; Figuur 9). De verdikking van het Brigantiaan zal op basis van correlaties tussen deze boringen in de grootteorde van een 200-tal meter zijn, of bij een snelheid van 6000 m/s ongeveer 65 ms TWT. Dat sluit redelijk goed aan bij de 40 ms TWT die op seismiek te observeren valt. In het Namuriaan kan de sprong langsheen breuken aanzienlijk worden, tot meer dan 100 ms TWT. Het Namuriaan verdikt zo via deze breuken en kantelingen van 300 m nabij de boringen van Beerse-GT naar meer dan 900 m aan de boringen van Mol-GT. Deze verandering in dikte is dus drie keer zo groot als deze in het late Dinantiaan, wat zich dus ook vertaalt in grotere sprongen van het Namuriaan langsheen breuken.

De verdunning van het Namuriaan richting het westen van de lijn Olen – Poederlee – Turnhout gaat samen met onlap van het Namuriaan tegen de top van het Dinantiaan, zoals aan de flanken van het Poederlee Hoog (Figuur 44). Ook in de regio rond de Heibaart Structuur is er een dikteverandering van het Namuriaan te observeren langsheen grofweg NNO-ZZW georiënteerde breuken, bijvoorbeeld op inline 163 van de 3D Rijkvorschel campagne (Figuur 32) of lijn 9704 van de Rijkvorschel 1997 campagne (Figuur 27). Namuriaan dikteveranderingen langsheen deze laatste lijn worden bovendien bevestigd door correlaties tussen boringen met boorgatmetingen nabij de lijn. Ook voor de aanvang van het Namuriaan hebben deze breuken vermoedelijk gewerkt, zoals blijkt uit de afwezigheid van het Brigantiaan (MFZ15 biozone) in boring DZH1 en Poederlee (Muche et al., 1987a; Muche et al., 1990; Hance, 2022; Hance pers. comm.), terwijl afzettingen van deze ouderdom nog wel beperkt aanwezig zijn in boringen errond.

4.5.5 Post-Namuriaan breuken

De meeste breuken in de top van het Dinantiaan zorgen niet voor grote dikte- of faciesveranderingen in het Dinantiaan of Namuriaan. Dit zijn veelal post-sedimentaire breuken. De meeste van deze breuken waren actief tijdens het Jura (Deckers et al., 2023). Deze breuken werden reeds voor het G3Dv3-model geïnterpreteerd op de seismiek die toen beschikbaar was (Deckers et al., 2019). Voor de huidige studie zijn er echter heel wat meer seismische lijnen geïventariseerd, hoofdzakelijk rond de Heibaart Structuur. Ook zijn bepaalde seismische lijnen gereproceste. Hierdoor zijn er ook heel wat post-Namuriaan breuken in deze studie geïnterpreteerd of geherinterpreteerd. Ook blijkt uit recente en nieuwe gereproceste data in het Namuriaan subbekken, dat veel van deze post-sedimentaire breuken ontkoppelen rond de Westfaliaan-Namuriaangrens (zie Figuur 45), hetgeen een breukenmodel veel complexer maakt.

5 MODELLEN

5.1 Lagenmodellering

5.1.1 Methodiek lagenmodellering in tijd

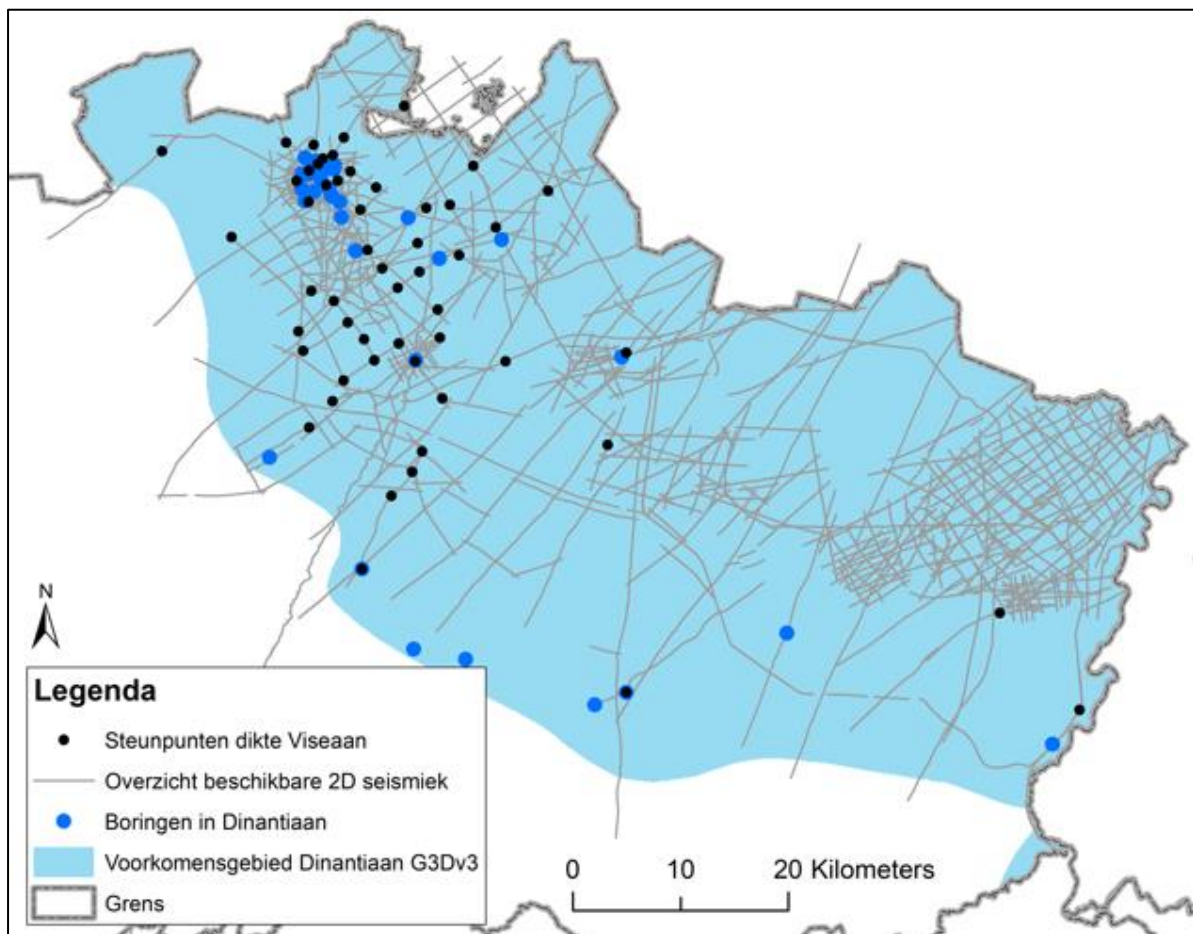
Op basis van de geïnterpreteerde horizons en breuken op seismiek, wordt er een lagenmodel in tijd opgebouwd voor het Dinantiaan. De betrouwbaar geachte interpretaties van horizons en breuken in het Devoon zijn te fragmentair om in een model te gieten en het Devoon wordt daarom niet gemodelleerd. Het lagenmodel van het Dinantiaan is opgebouwd vanuit de seismische interpretaties van de top en basis van het Dinantiaan. De top was reeds gemodelleerd voor het G3Dv3-model. In het westelijke deel van het Bekken van de Kempen is er sindsdien echter extra seismiek geïnventariseerd en gebruikt voor het huidige project. Hierdoor zijn er nieuwe horizon- en breukinterpretaties bijgekomen. Verder zijn er ook een aantal seismische lijnen gereprocest waardoor de oude horizoninterpretaties verbeterd konden worden op deze lijnen. Hierdoor is er niet vertrokken vanuit het - intussen verouderd - G3Dv3-model van de top van het Dinantiaan, maar werd er een nieuw model van gemaakt. De basis van het Dinantiaan was niet eerder regionaal gemodelleerd op basis van seismische data, en is daarom nieuw. Voor de algemene methodiek van lagenmodellering in tijd verwijzen we naar deze van het G3Dv3-model (Deckers et al., 2019).

In het uiterste oosten van het Bekken van de Kempen, ten oosten van de campagnes van DGE-rollout, Olmen-Meerhout, en ten noord(oost)en van Genk en Limestone Subcrop, kunnen de top en basis van het Dinantiaan onvoldoende betrouwbaar geïnterpreteerd worden omdat die hier onherkenbaar is vanwege de grote diepte of omdat deze zelfs onder het seismische beeld valt. Voor deze regio is daarom besloten om geen tijdsmodel van het Dinantiaan aan te maken.

Binnen het Dinantiaan is een horizon nabij de basis van het Viseaan gemodelleerd. Hiervoor is ook uitgegaan van de horizoninterpretaties ervan, als basis Di-3 of top Di-2. Hoewel deze op de locaties van enkele boringen (Beerse-GT-01a en Halen) samenvalt met de basis van het Viseaan, kan dit tussen de boringen afwijken (zie paragraaf 4.3). Bovenste Tournaisiaan build-up structuren tussen de boringen kunnen namelijk ook paleo-hogen hebben gevormd tijdens het Viseaan, waardoor het Viseaan erop lokaal dunner is, analoog aan de situatie in Wallonië (zie Figuur 10). Het kan dat we deze bovenste Tournaisiaan build-up structuren foutief als intra-Viseaan hebben geïnterpreteerd (zie schets hiervan op Figuur 21). Anderzijds kunnen we de opvulling van dit paleo-relief tijdens het Viseaan ook lokaal onderschat hebben, en de horizon van basis Viseaan te ondiep gelegd. Door deze onzekerheid, spreken we van deze horizon of laag als *nabij* basis Viseaan. We schatten dus dat deze zich bevindt op of binnen de grenzen van sequenties 4B en 5 (voor meer toelichting over deze sequenties, zie paragraaf 4.3).

Dit laagvlak, nabij basis Viseaan, is niet op de standaard manier (zoals voor het G3Dv3-model) gemodelleerd tot tijdsvlakken omdat die daarvoor niet continue genoeg geïnterpreteerd kon worden op seismische lijnen. Er is daarom gestart vanuit secties van seismische lijnen waarop de nabij basis Viseaan horizon meer betrouwbaar geïnterpreteerd kan worden. Op deze plekken zijn punten gezet en is de tijdsdikte van het Viseaan op seismiek afgelezen. Deze oefening is uitgevoerd voor heel het Bekken van de Kempen. Hierdoor is een puntenwolk verkregen met tijddiktes van het Viseaan (Figuur 51). De grootste concentratie aan punten situeert zich in het westen van het Bekken van de Kempen waar de meeste bruikbare en hoogst kwalitatieve seismiek gelegen is, waardoor de tijdsdikte van het Viseaan hier ook vaker geïnterpreteerd kan worden (Figuur 51).

Een volgende stap is deze tijddiktes modelleren tot een tijddiktekaart. Hiervoor wordt geïnterpoleerd tussen de diktepunten. De interpolatie wordt gestuurd vanuit de observaties en het daaruit afgeleide concept dat op plekken waar het Tournaisiaan op zijn dikst is, ook het Viseaan dikker ontwikkeld is vanwege opvulling van paleo-relief (zie concept vanuit Wallonië op Figuur 10). Hierna wordt de tijddiktekaart afgetrokken van de tijdswaardes van de top Dinantiaan interpretaties om de uiteindelijke nabij basis van de Viseaan horizons te bekomen op de locaties van alle seismische lijnen, en niet enkel de secties met het beste beeld voor deze horizon. De bekomen horizons zijn vervolgens gecontroleerd en waar nodig aangepast. Ze zijn vervolgens samen met de breukvlakken die het opbreken tot een 3D model verwerkt conform de andere vlakken voor deze studie. Omdat de Tournaisiaan breukwerking uitsterft of heel klein wordt naar het Viseaan toe, zitten er geen Tournaisiaanbreuken in de nabij basis Viseaan model-horizon. Wel zitten er post-depositionele breuken in die ook de top van het Dinantiaan opbreken. Wat echter opvalt is dat heel wat breuken die de top van het Dinantiaan opbreken, eindigen nabij of boven de nabij basis Viseaan. Hierdoor is het aantal breuken dat het nabij Viseaan laagvlak opbreekt heel wat lager dan het aantal breuken dat basis en de top van het Dinantiaan opbreken.



Figuur 51: Overzicht van de steunpunten die gebruikt zijn om een initieel tijdsdiktemodel van het Viseaan te maken.

5.1.2 Methodiek tijd-diepteconversie laagvlakken

Na de modellering van de seismische kapstokvlakken en breuken in het tijdsdomein dienen deze omgezet te worden naar het dieptedomein. Voor deze omzetting is er nood aan modellen van de akoestische snelheden van de ondergrond. Akoestische snelheden zijn niet constant in de ondergrond, maar variëren ten gevolge van tal van factoren, zoals lithologische veranderingen, cementatie, variatie in porositeit, veranderingen in samenstelling van de fluida, ... en nemen algemeen ook toe met de diepte. De toename met de diepte is voor alle eenheden in de ondergrond van toepassing ongeacht de lithologie. Er wordt daarom vaak getracht om analytische functies op te maken die deze toename zo goed als mogelijk voorspellen. De meest gebruikte functie is de lineaire toename van de snelheid met diepte, ook wel gekend als de “V0-k methode”. Voor het G3Dv3-model werd deze “V0-k methode” gebruikt om snelheidskaarten op te maken om de seismische kapstokvlakken tot de top van het Dinantiaan om te zetten naar het dieptedomein. In deze studie zijn deze bestaande snelheidskaarten gebruikt voor tijd-diepteconversie van de nieuwe gemodelleerde top van het Dinantiaan.

Van het intra-Dinantiaan en de basis ervan, zijn er bij het G3Dv3-model geen snelheidskaarten gemaakt. Hieronder worden de snelheidsdata van het Dinantiaan besproken in functie van de opmaak van dergelijke snelheidskaarten voor het Dinantiaan zelf.

→ Snelheidskaarten Dinantiaan

Voor snelheidskaarten wordt algemeen gewerkt met de zogenaamde “Zmid-Vint” formule, dewelke een specifieke vorm is van de meer algemene “V0-k methode” (Japsen, 1993). Deze methode stelt per kapstokpakket een lineaire functie op die de lineaire toename van de snelheid met de diepte weergeeft volgens de algemene formule:

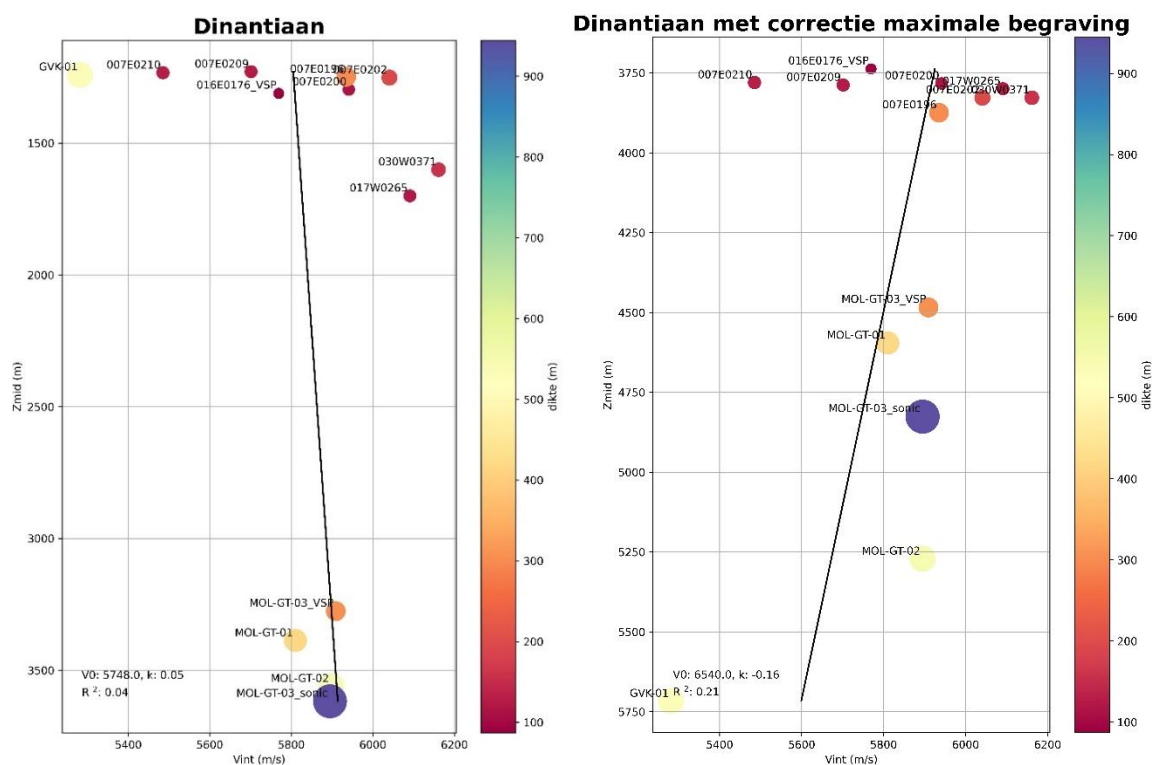
$$V_{int} = V_0 + k \cdot z_{mid}$$

Met V_{int} de intervalsnelheid van een pakket (m/s), z_{mid} het middelpunt van het pakket (m), k de compactiefactor (1/s) en V_0 kan gezien worden als een initiële snelheid, hoewel hierin ook alle andere effecten vervat zitten die de snelheid kunnen beïnvloeden (lithologie, begravingsgeschiedenis, porositeit, cementatie).

Als de intervalsnelheden een lineaire trend vertonen met de diepte van het pakket, kan aan de hand van deze formule één k -waarde afgeleid worden voor het volledige pakket. De V_0 -waarde wordt vervolgens gekalibreerd aan de datapunten met snelheidsgegevens en geïnterpoleerd tot een gebiedsdekkende snelheidskaart. Voor meer uitleg over de achtergrond van deze methode, en voor de formules voor de omzetting tussen tijd en diepte wordt verwezen naar Bijlage B in het G3Dv3-rapport (Deckers et al., 2019).

Voor de snelheidsanalyse van het Dinantiaan is gebruik gemaakt van een selectieset aan sonic data en twee *well shoot* of VSP (Verticaal Seismisch Profiel gemeten in het boorgat) data: MOL-GT-03 ([B/1-102784](#)) en 016e0176 ([kb8d16e-B166](#)). Hierbij werden enkel snelheidsdata meegenomen die minstens 100 m Dinantiaan hebben aangeboord, met uitzondering van de VSP van boring ‘016e0176’, waar de dikte 87 m bedraagt. Als er minder Dinantiaan werd aangeboord, zijn de snelheidsgegevens namelijk vaak niet representatief voor heel het Dinantiaan aangezien de top van het Dinantiaan op heel wat plaatsen gekarstificeerd is, en dus anomaal lage intervalsnelheden geeft. Hierdoor komen we uit op een totaal van 13 bruikbare sonic logs.

Figuur 52 toont dat er voor het Dinantiaan geen lineair toenemende intervalsnelheid in functie van de diepte kan gevonden worden ($R^2 = 0.04$). De intervalsnelheden variëren tussen 5281 m/s (GVK-01) en 6161 m/s (030W0371 - [KOEN-B181](#)).



Figuur 52: Zmid-Vint plot voor het Dinantiaan, links zonder en rechts met correctie van de Zmid-dieptes naar de ingeschatte maximale begraving op basis van het begravingsmodel van Ferket et al. (2010). Noot: de well-shoot analyse in MOL-GT-03 - [B/1-102784](#) (MOL-GT-03_VSP) bestrijkt niet het volledige Dinantiaan, waardoor de aangeboorde dikte en diepte verschilt van de sonic log (MOL-GT-03_sonic) die wel het volledig Dinantiaan bestrijkt.

Voor het snelheidsmodel van het Namuriaan en Westfaliaan van het G3Dv3-model werd gecorrigeerd voor de begravingsanomalie die de boringen kennen (Ferket et al., 2010) en voor de decompactie (zie Al-Chalabi en Rosenkranz, 2002). Echter, wanneer we trachten te corrigeren voor de begravingsanomalie in het Dinantiaan, zien we geen verbetering in het verloop van de k-waarde (Figuur 52). De grote spreiding in snelheidswaardes zonder trend die varieert met diepte suggereert dat voor het Dinantiaan, in tegenstelling tot de bovenliggende siliciclasten, andere factoren dan diepte bepalend zijn voor de snelheidsvariaties, zoals type facies of de diagenetische geschiedenis. Hierdoor zal voor omzetting van tijd naar diepte binnen het Dinantiaan gewerkt worden met één snelheidswaarde, namelijk de mediaan van de snelheidsdata: 5895 m/s.

5.1.3 Resultaten lagenmodellen in diepte

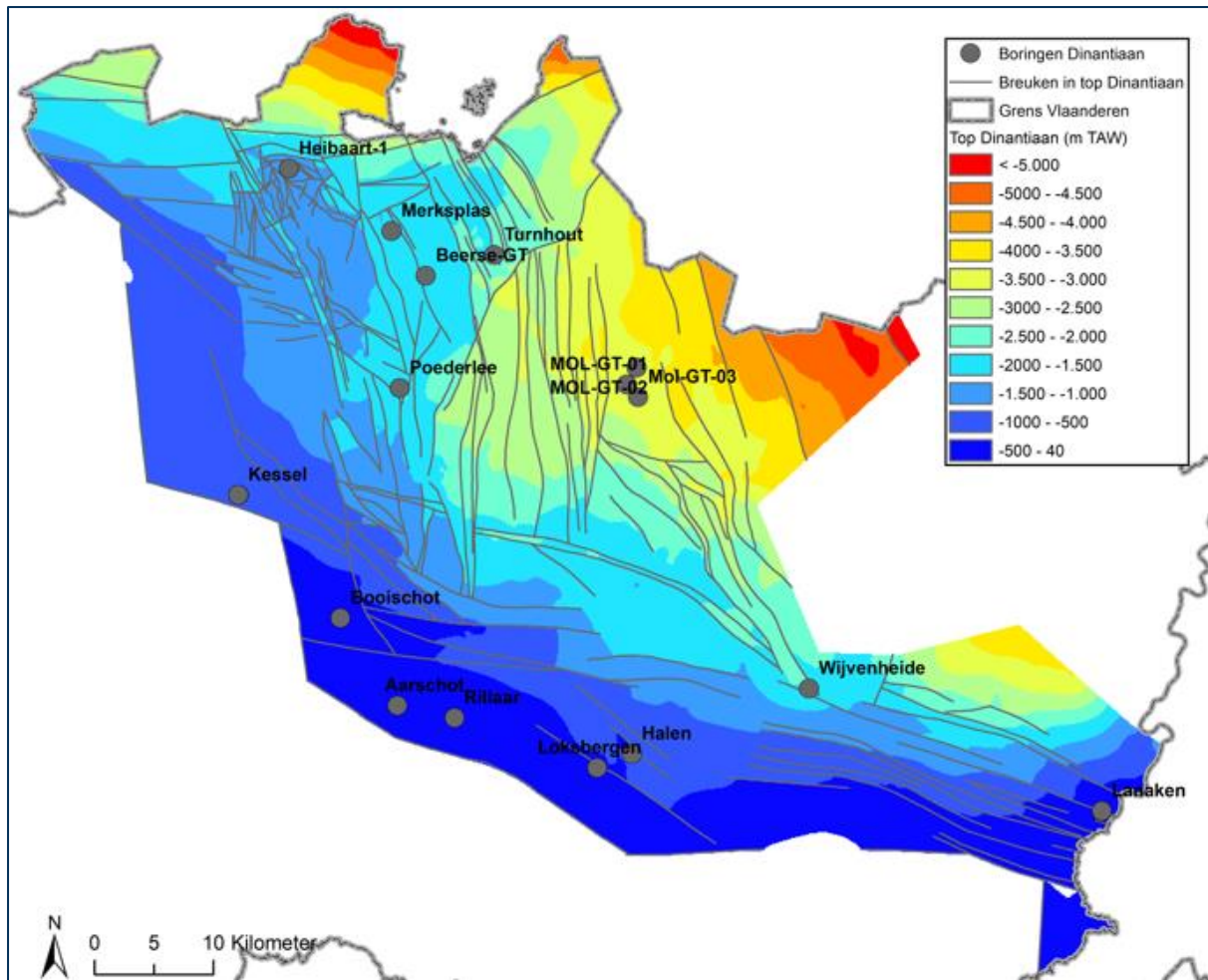
Hieronder worden de resultaten van de modellering van het Dinantiaan en diens subeenheden in het Bekken van de Kempen besproken. We maken daarbij onderscheid tussen de modellen van het Tournaisiaan en het Viseaan. Beide modellen omvatten het grootste deel van het Bekken van de Kempen, uitgezonderd het meer oostelijke deel waar het Dinantiaan niet (voldoende betrouwbaar) meer seismisch geïnterpreteerd kon worden.

→ Resultaten model Dinantiaan

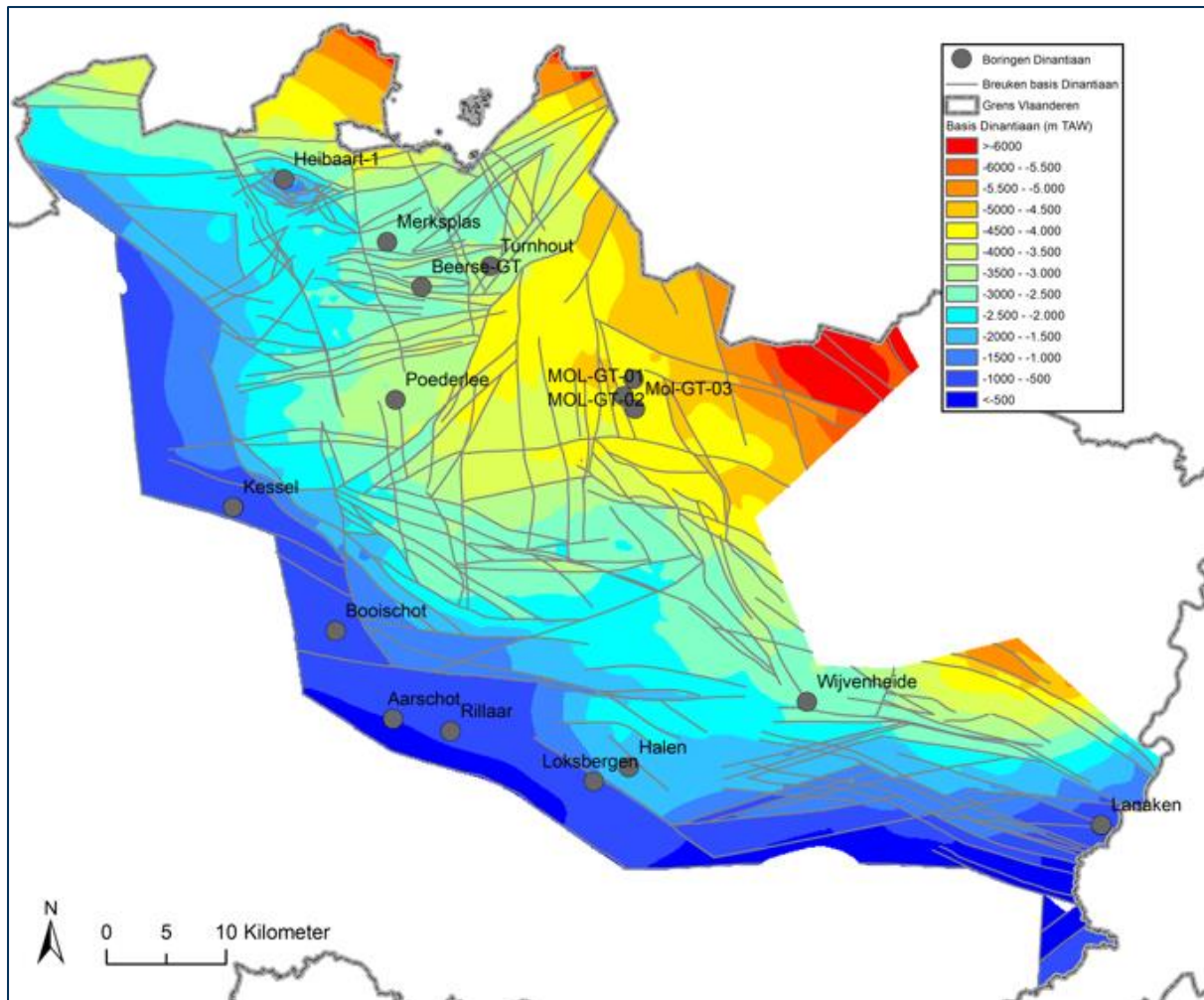
De top van het Dinantiaan situeert zich quasi overal onder -100 mTAW met uitzondering van de meest zuidoostelijke hoek waar het tot + 40 m hoogte TAW gemodelleerd is (Figuur 53). Vanaf de randzone van het Kempisch Bekken verdiept de eenheid snel naar het noorden toe tot onder -1000 mTAW (Figuur 63). Maximale dieptes van de top tot meer dan -5000 mTAW vinden plaats in gebieden waar het Namuriaan verdikt en verdiept, namelijk in het uiterste noorden en noordoosten van Vlaanderen. Hier bereikt ook de basis van het Dinantiaan maximale dieptes van meer dan -5500 mTAW (Figuur 54).

Aan de randzone van het Bekken van de Kempen heeft het Dinantiaan veelal diktes onder 500 m (Figuur 55 en Figuur 63). Hier wordt de top van het Dinantiaan namelijk ingesneden door de basis van de Krijtgroep en zitten we bovendien op de schouder van het Tournaisiaan riftsysteem. In het uiterste zuidoosten, waar het Dinantiaan vermoedelijk verder zuidelijk aanwezig is dankzij het wegzakken van Carboonsedimenten langs een N-Z breuk (zie *Figuur 47*), leidt de opheffing van de footwall van een WNW-OZO georiënteerde randbreuk (*Figuur 47*), wel nog steeds tot een erg dun en lokaal zelfs afwezig Dinantiaan, vooraleer het verder zuidelijk terug verdikt via helling en breuken (Figuur 63).

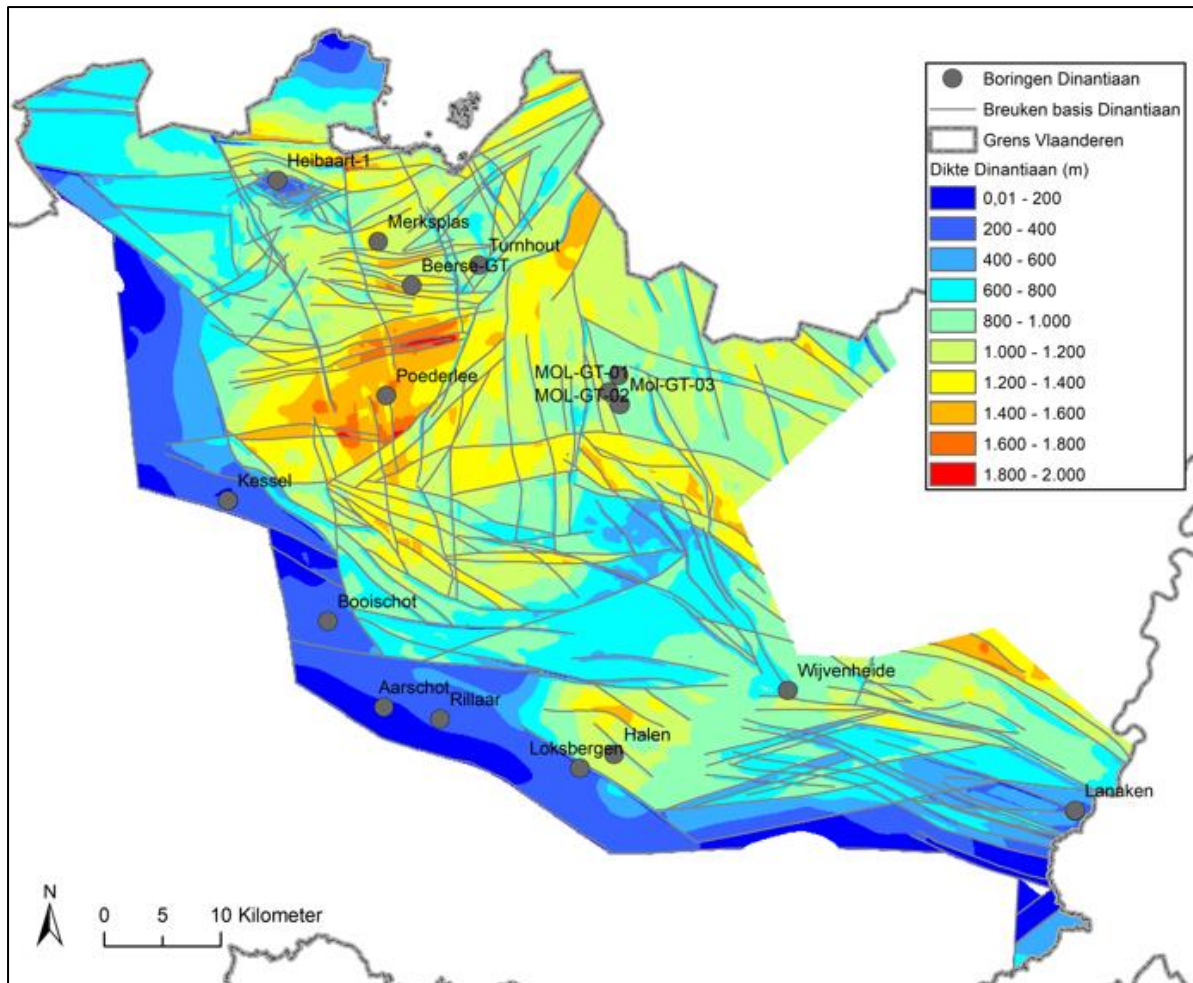
Ten noorden van de randzone van het Bekken van de Kempen wordt de top van het Dinantiaan niet meer ingesneden en zitten we in het Tournaisiaan riftsysteem, waardoor het Dinantiaan hier snel meer dan 800 m dik wordt. In de asymmetrische Tournaisiaan graben in het zuiden van de Oostmalle campagne bereiken zowel het Tournaisiaan als Viseaan hun maximale diktes, waardoor het Dinantiaan hier meer dan 1500 m dik is (Figuur 59). Maximale diktes van bijna 2 km worden bereikt in grabens binnen deze asymmetrische Tournaisiaan graben. In het uiterste noorden vindt een belangrijke verdunning plaats van het Dinantiaan tot minder dan 200 m vanwege de sediment-starvation die in deze regio plaatsvond gedurende het ganse Dinantiaan.



Figuur 53: Model van de diepte van de top van het Dinantiaan zoals opgemaakt voor de huidige studie. De breuklijnen die deze horizon opbreken zijn ook weergegeven.



Figuur 54: Model van de diepte van de basis van het Dinantiaan zoals gemodelleerd voor de huidige studie. De breuklijnen die deze horizon opbreken zijn ook weergegeven.



Figuur 55: Model van de dikte van het Dinantiaan zoals gemodelleerd voor de huidige studie. De breuklijnen die de basis van deze eenheid opbreken zijn ook weergegeven.

→ Resultaten model Tournaisiaan

De basis van het Tournaisiaan situeert zich tussen -100 mTAW in het uiterste zuidoosten van Vlaanderen tot wat dieper dan -6400 mTAW in het uiterste noordoosten (Figuur 56). Aan de zuidrand van het Bekken van de Kempen zit deze op minder dan -1000 mTAW diep. Daar wordt het Tournaisiaan naar het zuiden toe weggesneden onder de basis van de Krijtgroep. Over de randbreuken van het Bekken van de Kempen zakt de basis van het Tournaisiaan al snel dieper dan -2000 mTAW diepte (Figuur 63). Een verdere zakking tot meer dan -4000 mTAW vindt plaats op regio's waar het Namuriaan verdikt en verdiept, namelijk in het uiterste noorden en noordoosten van Vlaanderen.

Op de randzone van het Bekken van de Kempen heeft het Tournaisiaan veelal diktes tussen 100-200 m (Figuur 57), zoals ook vastgesteld in boring Booischot (paragraaf 4.4.2). Hier zitten we op de schouder van het Tournaisiaan riftsysteem. Gelijkaardige diktes van het Tournaisiaan zijn ook vastgesteld op heel wat plaatsen in Wallonië (figuur 6 in Poty, 2016), waar destijds dus ook geen sterke subsidentie plaatsvond. Ten noorden van de riftschouder, over het randbreukensysteem van het Tournaisiaan riftsysteem en dus in het Tournaisiaan Bekken van de Kempen, zijn de Tournaisiaandiktes heel wat groter, tussen 300 m en lokaal zelfs meer dan 1000 m. Binnen het Tournaisiaanbekken is de dikte dominant rond 300-500 m. Dit is de dikte van het pakket aan boring Mol-GT-03.

Ook in de Nederlandse boringen in de offshore O- en S-blokken verder naar het noordwesten langs de noordkant van het Massief van Brabant, is de dikte van het Lid van Beveland (Formatie van Zeeland), of grofweg het Tournaisiaan, rond de 400-500 m dik (Reijmer et al., 2017). In het Bekken van Dinant - ten zuiden van het Massief van Brabant - is de dikte van het Tournaisiaan (Waulsortiaan mudmounds) vermoedelijk ook van die orde (Hance et al., 2006b).

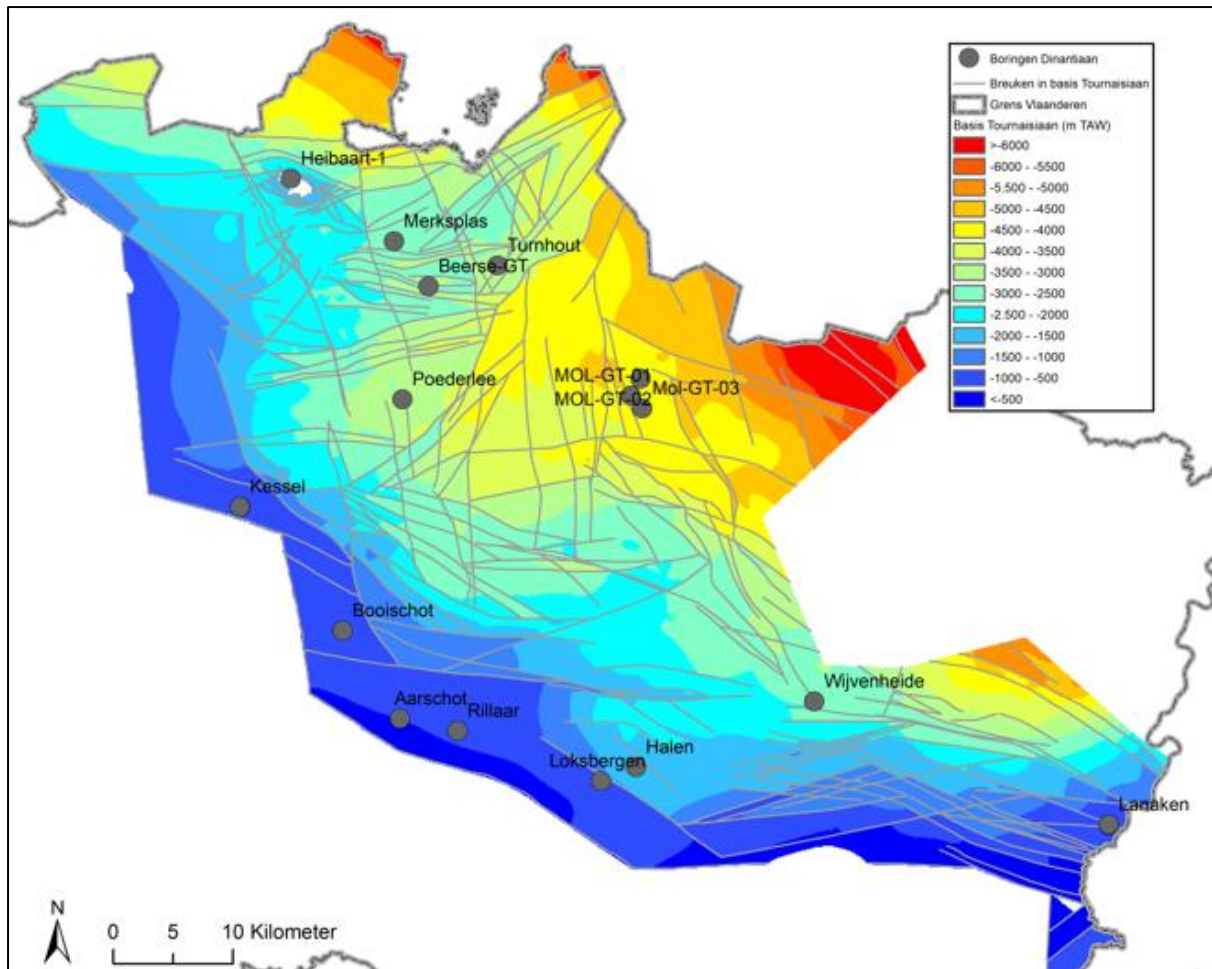
In het ganse Bekken van de Kempen, van Oostmalle in het westen, Olmen centraal en Genk in het zuiden zijn op seismische lijnen breuksprongen tot meer dan 100 m in het Tournaisiaan vastgesteld. Deze komen ook duidelijk in de Tournaisiaan diktekaart naar voor als scherp begrensde verdikkingen van 300-500 m tot meer dan 600 m. Een breukbegrensde zone met een uitzonderlijk grote Tournaisiaan dikte van rond 1000 m omvat de regio rond Poederlee (zie ook paragraaf 4.4.1; Figuur 59). In Wallonië heb je enkel gelijkaardige grootteordes van dikte Tournaisiaan in het Mons Bekken, waar in boring Saint-Ghislain meer dan 1000 m Ivoriaan werd vastgesteld door Hance et al., (2006b).

Ook in de hangingwall van breuken op de Dinantiaan platformrand, nog onder de listrische Breuk van Hoogstraten, en in breukgebonden depocenters in het uiterste oosten van het Bekken van de Kempen worden dergelijke diktes bereikt, evenwel met een meer twijfelachtige interpretatie vanwege minder gebaseerd op kwaliteitsvolle seismische beelden.

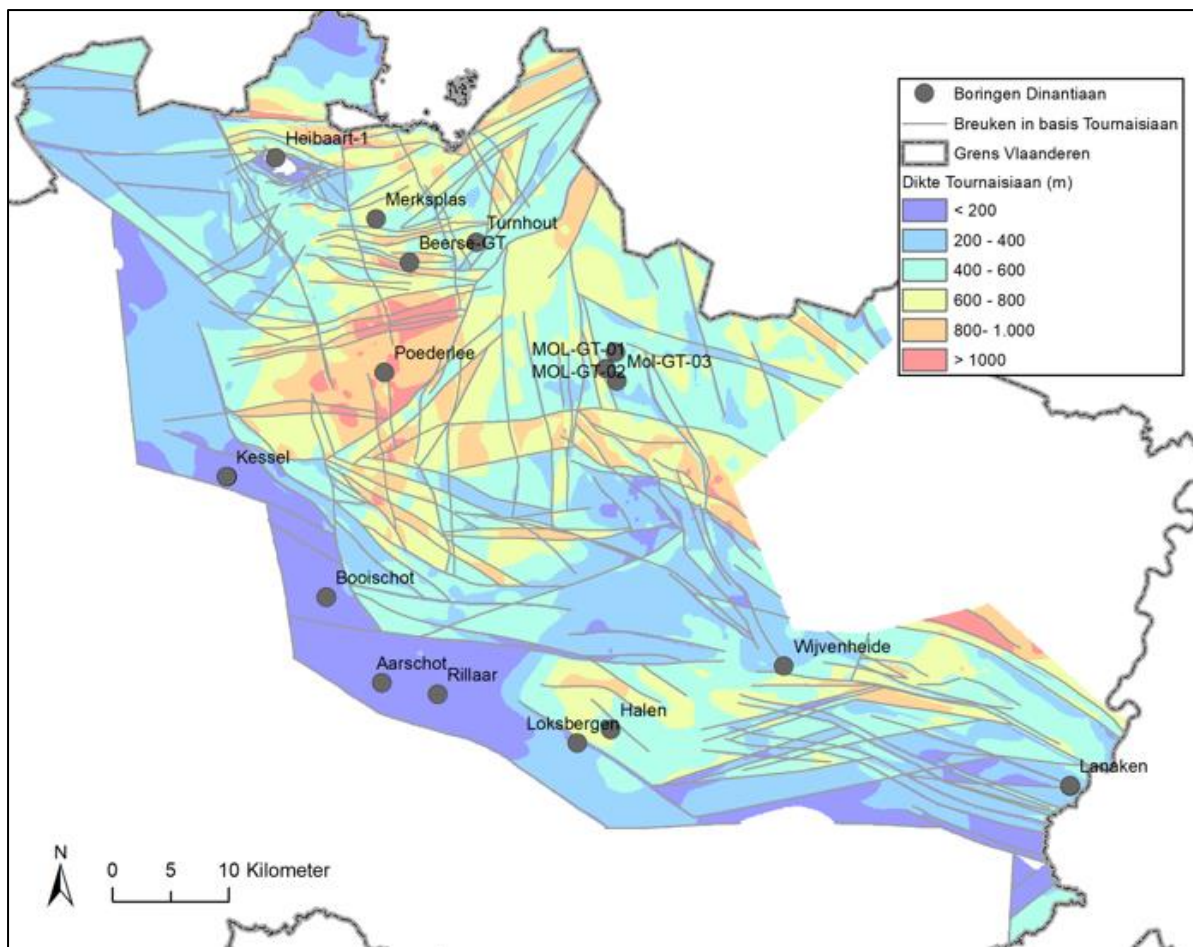
Naar het noorden van het Bekken van de Kempen toe, onder de jongere, listrische Breuk van Hoogstraten, verdikt het Tournaisiaan eerst waarna het terug verdunt naar het noorden toe (Figuur 60). De verdikking schrijven we toe aan invulling van accommodatieruimte op oost-west georiënteerde breukblokken die naar het noorden wegzakken onder de recentere Breuk van Hoogstraten. Deze verdunning relateren we aan sediment starvation in een dieper bekken ten noorden van deze breukblokken. In tegenstelling tot de regio's meer zuidelijk, lag de subsidentie-snelheid in deze noordelijke regio namelijk heel wat hoger waardoor het bekken niet langer volledig opgevuld kon worden met Tournaisiaan sedimenten (paragraaf 4.4.3). We vermoeden dan ook dat het Tournaisiaan naar het noorden toe progressief rijker wordt aan schalies en armer aan carbonaten.

Het enige blok binnen het Tournaisiaan riftsysteem van het Bekken van de Kempen waar Tournaisiaan ontbreekt of heel dun is, is dat van de Heibaart Structuur (Figuur 58). Dit was vastgesteld in boring Heibaart (Labofina, 1976) en wordt bevestigd door seismische interpretaties (o.a. Figuur 31). Deze structuur komt naar voor als een Tournaisiaan horstblok begrensd door breuksystemen, die in totaal een dikteverschil van 400 tot 600 m accommoderen.

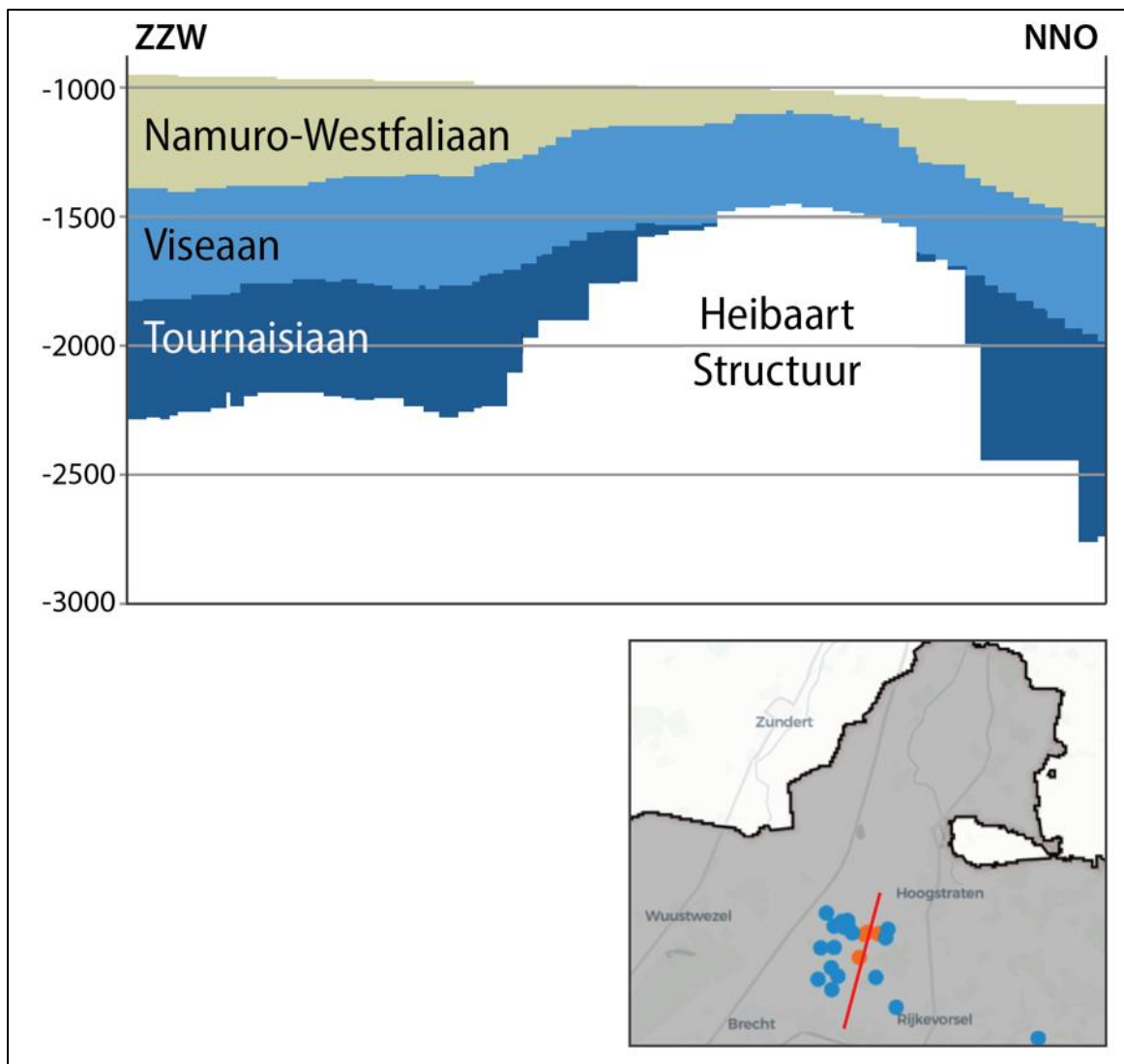
Naast syn-sedimentaire breuken, wordt de dikte van het Tournaisiaan lokaal ook beïnvloed door post-depositionele breuken. Heel wat breuken die actief waren na het Dinantiaan, sterven namelijk uit in het Dinantiaan, meestal in het Viseaan, maar soms ook nog in de bovenkant van het Tournaisiaan. In dit laatste geval is de bovenkant van het Tournaisiaan ingezakt door een post-depositionele breuk, terwijl de basis dat niet meer is, waardoor er lokaal een verdunning van het Tournaisiaan optreedt.



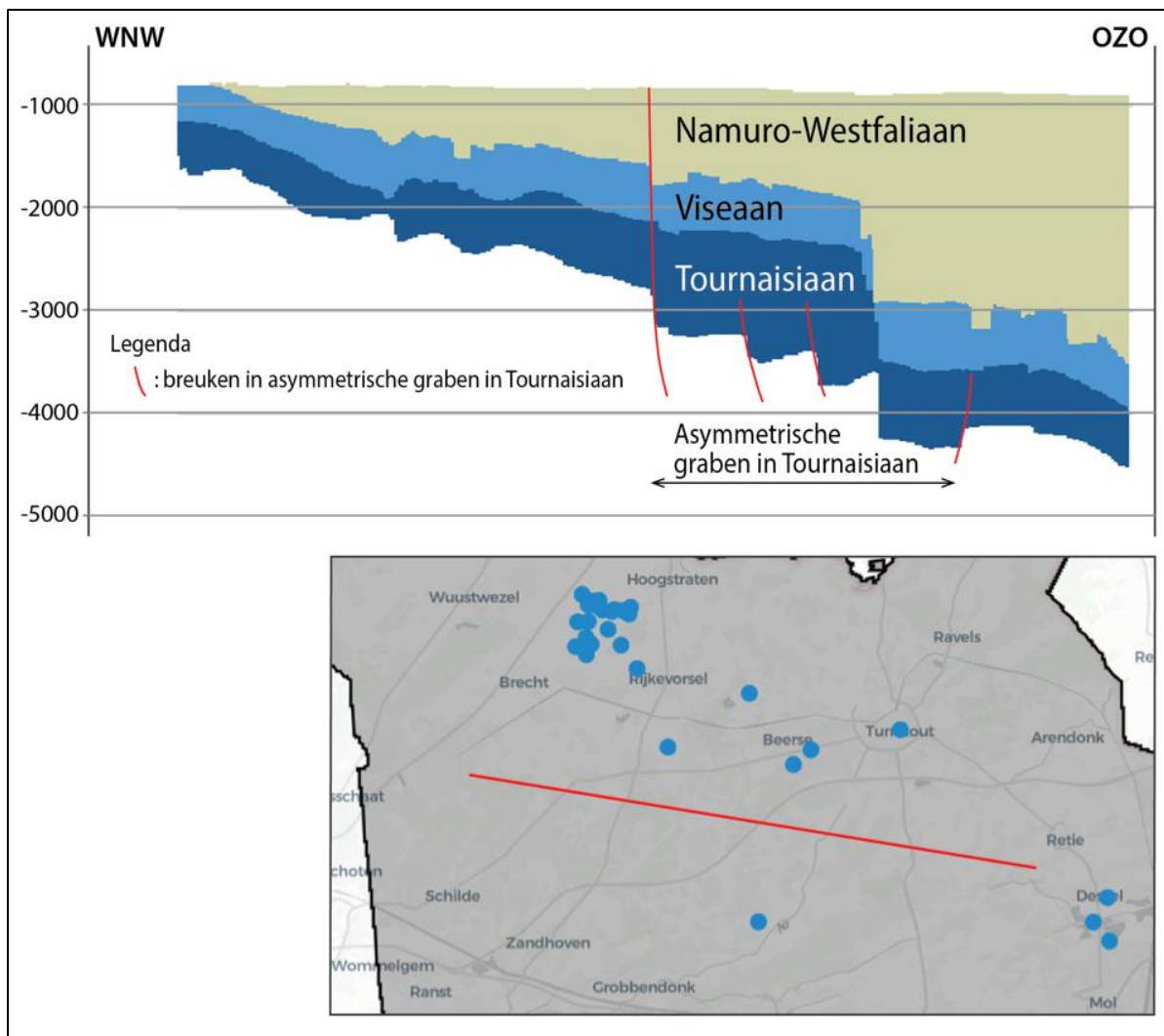
Figuur 56: Model van de diepte van de basis van het Tournaisiaan zoals gemodelleerd voor de huidige studie. De breukvlakken die deze horizon opbreken zijn ook weergegeven als breuklijnen.



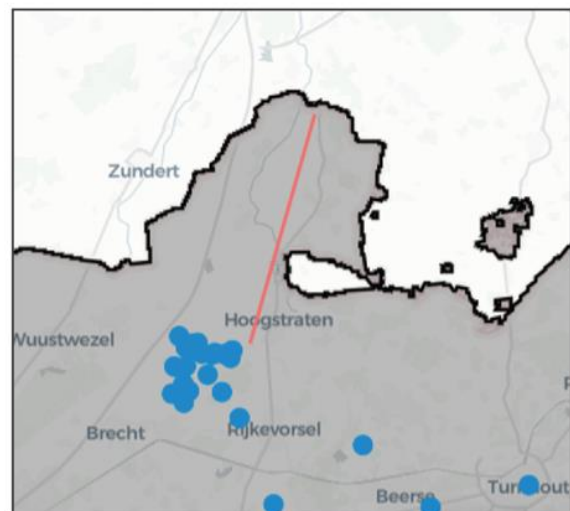
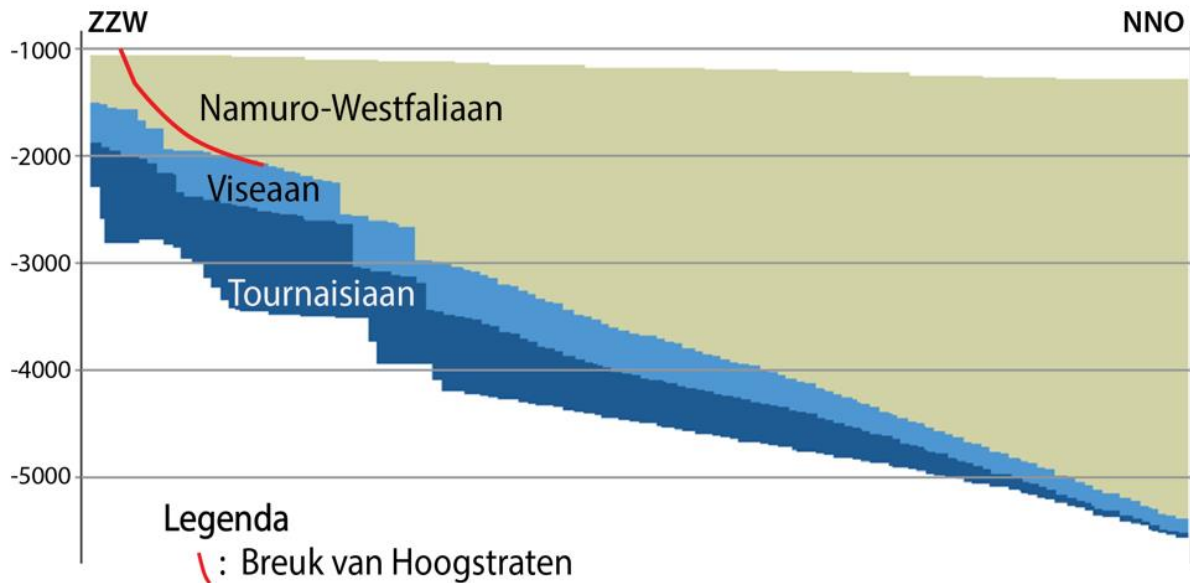
Figuur 57: Model van de dikte van het Tournaisiaan zoals gemodelleerd voor de huidige studie. De breuklijnen die deze eenheid opbreken zijn ook weergegeven. Let op de sterke dikteveranderingen in deze eenheid door breukwerking in het gehele Bekken van de Kempen.



Figuur 58: Doorsnede doorheen het model van de huidige studie over de Heibaart Structuur.



Figuur 59: Doorsnede doorheen het model van de huidige studie dat het Tournaisiaan depocenter of asymmetrische graben toont met diktesprongen aan breuken.



Figuur 60: Doorsnede doorheen het model van de huidige studie in het uiterste noorden van Vlaanderen waar het Dinantiaan vermoedelijk verdunt ten gevolge van sediment starvation. De Breuk van Hoogstraten is conceptueel aangegeven in de doorsnede.

→ Resultaten model Viseaan

De top van het Viseaan of Dinantiaan bereikt minimale dieptes van rond -30 mTAW in het uiterste zuidoosten van Vlaanderen en maximale van -5500 mTAW in het uiterste noorden en noordoosten van Vlaanderen (Figuur 62). Aan de zuidrand van het Bekken van de Kempen zit de top van het Viseaan rond -300 tot -600 mTAW diepte. Over de randbreuken van het Bekken van de Kempen zakt de top van het Viseaan al snel dieper dan -1000 mTAW (Figuur 63). Een verdere zakking tot meer dan -2000 mTAW vindt plaats in gebieden waar het Namuriaan verdikt en verdiept, namelijk in het uiterste noorden en noordoosten van Vlaanderen. Deze verdikking is in het oosten van boringen Poederlee en Turnhout duidelijk gebonden door een belangrijke NNO-ZZW georiënteerd breuksysteem. Dit breuksysteem is nieuw gemodelleerd voor dit model.

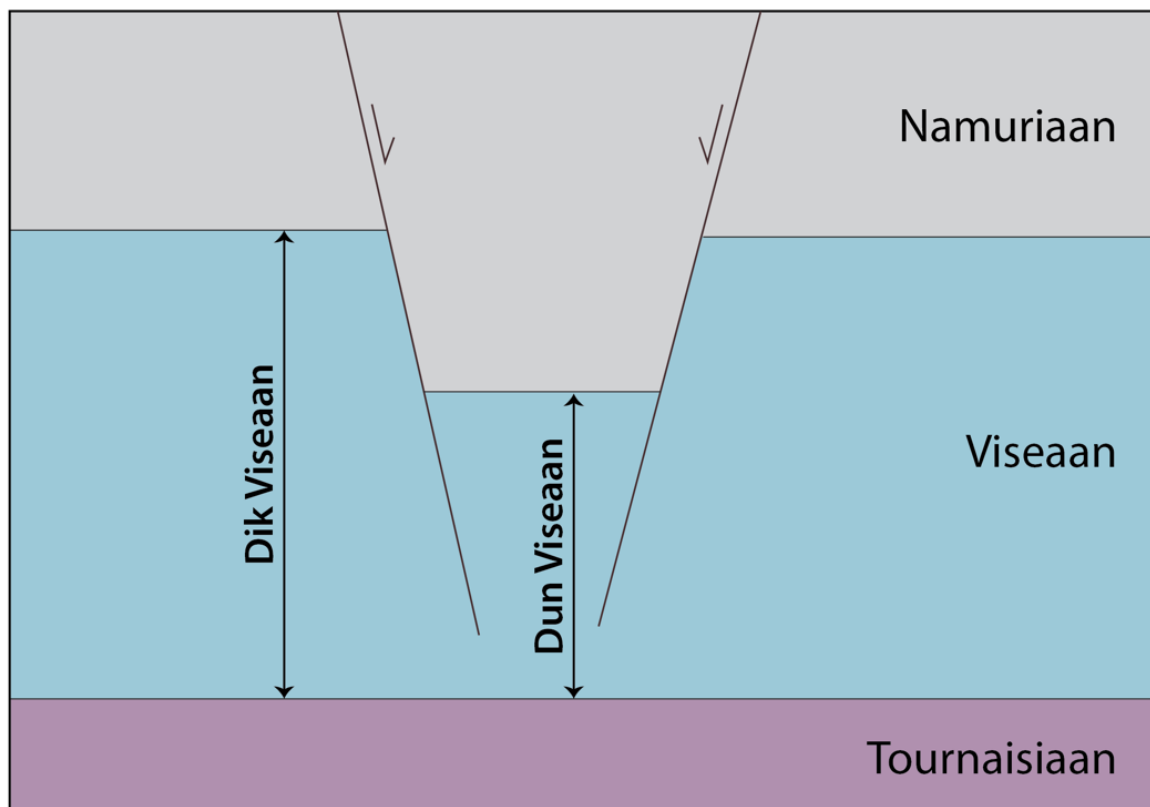
Behalve deze breuken en het gebied rond de Heibaart Structuur, zijn de meeste breuken in de top van het Viseaan gelijkaardig aan deze in het G3Dv3-model, en is het verloop van de diepte van deze top daarom ook behoorlijk gelijkaardig aan deze in het G3Dv3-model.

De basis van het Viseaan situeert zich tussen -100 mTAW in het uiterste zuidoosten van Vlaanderen en wat dieper dan -5000 mTAW in het uiterste noordoosten (Figuur 64). Aan de zuidrand van het Bekken van de Kempen zit deze rond -500 tot -1000 mTAW diepte. Over de randbreuken van het Bekken van de Kempen zakt die al snel naar dieper dan -1500 mTAW. Een verdere zakking tot meer dan -3000 mTAW vindt plaats op regio's waar het Namuriaan verdikt en verdiept, namelijk in het uiterste noorden en noordoosten van Vlaanderen.

In vergelijking met de dikte van het Tournaisiaan, is deze van het Viseaan veel uniformer, meestal tussen 300 en 600 m, en verlopen veranderingen erin meestal geleidelijker (Figuur 65). Dit komt omdat er geen belangrijke breukenactiviteit is vastgesteld in het Bekken van de Kempen tijdens het overgrote deel van het Viseaan. Breuken die actief waren tijdens het Tournaisiaan, sterven uit nabij de basis Viseaan. Op het einde van het Viseaan is er wel een belangrijke breukfase die doorloopt in het Namuriaan, maar de dikteveranderingen door deze fase zijn voor het Viseaan beperkt tot maximum enkele 100-en meters. Aan boring Halen zorgt dit voor een verdikking van het laatste Viseaan (MFZ15 in Hance, 2022), maar aangezien het vroegste Viseaan (MFZ9/10 in Hance, 2022) hier afwezig is, zorgt dit netto gezien niet voor een dikker Viseaan. In boring Beerse-GT-01a is het laatste Viseaan dan weer dun (geen Formatie van Goeree; Figuur 7), maar het vroegste Viseaan (MFZ9-11) vermoedelijk dik (Luc Hance, pers. comm.), mogelijks door opvulling van Tournaisiaan paleoreliëf, waardoor de Viseaan dikte netto gelijkaardig is aan boring Halen.

Naar de zuidrand van het Bekken van de Kempen wordt het Viseaan dunner omdat hier de top van het Viseaan wordt afgesneden onder de basis van de Krijtgroep (Figuur 70). Zo ontbreekt het Warnantiaan in boring Booischot en is de dikte van het Viseaan hierin minder dan 200 m. In boring Loksbergen ontbreekt het Viseaan dan weer (quasi) volledig en ligt de Krijtgroep op het Tournaisiaan.

Binnen heel wat langgerekte grabens die actief waren tijdens het Jura, is het Viseaan ook vaak dunner. De reden hiervoor is dat de breuken die de grabens begrenzen nog behoorlijke verzetten vertonen aan de top van het Viseaan, maar vaak uitsterven richting de onderkant van het Viseaan. Hierdoor is de dikte van het Viseaan in deze breukblokken door de post-depositionele vervorming beperkter. Deze situatie hebben we in Figuur 61 proberen schetsen.

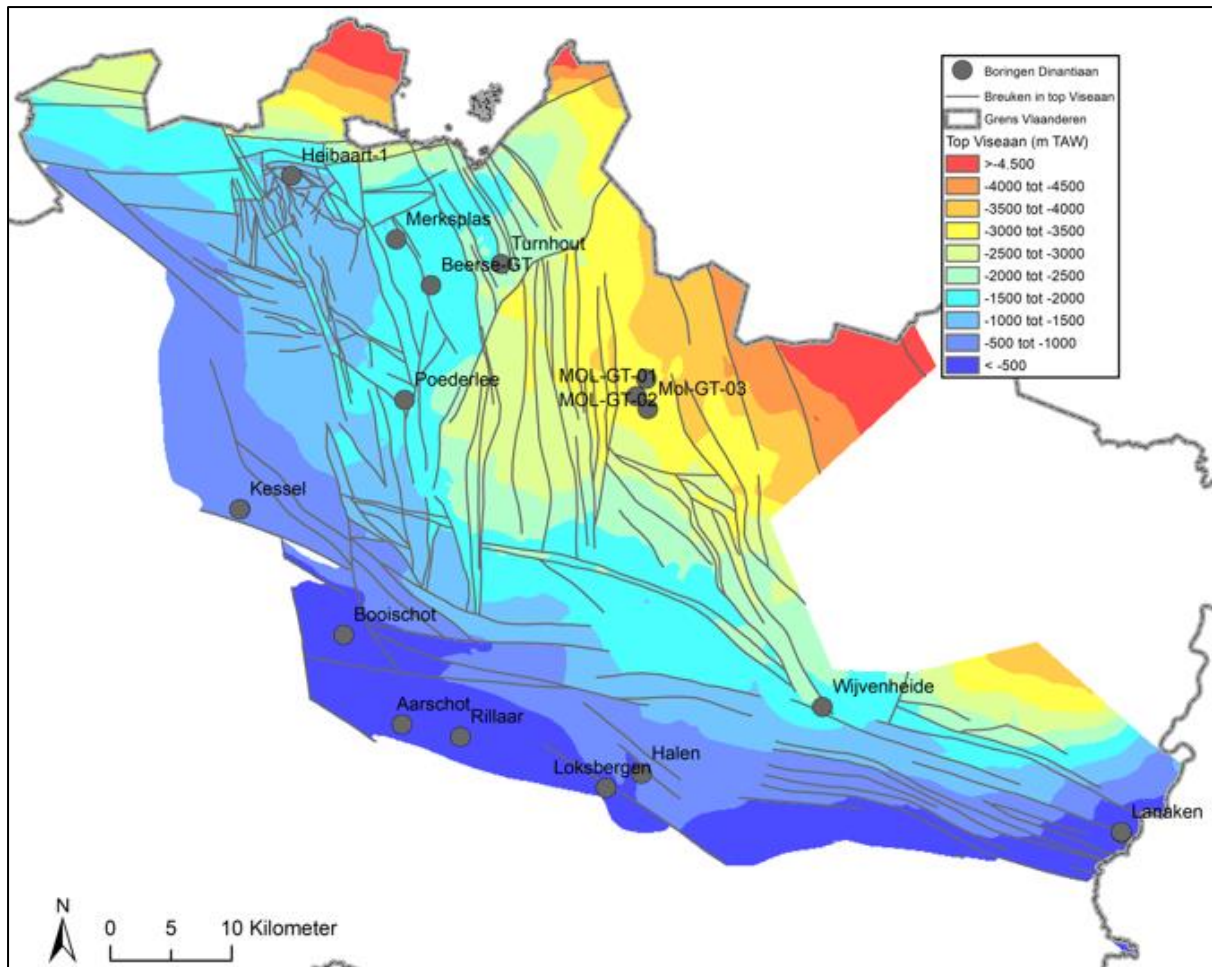


Figuur 61: Schets van verdunning van het Viséan in post-depositionele (Jura) grabenstructuren die uitsterven richting de basis van het Viséan.

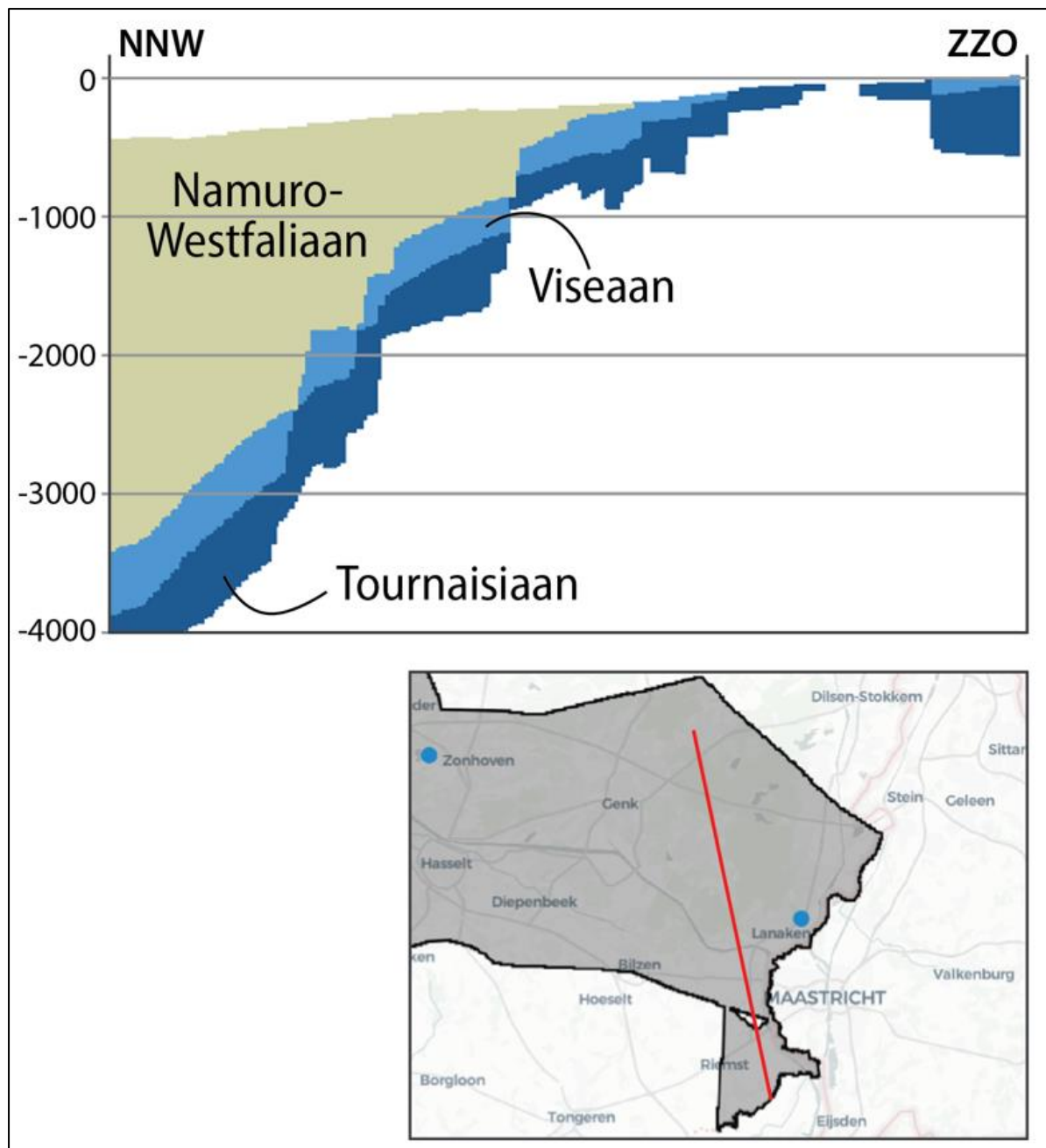
Een belangrijke kanttekening is dat de basis van het pakket nabij en vermoedelijk niet overal exact op de basis van het Viséan is gelegen, en de dikte dus lokaal een onderschatting, maar veelal een overschatting zal zijn. Dit is vermoedelijk het geval op de locatie van het Tournaisiaan subbekken aan Poederlee waar het Viséan model op zijn dikste is, maar waar de nabij basis van het Viséan mogelijks lokaal te diep geïnterpreteerd werd, in het late Ivoriaan (zie paragraaf 4.3). Indien de build-up complexen in pakket Di-3a namelijk nog laatste Ivoriaan Waulsortiaan mudmounds zouden voorstellen en geen Viséan zoals nu gemodelleerd, dan is het Viséan in deze regio in werkelijkheid minder dan de helft zo dik als het model nu weergeeft op plaatsen waar deze build-up complexen ontwikkeld zijn. Ertussenin klopt de gemodelleerde dikte van het Viséan vermoedelijk wel beter.

In de regio van Halen tot Oostmalle zijn er abrupte dikteveranderingen te zien binnen het Viséan die gerelateerd kunnen worden aan instortingsholtes door oplossing van Viséan kalksteen en eventueel evaporieten (zie paragraaf 6.3; Figuur 66). Dit zijn veelal cirkelvormige structuren, die in de graviteitskaart ook vast te stellen zijn. Ze lijken vooral voor te komen in de regio's waar het Dinantiaan dik ontwikkeld is en het Namuriaan dun is, of in het westen en zuidwesten van het Bekken van de Kempen.

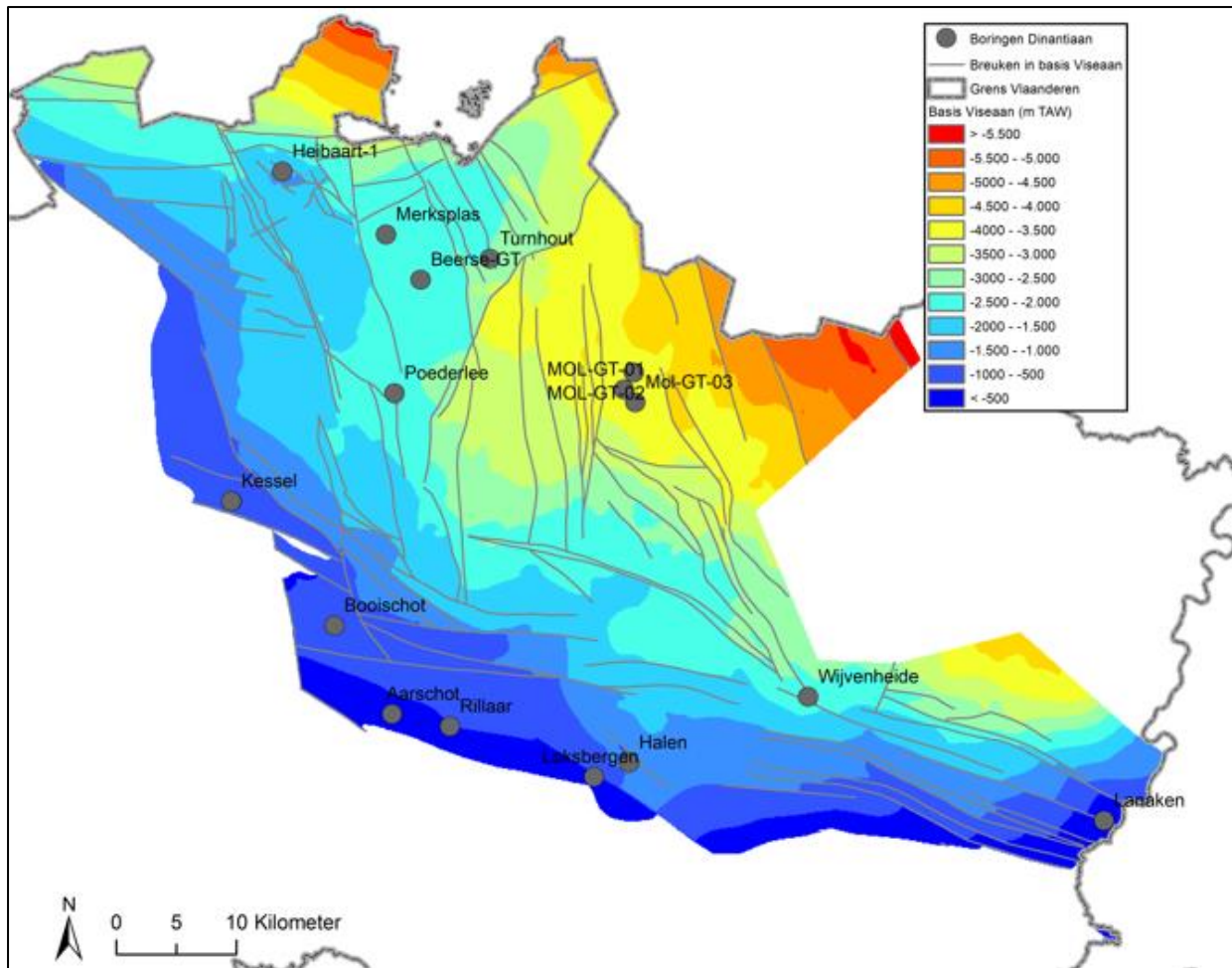
Naar het uiterste noorden van Vlaanderen toe, ten noorden van de jongere Breuk van Hoogstraten, verdunt het Viséan terug (Figuur 60). Deze verdunning is grotendeels gebaseerd op het concept dat er in dit uiterste noorden een subbekken is dat al sediment-starved was tijdens het Tournaisiaan. We vermoeden dat dit starvation proces zich doorzette tijdens het Viséan en dat dit subbekken pas tijdens het Namuriaan werd opgevuld, wat de anomale dikte van het Namuriaan in de Nederlandse boring Rijsbergen van deze regio zou verklaren (zie paragraaf 4.4.3).



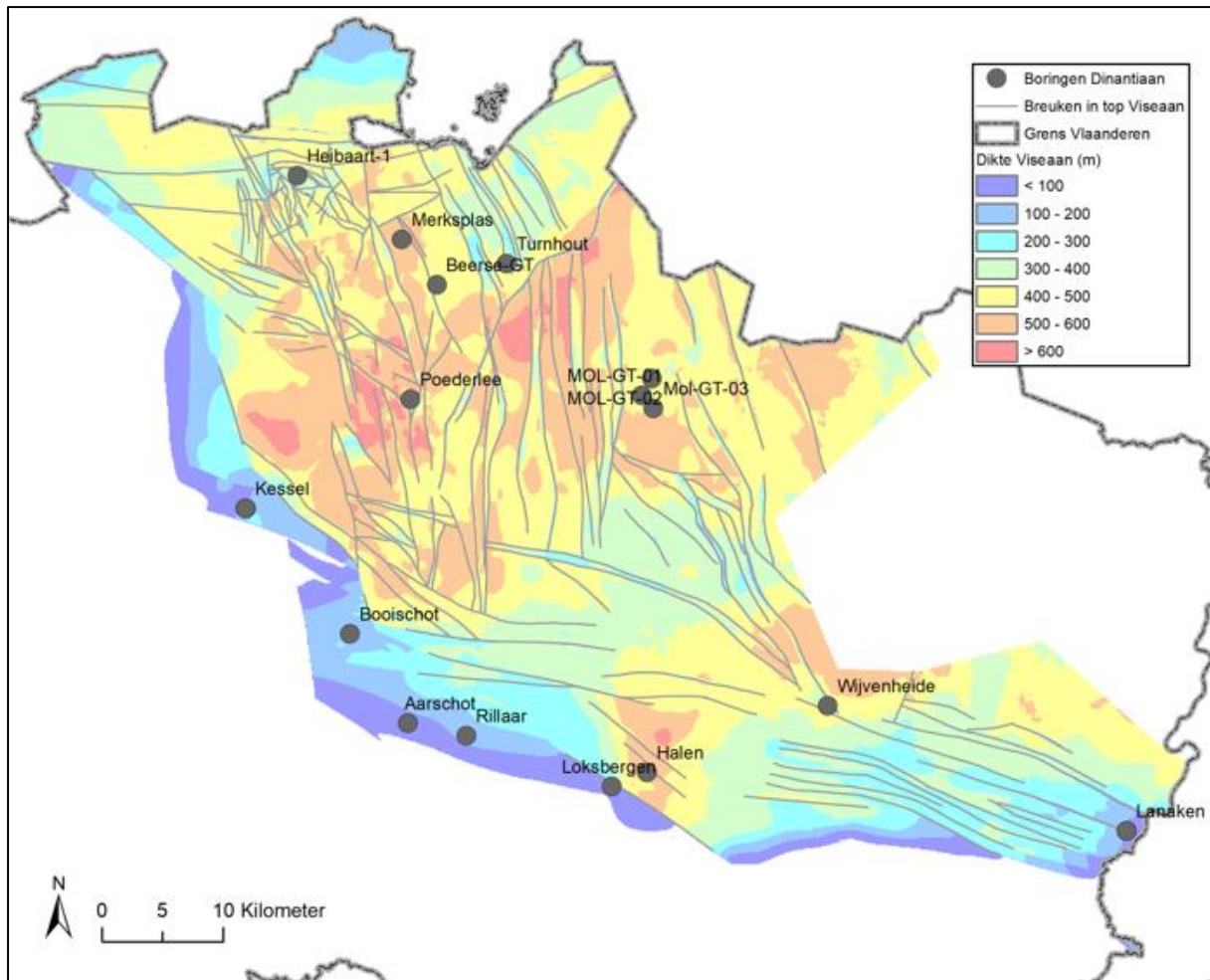
Figuur 62: Model van de diepte van de top van het Viseaan zoals opgemaakt voor de huidige studie. De breuklijnen die deze horizon opbreken zijn ook weergegeven. Naar het noorden van Heibaart en het oosten van Poederlee en Turnhout is er een belangrijke verdieping door een verdikking van het bovenliggende Namuriaan in diezelfde richting. Deze verdieping is in het oosten van Poederlee en Turnhout duidelijk gebonden door een belangrijke NNO-ZZW georiënteerd breuksysteem. Dit breuksysteem is nieuw gemodelleerd voor dit model. De meeste overige breuken zaten reeds in het G3Dv3-model van de top van het Dinantiaan verwerkt.



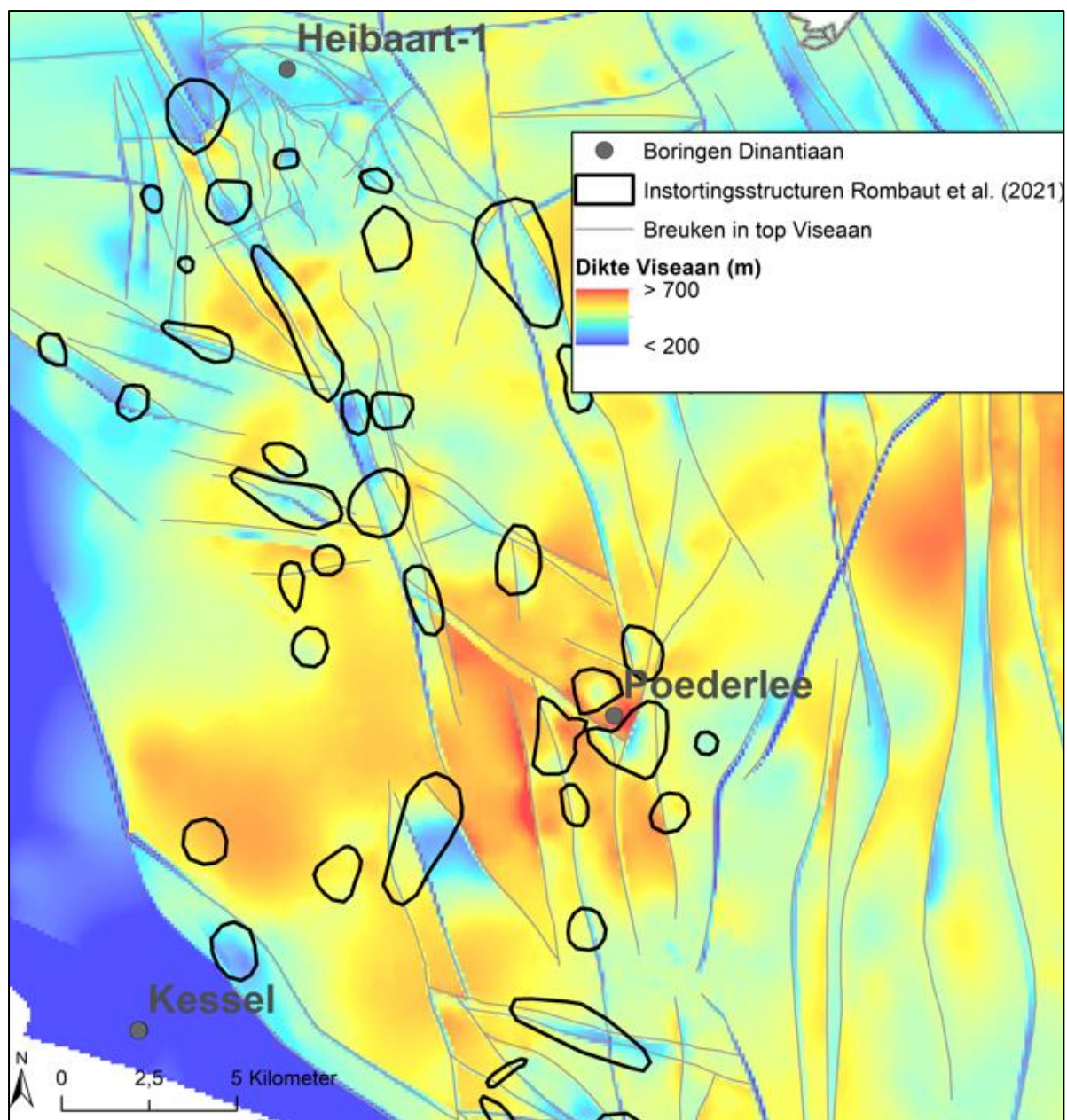
Figuur 63: Doorsnede doorheen het model van de huidige studie in het uiterste zuidoosten van Vlaanderen of waar het Viseaan het meest ondiep gelegen is.



Figuur 64: Model van de diepte van de basis van het Viseaan zoals gemodelleerd voor de huidige studie. De breuklijnen die deze horizon opbreken zijn ook weergegeven. Let op het relatieve beperkte aantal breuken dat doorheen deze eenheid gaat in vergelijking met de modellen van de basis van het Tournaisiaan of top van het Viseaan. Heel wat oudere en jongere breuken sterven namelijk uit nabij deze basis van het Viseaan.



Figuur 65: Model van de dikte van het Viséan zoals gemodelleerd voor de huidige studie. De breuklijnen die de top van deze eenheid opbreken zijn ook weergegeven. In vergelijking met de diktekaart van het Tournaisiaan zijn er heel wat minder breukgerelateerde diktesprongen. Wel zorgen instortingsstructuren/grabens voor lokale dikteveranderingen. De maximale dikte situeert zich op de plaatsen waar ook het Tournaisiaan maximale diktes bereikte (vergelijk met Figuur 57). Naar het uiterste noorden van Vlaanderen is er terug verdunning omwille van sediment starvation tijdens het Viséan, dewelke een continuatie is van dit in het Tournaisiaan gestarte proces vanwege snelle subsidentie.



Figuur 66: Model van de dikte van het Viséaan zoals gemodelleerd voor de huidige studie in de regio van Oostmalle met daarop de voorkomens van instortingsstructuren uit Rombaut et al. (2021). Ten gevolge van oplossing van Viséaan carbonaten en/of evaporieten vormen de instortingsstructuren zones met dunner Viséaan.

5.2 Breukenmodellering

5.2.1 Breukenmodellering in tijd

Op basis van de geïnterpreteerde breuklijnen op seismiek, wordt er een breukenmodel opgebouwd voor het Dinantiaan. We kunnen daarbij in tijd onderscheid maken tussen drie belangrijke breukfases die het Dinantiaan beïnvloeden: Tournaisiaan, laatste Viseaan tot Namuriaan, en Jura. Een recentere Cenozoïsche fase was hoofdzakelijk belangrijk rondom de Roerdalslenk wat het huidige model niet omvat.

Breuken die tijdens het Tournaisiaan hebben gewerkt, breken de basis van het Dinantiaan, maar (meestal) niet de top ervan op. Deze breuken zijn daarom niet eerder voor het G3Dv3-model gemodelleerd. De Jura breuken die de top van het Dinantiaan opbreken, werden wel reeds voor het G3Dv3-model gemodelleerd. Breuken die in het laatste Viseaan en Namuriaan hebben gewerkt, hierna voor de eenvoud genaamd syn-Namuriaan breuken, zijn slechts in beperkte gevallen reeds voor het G3Dv3-model gemodelleerd, maar veelal nieuw.

Hieronder wordt de methodiek van modellering van breuken opgesplitst in de reeds eerder gemodelleerde Jura breuken enerzijds en de nieuwe syn-Tournaisiaan en -Namuriaan breuken anderzijds.

→ **Methodiek modellering Jura breuken in tijd**

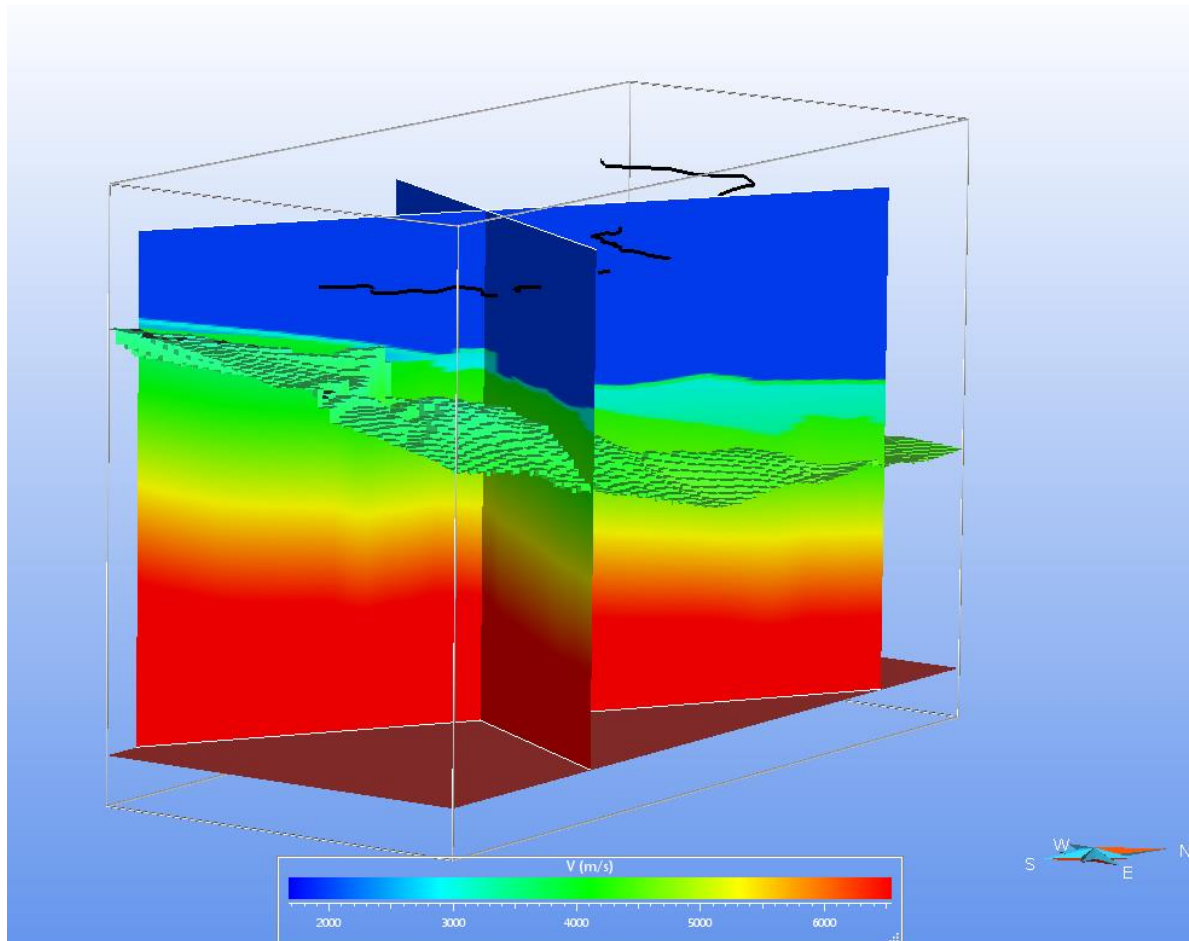
Voor het breukenmodel van de Jura breuken in tijd is gestart van het reeds bestaande breukenmodel uit het G3Dv3-model. Dit breukenmodel ging tot onder de top van het Dinantiaan. Aangezien er veel Jura breuken eindigen onder de top van het Dinantiaan, maar boven de basis van het Dinantiaan, is het G3Dv3-breukenmodel goed bruikbaar voor een groot aantal van deze breuken. In het gehele Bekken van de Kempen is er extra seismiek en/of nieuw gereproceste seismische data gebruikt ten opzichte van het G3Dv3-model. Hierdoor zijn er nieuwe breuken gemodelleerd, of bestaande breuken uit het G3Dv3-model aangepast. De aanpassingen zijn het grootst in de regio's van de recente Olen-Herentals 3D campagne en gereproceste 2D campagnes van Mol-Herentals en DGE-Rollout (Noordwest Limburg) enerzijds en (door de extra geïnventariseerde lijnen) rond de Heibaart Structuur anderzijds. Voor de algemene methodiek van breukenmodellering in tijd verwijzen we naar deze van het G3Dv3-model (Deckers et al., 2019).

→ **Methodiek modellering syn-Tournaisiaan en syn-Namuriaan breuken in tijd**

Het breukenmodel voor de syn-Tournaisiaan en -Namuriaan breuken in tijd was nog niet eerder opgebouwd. Deze breuken zijn dus volledig nieuw geïnterpreteerd en gemodelleerd. Voor de algemene methodiek van breukenmodellering in tijd verwijzen we naar deze van het G3Dv3-model (Deckers et al., 2019). De syn-Namuriaan breuken zitten geconcentreerd aan de flanken van de Heibaart Structuur en langsheen de lijn van Olen-Poederlee-Turnhout. De syn-Tournaisiaan breuken zijn veel meer verspreid over het Bekken van de Kempen. Echter, hun interpretatie hangt veel meer af van de kwaliteit van het seismische beeld ten opzichte van de syn-Namuriaan en post-Namuriaan breuken. Aangezien deze kwaliteit beperkt is in het oostelijke deel van het Bekken van de Kempen, konden hier minder syn-Tournaisiaan breuken geïnterpreteerd worden. Hun oriëntatie is hierdoor ook veel onzekerder.

5.2.2 Tijd-diepteconversie van breuken

Voor het omzetten van de breukvlakken van tijd naar diepte is de snelheidsvoxet gebruikt die in functie van het G3Dv3-model ontwikkeld is (Deckers et al., 2019). Deze snelheidsvoxet is een kubus bestaande uit voxels die ingevuld zijn met snelheidswaarden (Figuur 67). Voor elke voxel is de instantane snelheid afgeleid op basis van het voor de lagenmodellering gebruikte V0-k snelheidsmodel (zie hierboven). Op basis van deze instantane snelheden kan voor elke voxel ook de gemiddelde snelheid bepaald worden, dewelke nodig is om de breukvlakken van tijd te kunnen converteren naar diepte.



Figuur 67: VOXET met instantane snelheden begrensd door de verschillende eenheden waarvoor V0-kaarten en k-waardes zijn bepaald (uit Deckers et al., 2019). De uitgelichte laag stelt de basis van het Westfaliaan van het G3Dv3-model voor. De zwarte lijn bovenin stelt de landsgrens voor.

5.2.3 Resultaten breukenmodellering in diepte

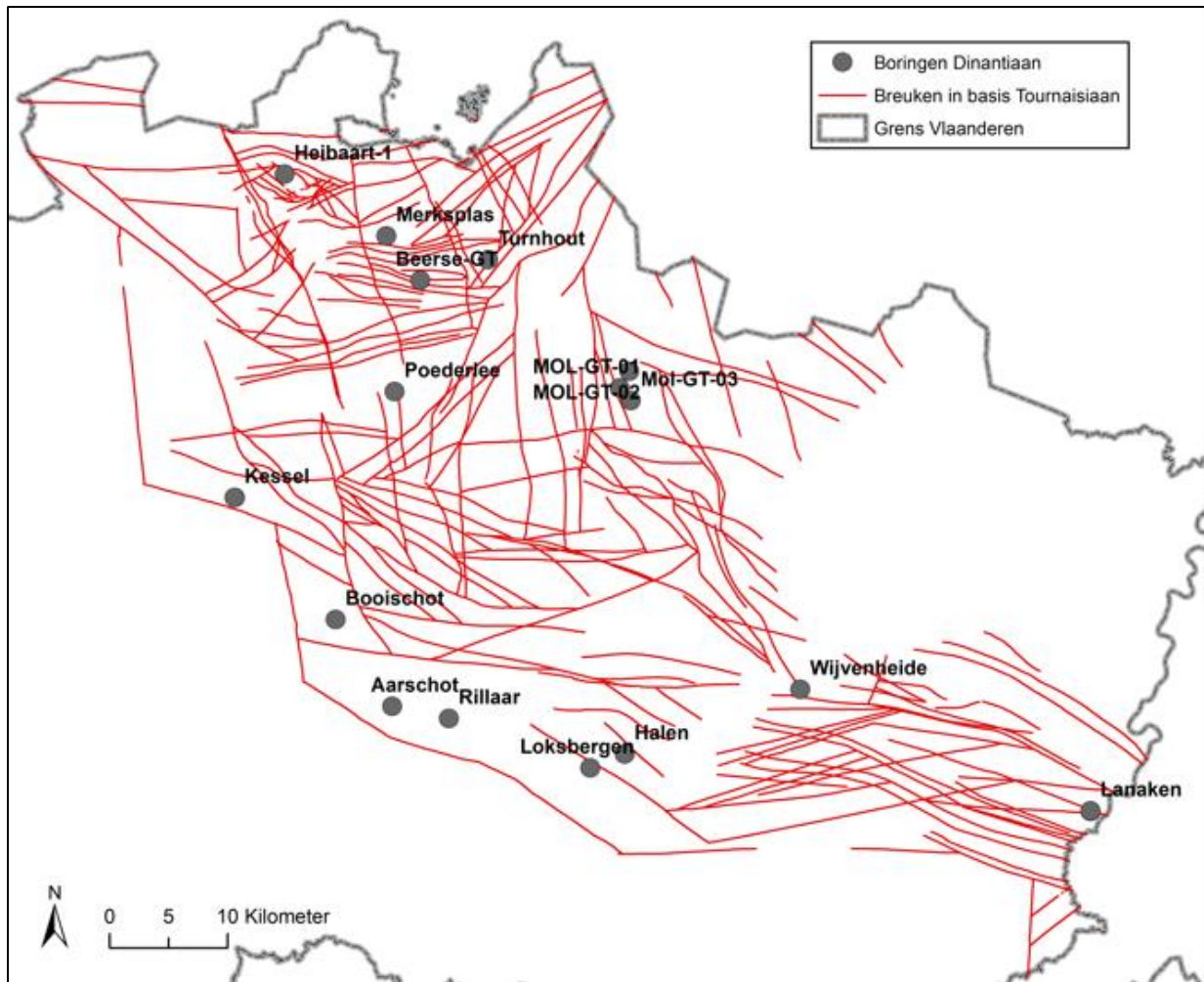
Voor de opmaak van breukvlakken zijn geïnterpreteerde breuklijnen met elkaar verbonden. Deze connecties evenals het begrenzen in lengte van individuele breuksegmenten zijn onzeker bij een beperkte dekking met 2D seismiek. Daarom werd gekozen om gelijkaardige breuken die in elkaars verlengde liggen en volgens de algemene strekking, samen te modelleren. Hierdoor worden breukvlakken met lengtes van soms meer dan 10 km voor het huidige model bekomen. Deze lange breukvlakken in het huidige model stellen in werkelijkheid waarschijnlijk eerder breukzones voor die bestaan uit meerdere, kleinere breukvlakken. De breukzones kunnen ook breuksegmenten omvatten met een strekking die afwijkt van deze van de breukzone. Dit zijn typisch (gebroken) step-overs die grotere breuksegmenten van dezelfde breukzone verbinden.

De breuken die gemodelleerd zijn in het Dinantiaan zijn allemaal normale breuken en vertonen een sterke helling. Door de snijding van breukvlakken met laagvlakken bekomt men een duidelijk beeld van de breuken die deze laagvlakken opbreken in kaartbeeld. De breuklijnen die de verschillende laagvlakken opbreken, worden getoond bij de bespreking van de resultaten van de lagenmodellen in diepte, zie paragraaf 5.1.3. Voor de Tournaisiaanbreuken zien we daarbij een duidelijk andere trend dan voor de syn-Namuriaan en Jura breuken.

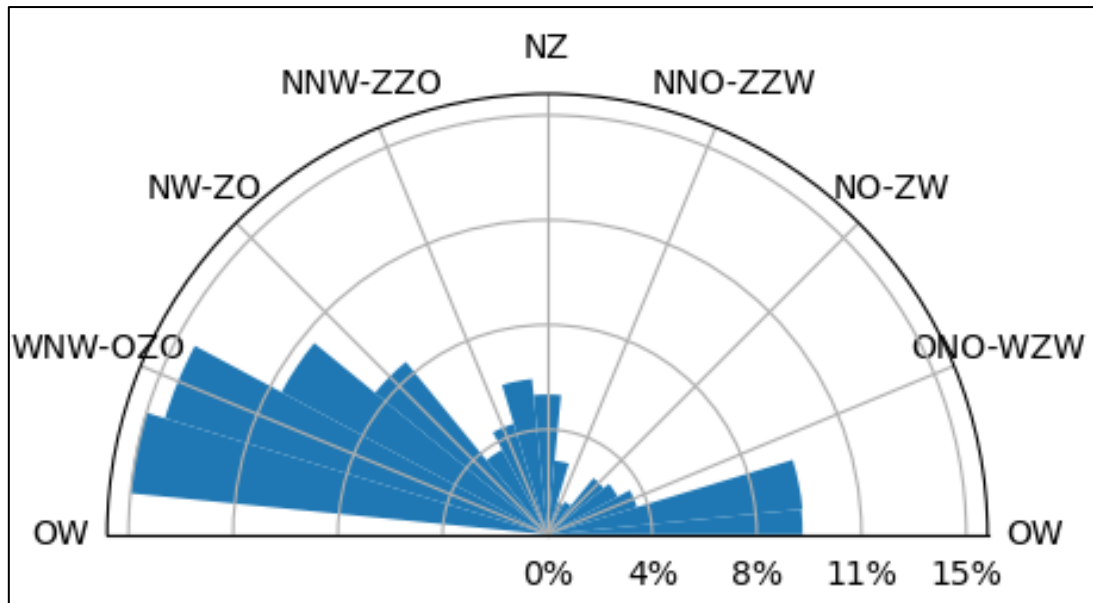
→ **Tournaisiaanbreuken**

Breuken die het Tournaisiaan opbreken, hebben sterk variërende richtingen (Figuur 68). Er zijn diegene die een NW-ZO tot N-Z oriëntatie hebben, en diegene die meer O-W tot ZW-NO oriëntatie hebben (Figuur 69). Breuken met een NW-ZO tot N-Z oriëntatie zijn veelal post-depositionele breuken, die actief waren tijdens het Namuriaan of Jura. Veel van deze jongere breuken sterven uit boven het Tournaisiaan, maar de grootste van deze breuken hebben dus nog een verzet op het niveau van de basis van het Tournaisiaan. De meer O-W tot ZW-NO georiënteerde breuken zijn breuken die wel actief waren tijdens het Tournaisiaan, maar uitstierven tegen het einde van het Tournaisiaan (Figuur 69). Breuken met een strekking tussen de bovenvermelde, namelijk O-W tot NW-ZO, zijn zowel actief tijdens het Tournaisiaan als Jura.

De oriëntatie van individuele Tournaisiaanbreuken is vaak onzeker, aangezien we breuklijnen tussen 2D seismische lijnen hiervoor moeten connecteren tot een 3D vlak. In gebieden met een dense bedekking door seismische lijnen met goede kwaliteit vermindert deze onzekerheid. Dit is in het bijzonder het geval voor de Oostmalle seismische campagne, waar de ZW-NO, WZW-ONO en WNW-OZO breukstrekkings het beste in beeld worden gebracht. In de gebieden in het centrum en zuidoosten van het Bekken van de Kempen zijn de breukrichtingen meer conceptueel gebaseerd op de inzichten vanuit de Oostmalle seismische campagne. Langs de zuidelijke rand van het Bekken van de Kempen worden de breukrichtingen sterk gestuurd door de gravimetrische kaart. Hier zien we namelijk sterke veranderingen in de Bouguer Anomalie kaart die op de beschikbare seismische lijnen overeenstemmen met grote breuken (Figuur 71). We vermoeden daarom dat sterke contrasten in Bouguer anomalieën samenvallen met de grote breuksystemen die het Tournaisiaانبekken in het zuiden afbakenen. De oriëntatie van deze systemen is O-W tot WNW-OZO en dus ook volgens de verwachtingen op basis van de vastgestelde breukoriëntaties aan de Oostmalle seismische campagne. Vanwege Jura reactivatie, hebben de Tournaisiaanbreuken langs de zuidrand van het Bekken van de Kempen enorm grote verticale sprongen tot zelfs meer dan 1 km (Figuur 70). In het Tournaisiaانبekken of -rift zelf is de sprong langsheen breuken meestal kleiner dan 300 m.

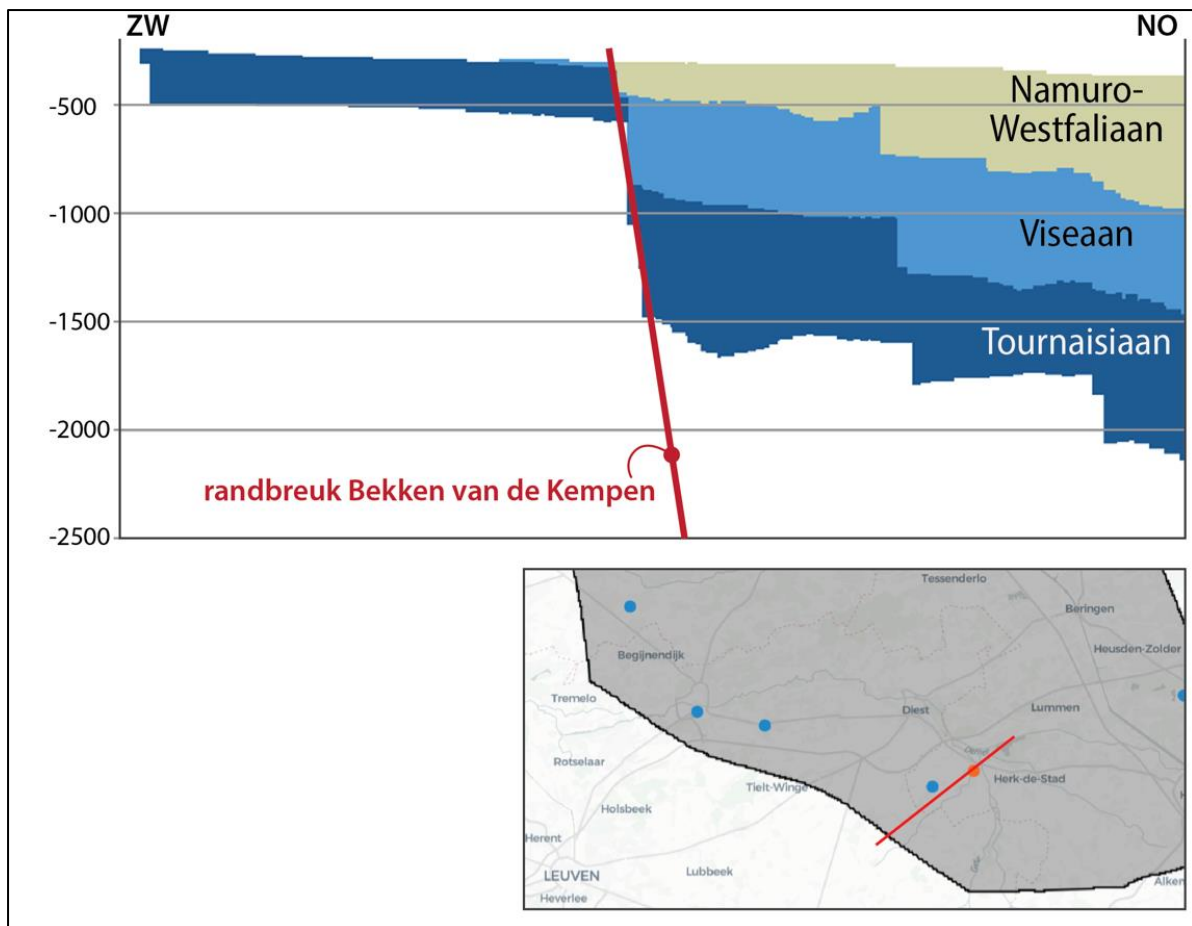


Figuur 68: Breuklijnen in de basis van het Tournaisiaan zoals gemodelleerd voor de huidige studie. De NNW-ZZO breuken hierin zijn post-depositioneel (Jura), terwijl de ZW-NO, O-W tot WNW-OZO breukrichtingen syn-depositioneel (Tournaisiaan) zijn.



Figuur 69: Roosdiagram met oriëntaties van segmenten (per 1000 m) van alle gemodelleerde breuken die de basis van het Tournaisiaan snijden. De x-as geeft het percentage breuksegmenten met een bepaalde oriëntatie weer. De oriëntaties zijn weergegeven in groepen per 11.25°. Hierbij zien we breuken met een NW-ZO en NNW-ZZO oriëntatie die actief waren tijdens het Jura (post-depositionele breuken), breuken met een O-W tot OZO-WNW oriëntatie die actief waren tijdens het Tournaisiaan (syn-depositionele breuken) en breuken met een WNW-OZO oriëntatie die actief waren tijdens beide fases.

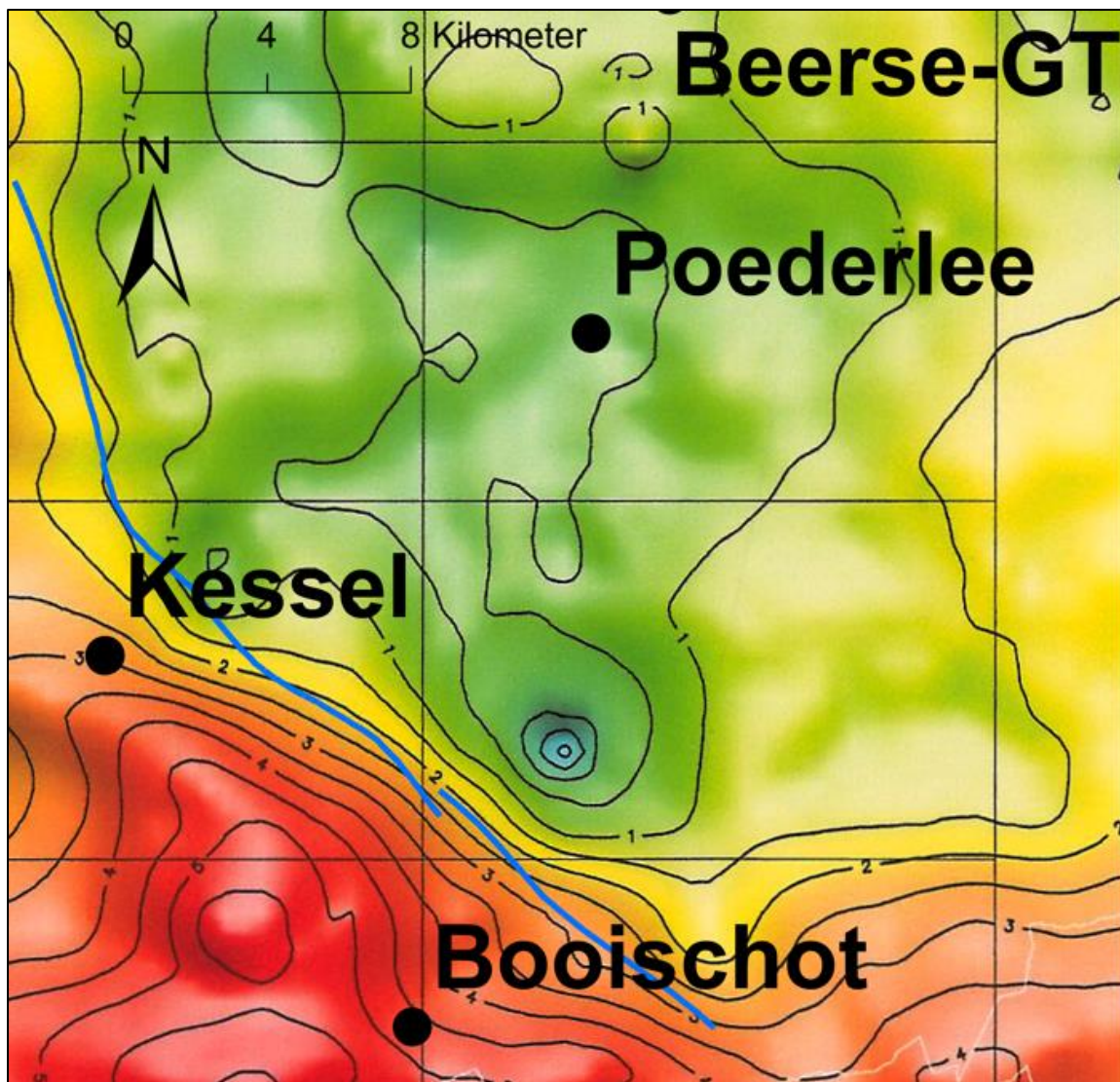
De dichte spatiëring van seismische lijnen in de Oostmalle campagne toont aan dat de Tournaisiaanbreuken sterk gesegmenteerd zijn. Dit is vermoedelijk een gevolg van de (gedeeltelijke) reactivatie van eerder bestaande breukrichtingen, wat ook noodzakelijk is om de variatie in breukrichtingen tussen ZW-NO en WNW-OZO te verklaren (voor meer discussie hierover, zie paragraaf 6.2.1). In het huidige regionaal model kan het detail van segmentatie niet aangebracht worden, en worden ze als één breukvlak gemodelleerd. De gemodelleerde breukvlakken moeten daarom niet beschouwd worden als individuele breuken, maar eerder als breuksystemen die bestaan uit meerdere individuele breukvlakken.



Figuur 70: Doorsnede doorheen het model van de huidige studie in het zuiden van het Bekken van de Kempen met daarop een grote randbreuk die zowel tijdens het Tournaisiaan als Jura actief was. Deze tweefasige activiteit resulteerde in een totale verticale sprong van bijna 1000 m voor de basis van het Tournaisiaan.

De Heibaart Structuur, die tijdens het Tournaisiaan een breukgebonden hoog vormde, wordt in het zuidwesten en noordoosten door de WNW-OZO breuken begrensd, en in het noordwesten en zuidoosten door WZW-ONO georiënteerde breuken, zodat een soort van ruitvormige horst is gevormd (zie structuur rond Heibaart boring op Figuur 68).

Vanwege de vaak gebrekkige seismische bedekking is de relatie tussen breuken van verschillende ouderdommen en richtingen vaak moeilijk te achterhalen. Zo ook voor de relatie tussen de breuken die actief waren enerzijds het Tournaisiaan en anderzijds het Jura. Hierdoor snijden de gemodelleerde Tournaisiaan en Jura breuken elkaar vaak als rechte lijnen, zoals bijvoorbeeld het gebied onder boring Wijvenheide (zie Figuur 56) waar bijzonder weinig seismische bedekking is. Dergelijke breukenrelatie is niet realistisch, aangezien het veel waarschijnlijker is dat de Jura breuken in hun verloop beïnvloed worden door onderliggende Tournaisiaan breuken. Echter, door gebrek aan voldoende data, werd dit als zodanig in het model gelaten.



Figuur 71: De gravimetrische kaart van het zuidelijke deel van het Bekken van de Kempen en Massief van Brabant aan de boringen van Booischot, Kessel en Poederlee. De rode en groen/blauwe kleuren zijn respectievelijk positieve en negatieve Bouguer anomalieën. De blauwe lijn die ten noorden van Booischot en Kessel loopt, stelt een gemodelleerde randbreuk van het Tournaisiaan voor die tijdens het Jura gereactiveerd werd. Zoals te verwachten valt, loopt deze breuklijn sub-parallel met de lijnen van gelijke gravimetrie. De breuk accommodeert namelijk Devoon- en Carboongesteenten in de hangingwall (noorden) die een lagere dichtheid hebben dan de Siluurgesteenten die domineren in de footwall (zuiden).

→ **Syn-Namuriaanbreuken, zie Figuur 72**

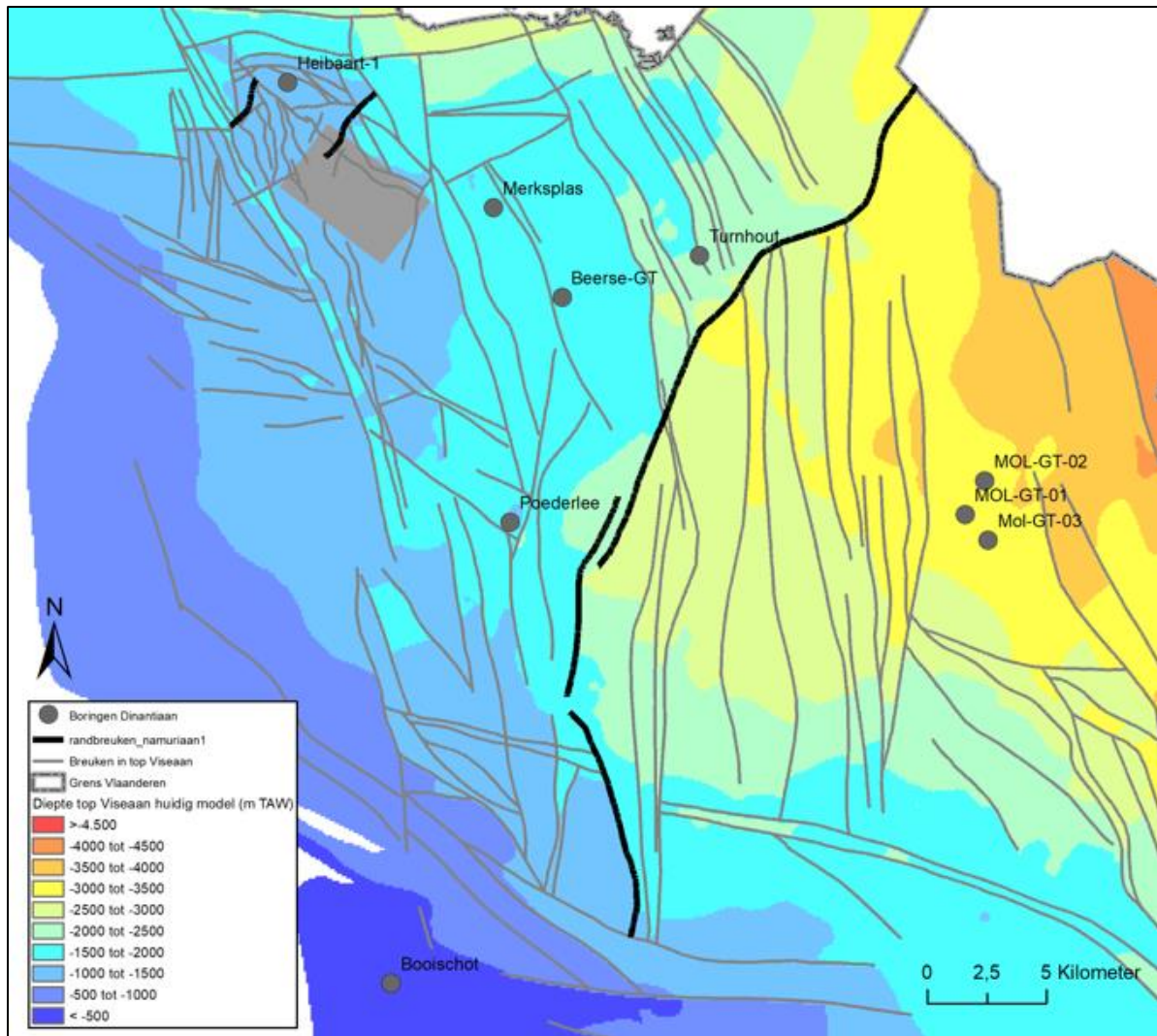
Het aantal louter syn-Namuriaanbreuken in het model is beperkt tot de regio van Heibaart en de lijn Olen-Poederlee-Turnhout. Hier zijn namelijk heel duidelijk Namuriaanverdikkingen over breuken waar te nemen. Op andere plaatsen kunnen ook syn-Namuriaanbreuken actief zijn geweest, maar met een te klein verzet om te modelleren of ze werden gereactiveerd tijdens het Jura en daarom niet duidelijk te relateren aan het Namuriaan (deze breuken worden hieronder bij het Jura besproken).

De oriëntatie van de syn-Namuriaanbreuken is NNW-ZZO, N-Z tot NNO-ZZW, of quasi loodrecht op de dominante breukrichtingen van het Tournaisiaan. Deze richtingen zijn met behoorlijke zekerheid vast te stellen in de 3D seismische campagnes van Rijkvorschel en Olen-Herentals (Figuur 32 en Figuur 45). Deze richtingen zijn ook anders dan deze van de Jura breuken (die vooral WNW-OZO tot NNW-ZZO zijn), waardoor de syn-Namuriaanbreuken niet (allemaal) als normale breuken gereactiveerd zijn tijdens het Jura. In vergelijking met de Tournaisiaanbreuken is het verticale verzet op de syn-Namuriaanbreuken beperkter, veelal minder dan 100 m (Figuur 45), met uitzondering van de breuk op de Mol-Herentals campagne die een anomaal hoog verzet van 500 m vertoont (Figuur 42).

De concentratie van breukenverzet en verdikking van het Namuriaan langs de lijn van Olen-Poederlee-Turnhout toont dat dit een belangrijke randzone van het Namuriaan subbekken vormde (zie ook paragraaf 4.4.4; Figuur 72). Binnen de westelijke regio met beperktere Namuriaan subsidentie vormde de Heibaart Structuur een horst structuur met nog beperktere Namuriaan bedekking tot gevolg.

→ **Jura breuken, zie Figuur 72**

Uit het G3Dv3-model bleek dat de breuken van Jura ouderdom dominant een WNW-OZO tot NNW-ZZO strekking hebben. Door het gebruik van nieuwe of verbeterde data voor de huidige studie, is de strekking van enkele van de Jura breuken aangepast, hoofdzakelijk in de regio rond de Structuur van Heibaart. Echter, de herinterpretatie toont nog steeds de dominantie van bovenvermelde richtingen. In het zuiden van het Bekken van de Kempen overheersen de WNW-OZO tot O-W richtingen. Door de huidige studie weten we dat deze breuken ook reeds actief waren in het Tournaisiaan en dus gereactiveerd zijn tijdens het Jura. Verder noordelijk overheersen de N-Z tot NNW-ZZO richtingen veelal (Figuur 72), die vermoedelijk nieuw tijdens het Jura gevormd werden, alsook mogelijk deels gereactiveerde Namuriaanbreuken voorstellen.



Figuur 72: Model uit de huidige studie van de diepte van de top van het Viseaan met breuken die deze opbreken voor het westelijke deel van het Bekken. In zwarte dikke lijnen zijn enkele van de Namuriaan breuksystemen weergegeven met het grootste verzet. De Namuriaan breuksystemen van Olen naar Poederlee en Turnhout vormen de westgrens van een Namuriaan depocenter en diegene in het westen de randbreuken van de horststructuur van Heibaart. De overige breuken waren (ook) tijdens het Jura actief met dominant NNW-ZZO en N-Z richtingen voor deze regio. Voor het volledige model van top van het Viseaan, zie Figuur 62.

6 NIEUWE INZICHTEN

6.1 Devoon

6.1.1 Algemene opbouw

Voor de huidige studie is er vanwege gebrek aan voldoende data, geen nieuw model voor het Devoon opgemaakt. Echter, is er wel grondig gekeken naar het Devoon, en op basis van seismische data nieuwe kennis hiervan opgebouwd. Deze kennis komt hoofdzakelijk voort uit de betrachting om top en basis van het Devoon op seismiek te interpreteren. De top van het Devoon vormde tevens de basis van het Dinantiaan in bijna heel het studiegebied, en de basis van het Devoon valt veelal samen met een hoekdiscordantie die het Devoon scheidt van de onder Paleozoïsche gesteenten die deel uitmaken van het vervormde Massief van Brabant. In boringen in het Bekken van de Kempen zijn de aangeboorde onder Paleozoïsche gesteenten steeds van Siluur ouderdom. Wanneer de hoekdiscordantie geobserveerd wordt, is de interpretatie van basis Devoon redelijk betrouwbaar, maar anders niet. Helaas was op slechts een beperkt aantal seismische lijnen deze hoekdiscordantie met voldoende betrouwbaarheid waar te nemen. Dit waren - zonder uitzondering - de gereproceste seismische lijnen van de jaren 1970 tot 1991 en de recente lijnen van de Mol-Herentals en DGE-rollout. Op sommige van deze lijnen valt een driedeling te observeren, met een matig tot sterk reflectief pakket onderin (De-1), zwak reflectief centraal (De-2) en matig tot sterk reflectief bovenin (De-3). In boring Booischot stelt het matig tot sterk reflectieve pakket onderin (De-1) de conglomeraten van Givetiaan ouderdom voor. Ook op andere plaatsen in het Bekken van de Kempen, zoals ten noordwesten van de Heibaart Structuur (Figuur 37; Figuur 38), valt het facies van De-1 aan de basis van het Devoon te observeren, met een dikte tot meer dan 100 ms TWT. Of dit ook conglomeraten voorstellen is onzeker. Vanwege het zwak reflectieve facies valt weinig over De-2 te schrijven. De-3 vormt de overgang van het Devoon naar het Dinantiaan, en vertoont soms laterale faciesveranderingen (Figuur 19).

Op de lijnen waarop de basis Devoon betrouwbaar geïnterpreteerd kon worden, is de tijddikte steeds meer dan de helft van deze van het Dinantiaan. Dit wijst erop dat de grote dikte van het Devoon in boring Booischot (588 m) - ten opzichte van boring Heibaart (167 m) - geen anomalie hoeft te zijn, maar dat deze eerder de standaard is in het Bekken van de Kempen. Inderdaad, langsheen lijn Rijkvorsel 9112 heeft het Devoon een tijdsdikte van 260 ms TWT (Figuur 16), wat quasi hetzelfde is als in boring Booischot. Zo is het dunne Devoon net als het dunne Dinantiaan in boring Heibaart-1 eerder de anomalie. Op seismische lijnen wordt de dikte gemeten in ms TWT. De akoestische intervalsnelheid van de afwisseling van zandstenen, kalkstenen, schalies en conglomeraten van het Devoon is typisch lager dan deze van de kalkstenen en dolomieten van het Dinantiaan, dus dit maakt dat de werkelijke dikte van het Devoon nog wat lager is dan deze van het Dinantiaan.

6.1.2 Structurele inzichten Devoon

Door de onzekerheid van interpretatie van de basis, is het moeilijk om inzicht te krijgen in de tektoniek tijdens het Devoon. Aan boring Booischot lijkt er alleszins breukwerking te zijn geweest ten tijde van afzetting van de onderkant van de Formatie van Booischot, of grofweg het Givetiaan (Figuur 17). Latere tektoniek is hier moeilijk uit af te leiden. Op lijn 9106 van de Rijkvorsel campagne lijkt er een trapsgewijze verdikking te zitten op het Devoon richting het oosten via breuken. Dezelfde breuk lijkt gereactiveerd te zijn geweest in het vroege Dinantiaan (Figuur 31). Het Devoon verzet lijkt ongeveer 70 ms TWT of een 140 m te zijn geweest langs deze breuk op lijn 9106, wat gelijkaardig is aan de ingeschatte breuksprong op de lijn 8904 van de Limestone Subcrop campagne nabij boring Booischot.

De afwezigheid van de Formatie van Booischot of equivalenten aan boring Heibaart benodigd ook tektoniek om de Heibaart Structuur tijdens deze periode van afzetting (Givetiaan en Frasniaan) tot een hoog te vormen. Dus in het uiterste oosten van lijn 9106 moet er terug een verdunning plaatsvinden van het Devoon, wat ook geobserveerd wordt (Figuur 31).

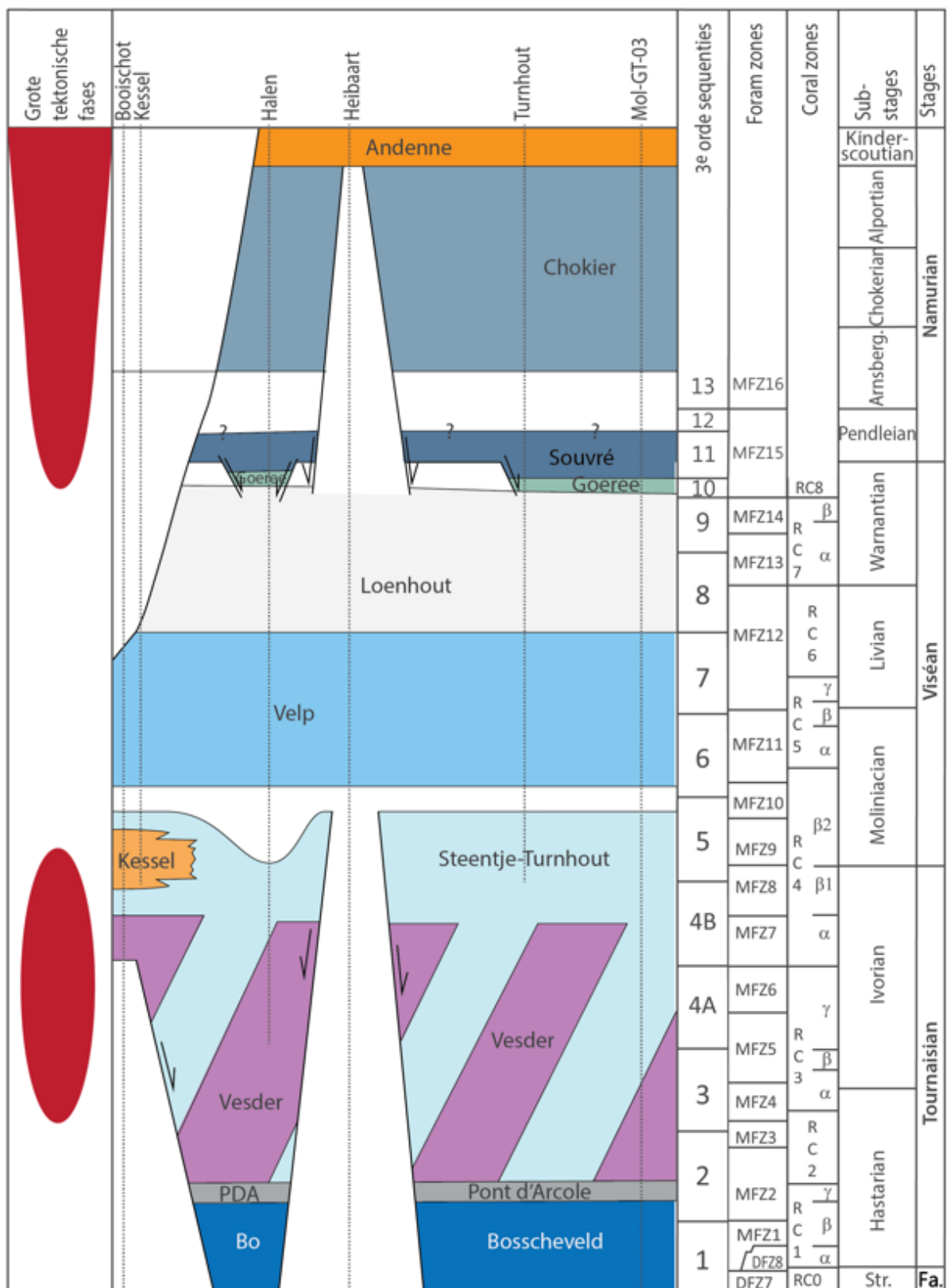
De paragraaf 6.1.1 hierboven stelt dat de dikte van het Devoon in boring Booischot eerder de regel dan de uitzondering is. Hierdoor behoeft er geen half-graben systeem om de dikte van de Formatie van Booischot te verklaren, zoals geïnterpreteerd door Muchez en Langenaeker (1993). We sluiten zeker niet uit dat er half-graben systemen waren tijdens het Devoon, maar op basis van lijn 8904 die langsheen de boring loopt, sluiten we wel uit dat deze de verklaring zijn voor de grote dikte van de Formatie van Booischot in boring Booischot.

6.2 Dinantiaan

6.2.1 Tournaisiaan tektonische fase

- **Timing tektonische fase**

De seismische interpretaties tonen de aanwezigheid van tal van breuken in de basis van het Dinantiaan die niet doorwerken tot de top van het Dinantiaan. De meeste breuken lijken te stoppen onder pakket Di-3 (zie bijvoorbeeld Figuur 18, Figuur 19 of Figuur 16). Aangezien we de basis van Di-3 correleren met het bovenste Tournaisiaan (3^e orde sequentie 4B) tot basis Viseaan (3^e orde sequentie 5), wat zou betekenen dat de tektonische fase zich hoofdzakelijk in het Tournaisiaan moet afgespeeld hebben. Op basis van de correlatie tussen enkele boringen in en rondom het Bekken van de Kempen zijn 3^e orde sequenties 1 en 2 behoorlijk dun (Figuur 11), en vermoeden we dus ook dat de verdikking over breuken hoofdzakelijk in de bovenliggende sequenties 3 en 4 van het Tournaisiaan zullen plaatsgevonden hebben. Een bijkomend argument is dat het seismisch facies van het bovenste Devoon tot onderste Tournaisiaan, in deze studie genaamd De-3 en vermoedelijk bovenin overeenkomend met 3^e orde sequenties 1 en 2, niet systematisch beïnvloed lijkt te zijn door breuken op seismiek, wat je wel zou verwachten bij syn-sedimentaire breukwerking. In dit pakket (De-3) zijn namelijk meestal dezelfde reflectiepatronen zowel in de footwall als in de hangingwall van breuken in de basis van het Dinantiaan terug te vinden. Daarom vermoeden we dat breukwerking pas optrad vanaf sequentie 3. Aangezien sequenties 1 en 2 de onderkant tot bovenste deel van het Hastariaan uitmaken, situeren we de breukwerking hoofdzakelijk in het laatste Hastariaan en Ivoriaan (3^e orde sequenties 3 en 4; Figuur 73). Deze timing komt heel goed overeen met deze van het Dinant Bekken, waarin versnelde subsidentie plaatsvond vanaf sequentie 3 die zich in een breukgebonden trog ontwikkelde doorheen sequentie 4 (Hance et al., 2002; Poty, 2016). Op andere plekken in West-Europa zijn eveneens indicaties voor Ivoriaan tektoniek gevonden. De duidelijkst gedateerde voorbeelden situeren zich in Ierland en het Verenigd Koninkrijk. In Ierland wordt deze belangrijke breukfase, gesitueerd in het midden en boven Tournaisiaan, het Moathill Event genoemd. Deze breukfase sterft uit boven in het Tournaisiaan (de Morton et al., 2015).



Figuur 73: Overzichtsschema van de litho- en bio- en chronostratigrafie van het Dinantiaan en onderkant van het Namuriaan in het Bekken van de Kempen uit Figuur 6 van deze studie, links aangevuld met de timing van de belangrijkste tektonische fases in het gebied.

- **Breukrichtingen**

Op basis van 2D seismiek is de oriëntatie van breuken onzeker. Echter, op plaatsen met een goede bedekking van seismische lijnen met verschillende oriëntaties, lijken de Tournaisiaan breuken een (W)ZW-(O)NO, O-W tot WNW-OZO oriëntatie te hebben (zie paragraaf 5.2.3). Ook in Ierland hebben de Tournaisiaan breuken deze oriëntatie (Pickard et al., 1992; Johnston et al., 1996; Hitzman, 1999; Worthington & Walsh, 2011). In het noorden van Engeland vond de belangrijkste breukenepisode plaats tijdens deze periode met de vorming van grote normaalbreuken met eveneens grofweg O-W tot ZW-NO oriëntaties (Kirby et al., 2000; Jenkins & Torvela, 2020). Net zoals in het Bekken van de Kempen, zijn de Tournaisiaanbreuken in Ierland sterk gesegmenteerd (Kyne et al., 2019). De analogie van breuktiming, oriëntatie en segmentatie met Ierland en Engeland wijst erop dat deze laatste Hasteriaan en Ivoriaan extensiefase in de ruime regio van West-Europa plaatsvond. Op basis van de O-W tot WZW-ONO oriëntatie van de normale breuken vermoeden heel wat auteurs een N-Z tot NNW-ZZO richting van regionale extensie (Gawthorpe, 1987; Worthington & Walsh, 2011; Jenkins & Torvela, 2020).

- **Bekkenrand**

In boring Booischot werden geen formaties van Bosscheveld of Pont d'Arcole aangetroffen en ontbreken daarom de Hastariaan 3^e orde sequenties 1 en 2. Hier ligt de Formatie van Vesder rechtstreeks op Devoon zandstenen. Net zoals enkele tektonische blokken in het oosten van Wallonië (Poty & Deculée, 2011), werd de regio vermoedelijk pas overspoeld bij de maximale transgressie van 3^e orde sequentie 4. De MFZ8 datering boven de dolomieten van de Formatie van Vesder door Hance (2022) getuigt namelijk dat deze sequentie aanwezig is. Het interval van basis Dinantiaan of MFZ1 tot aan de top van MFZ8, i.e. het Tournaisiaan, is dan ook slechts 93 m dik in boring Booischot, wat veel dunner is dan ingeschat aan boring Turnhout, waar MFZ8 alleen al bijna 200 m dik is (Hance, 2022). Dit past in de hypothese dat de subsidentie in het Bekken van de Kempen verminderde richting het Massief van Brabant en dus richting boring Booischot, die op de grens tussen beide structurele entiteiten gelegen is. Ook richting boring Kessel, eveneens gelegen aan de rand van het Massief van Brabant, is er namelijk een sterke verdunning over breuken van het Tournaisiaan (zie Figuur 34 of paragraaf 4.4.2).

Heel wat van deze breukzones die het Tournaisiaan bekken afbakenen, werden gereactiveerd tijdens het Jura, en bakenen het huidige Bekken van de Kempen af. Deze Jura breuken hebben dominant een O-W tot WNW-OZO strekking, wat inderdaad overeenstemt met actieve breukrichtingen tijdens het Tournaisiaan. We vermoeden dus dat het Tournaisiaانبekken naar het zuiden toe begrensd werd door deze O-W tot WNW-OZO zwaktezones. Op de gravimetrische kaart van de as van het Onder Paleozoïsche Massief van Brabant vallen dergelijke richtingen ook sterk op. Het is dan ook waarschijnlijk dat de O-W tot WNW-OZO zwaktezones van het Onder Paleozoïcum gereactiveerd werden tijdens het Tournaisiaan.

Bij de opmaak van het G3Dv3-model was al geobserveerd dat de rand van het voorkomen van het Dinantiaan (i.e. rand van het Bekken van de Kempen) overeenstemt met een sterke verandering van de gravimetrie (Deckers et al., 2019). Toen werd dat verklaard door de sterke Jura breukwerking in deze zone die zorgt dat lagen met hoge dichtheid van het Massief van Brabant naar het noorden (Bekken van de Kempen) dieper wegzakken. Via deze studie kunnen we daaraan dus ook lokaal de Tournaisiaan breukwerking toevoegen, die dit effect nog eens versterkt heeft. De reactivatie van bestaande (Onder Paleozoïsche) zwaktezones als bekkenrand kan de snelle subsidentie verklaren van het Bekken van de Kempen tijdens het Tournaisiaan, en vooral dan het Ivoriaan. Hierdoor konden zich binnen dit bekken build-up complexen ontwikkelen die al snel meer dan 100 ms TWT of ruwweg 300 m dik kunnen zijn. In bepaalde breukgebonden zones lijkt de som van de build-up complexen tot 300 ms TWT op te lopen, wat in de buurt komt van de 1 km dikke Waulsortiaanmudmounds zoals vastgesteld in subsiderende Tournaisiaانبekken in Ierland (Devuyst & Lees, 2001).

- **Anomale Heibaart Structuur**

De Heibaart Structuur vormde tijdens deze periode een hoog met erg dunne of afwezige Tournaisaanafzettingen. Gelijkaardige stabiele tektonische blokken zijn ook aanwezig in het Dinantiaan van Engeland en Ierland, waardoor gesproken wordt van een 'block and basin' type extensiebekken. In Engeland en Ierland worden deze blokken geassocieerd met onderliggende magmatische lichamen of batholieten. Dergelijke magmatische lichamen vormden zich veelal tijdens het Ordovicium tot vroege Devoon in de UK, maar evengoed in België zoals Quenast in het Massief van Brabant. Tijdens daaropvolgende riftingfases zouden de normale breuken rond de granietlichamen ervoor zorgen dat de lage dichtheitslichamen relatief stabiel en dus hoog bleven (zie bijvoorbeeld Donato and Megson, 1990). Tijdens episodes van regionale subsidentie zou het gebrek aan lokale rek ervoor zorgen dat dit proces niet optreedt, wat kan verklaren waarom de Heibaart Structuur na het Tournaisiaan wel terug overspoeld werd en niet langer een hoog vormde.

Dit proces kan ook verklaren waarom de dikke pakketten conglomeraten aan boring Booischot afgezet werden gedurende een vermoedde Givetiaan en Frasniaan rekfase, maar niet aan boring Heibaart. Tijdens de daaropvolgende laat Frasniaan en Famenniaan periode van regionale subsidentie werd de Heibaart Structuur terug overspoeld met afzettingen van gelijke diktes als aan boring Booischot.

Er is echter geen direct bewijs dat er een magmatisch lichaam van Onder Paleozoische ouderdom onder de Heibaart Structuur zit. Er gaat één boring tot in het Onder Paleozoicum en die eindigt in de top van Siluur schalies. Ook is er geen duidelijke gravimetrische anomalie onder de Heibaart Structuur vastgesteld, zoals bij andere granitische lichamen wel vaak het geval is. Dit sluit echter niet uit dat er een plutonisch lichaam aanwezig is.

- **Sediment starvation hypothese**

Ten noorden van de post-Westfaliaan A Breuk van Hoogstraten zakt het Dinantiaan tot grote diepte. Dit is een gevolg van de sterke noordwaartse verdikking van Namuriaan en Westfaliaan sedimenten daar. De toename in dikte van het Namuriaan is hier opvallend, omdat het niet breukgebonden, maar via onlap op de top van het Dinantiaan verloopt. Zo neemt de dikte van het Namuriaan toe van een 220 m nabij de Heibaart Structuur tot meer dan 1700 m aan boring Rijsbergen. Een mogelijke verklaring voor deze diktetoename is - zoals in paragraaf 4.4.3 wordt besproken - het bestaan van een sediment-starved Dinantiaanbekken ten noorden van de Breuk van Hoogstraten. Dit bekken wordt dan in het zuiden begrensd door WNW-OZO, O-W tot WZW-ONO Tournaisiaanbreuken. Ten zuiden van deze breukzone en eronder zijn er tal van build-up complexen te zien, verder ten noorden niet meer, met de kanttekening dat de seismische kwaliteit in het noorden ook algemeen slecht hiervoor is. De afwezigheid van build-up complexen is consistent met het starved bekken. Ook zien we verdunning van het Dinantiaan richting het noorden op de Nederlandse SCAN-lijn die consistent is met progressief meer starvation in noordelijke richting (Figuur 37). We veronderstellen dan ook de aanwezigheid van een Kulm-facies in dit diepe bekken, dat pas tijdens het Namuriaan terug opgevuld werd. Dit is een vergelijkbare evolutie met het Rijnbekken, dat ook een Kulm-facies heeft tijdens het Dinantiaan en door dikke pakketten Namuriaan wordt opgevuld. Onze dikte-inschatting van de som van het Dinantiaan en Namuriaan, tot wel 1800 m in de sterk inzakkende breukblokken van het Bekken van de Kempen (asymetrische Tournaisiaan graben), komt ook overeen met de minimum dikte van het Namuriaan in boring Rijsbergen.

6.2.2 Vroeg Viseaan: einde tektonische fase

Op de Tournaisiaan/Viseaan grens vond er een belangrijke zeespiegeldaling plaats, mogelijks tot meer dan 100 m, waardoor de vroegste Viseaan afzettingen (biozones MFZ9/10 van 3^e orde sequentie 5) in heel wat gebieden van Wallonië ontbreken (Poty, 2016). Pas tijdens een latere transgressie (late MFZ10/11 biozones) werden deze gebieden terug overspoeld en bedekt door 3^e orde sequentie 6. Biostratigrafische analyses tonen dit hiaat ook aan in boring Halen (Hance, 2022), al kan dit ook door breukwerking verklaard worden (zie paragraaf 4.4.5). In boringen Turnhout en Beerse zijn wel dikke pakketten van 3^e orde sequentie 5 (biozone MFZ9) aanwezig volgens recente biostratigrafische analyses (Hance, 2022). De dikte van het vroege Moliniaciaan (biozone MFZ9) werd niet vastgesteld door Hance (2022) in boring Booischot, maar diens biostratigrafische analyses tonen wel aan dat het Moliniaciaan (MFZ9 tot 11) een maximale dikte heeft van 138 m in deze boring (onderin een breuk). In boring Turnhout is datzelfde interval ongeveer 172 m dik volgens Hance (2022). Dat is relatief weinig verschil in vergelijking met het Tournaisiaan dikteverschil tussen deze regio's, wat een argument is voor het einde van de belangrijkste breukwerking.

We vermoeden dat de Formatie van Kessel een vroegste Viseaan ouderdom heeft (paragraaf 3.3.2), wat het vroege Viseaan op de rand van het Massief van Brabant dik zou maken. Dit zou kunnen wijzen op een periode van sterke regionale subsidentie, die dan niet optrad in de regio van boring Halen (zie hierboven). Wat ons echter logischer lijkt is dat – in analogie met Wallonië (zie Poty, 2016) – er na het Tournaisiaan nog paleoreliëf was dat opgevuld werd tijdens het vroege Viseaan. Deze opvulling past goed bij het lagunaire facies van de Formatie van Kessel, en zou verklaren waarom deze zo dik ontwikkeld is terwijl op dat moment geen afzetting plaatsvond aan boring Halen. Boring Halen vormde vermoedelijk een Tournaisiaan paleo-hoog (tijdens 3^e orde sequentie 4A?), wat ook de relatief dunne bedekking van het laatste Tournaisiaan (biozone MFZ8 in Hance, 2022 of 3^e orde sequentie 4B) kan verklaren. Aan boringen Beerse en Turnhout was er een betere connectie met het marien milieu, waardoor er hier ondiep mariene carbonaten afgezet werden tijdens het vroegste Viseaan tussen de Tournaisiaan paleo-mounds.

6.2.3 Midden Viseaan

Op basis van de biostratigrafische analyses van Hance (2022) zijn de diktes van het bovenste Moliniaciaan tot en met het vroege Warnantiaan in het gehele Bekken van de Kempen, zowel in boring Halen als deze verder noordwestelijk, behoorlijk gelijkaardig. Dit wijst erop dat tijdens het late Moliniaciaan het paleoreliëf van het Tournaisiaan min of meer opgevuld was. Bij vergelijking valt trouwens op dat de diktes van afzettingen in deze periode zoals vastgesteld in boringen Beerse-GT-01a, DZH-1 en Halen door Hance (2022; Luc Hance pers. comm.) met ongeveer 200-250 m (Figuur 7) behoorlijk gelijkaardig zijn aan deze zoals schematisch voorgesteld door Poty (2016) voor delen van Wallonië (Figuur 10). Dit is een verdere aanwijzing dat deze periode regionaal gezien tektonisch relatief rustig was. We vermoeden dat tijdens het Viseaan de regio van Heibaart ongeveer de noordrand van de rimmed shelf vormde, met ten noorden ervan een starved bekken (sinds het Tournaisiaan; zie 6.2.1).

6.2.4 Laat Viseaan en Namuriaan tektonische fase

In tegenstelling tot het vroege Warnantiaan, vallen voor het boven Warnantiaan grote dikteverschillen op tussen de boringen in het Bekken van de Kempen. Zo is het boven Warnantiaan afwezig in boringen Heibaart en Poederlee (Muche et al, 1987a; 1990; Luc Hance, pers. comm.), terwijl het verder oostelijk in boringen Halen en Mol ongeveer 160 m en 180 m dik is (Hance, 2018; 2022). Deze diktes nemen nog toe als boring Geveik in acht wordt genomen waar ongeveer 430 m van het boven Warnantiaan (zonder Souvré) werd afgezet. In de boringen Kessel en Booischot aan de zuidwestelijke rand van het Bekken van de Kempen is het Namuriaan afwezig door post-depositionele erosie, waardoor onbekend is of het boven Warnantiaan hier ooit werd afgezet.

Aan de hand van deze gegevens lijkt er in het Bekken van de Kempen dus een sterke verdikking plaats te vinden van het boven Warnantiaan richting het oosten. Dit terwijl het onderliggende Liviaan tot onder Warnantiaan interval nog relatief uniforme diktes vertoont (zie paragraaf 6.2.3). De diktetrend van het boven Warnantiaan komt wel overeen met die van het bovenliggende Namuriaan en vroegste Westfaliaan, zoals Langenaeker en Duser (1992) die weergegeven via log-correlaties en ook blijkt uit de diktekaarten van het Namuriaan van het G3Dv3-model (Deckers et al., 2019). Zo is het Namuriaan minder dan 250 m dik aan boring Poederlee en meer dan 900 m aan de Mol-GT boringen. Dit wijst erop dat er een tektonische fase actief was vanaf het late Warnantiaan tot minstens in het Namuriaan (zie Figuur 73). In het Verenigd-Koninkrijk en Ierland wordt ook een tektonische fase herkend in het late Viseaan (laat Asbiaan en Brigantiaan), die zorgt voor het opbreken van eerdere Dinantiaan platformen (zie bijvoorbeeld Gawthorpe, 1987; Philcox et al., 1992; Pickard et al., 1994).

Het G3Dv3-model - dat grotendeels gebaseerd is op seismische data - geeft weer dat de verdikking van het Namuriaan tussen de regio's in het westen en oosten niet geleidelijk verloopt, maar op bepaalde locaties heel abrupt en de gebieden daartussen heel geleidelijk. De meest abrupte diktesprong van minder dan 300 m dik Namuriaan in het westen richting meer dan 700 m dik Namuriaan in het oosten vindt plaats langs een ZZW-NNO lijn langs Olen-Poederlee-Turnhout. Deze trend is gebaseerd op ver uit elkaar gespatieerde 2D seismische lijnen, wat de oriëntatie van breuken binnen deze zone onzeker maakt. Echter, recent werd op deze zone de 3D seismische campagne van Olen-Herentals geschoten die de trend bevestigt, en naast een sterke oostwaartse helling van de top van het Dinantiaan ook een opbreking hiervan laat zien langs NNW-ZZO tot NNO-ZZW georiënteerde breuken (Figuur 45).

De concentratie van breuken op de lijn van Olen-Poederlee-Turnhout doet vermoeden dat hier reeds een zwaktezone was in de korst. Dit valt met de seismische data niet te achterhalen. Wel zijn er op het Massief van Brabant lange structuren (transversaalbreuken) ingetekend die deze NNO-ZZW oriëntatie hebben door De Vos et al. (1993). Ook het laatste Carboon/vroegste Perm Donderslag Lineament heeft deels deze oriëntatie (Deckers et al., 2019), wat doet vermoeden dat deze richting wel degelijk in de sokkel aanwezig was.

De Heibaart Structuur vormde tijdens deze tektonische fase - net zoals tijdens het Tournaisiaan (zie paragraaf 6.2.1) - een horststructuur zonder bedekking van boven Warnantiaan en onderste Namuriaan afzettingen. Deze relatief hoge positie met blootstelling tijdens het late Warnantiaan en vroege Namuriaan verklaart mede waarom de top van het Dinantiaan zo sterk verkarst is op de Heibaart Structuur.

6.3 Instortingsstructuren in Dinantiaan en hun oorzaak

6.3.1 Instortingsstructuren

De seismische interpretaties van lijnen in het Bekken van de Kempen door Dreesen et al. (1987) en deze studie tonen het voorkomen aan van grote instortingsstructuren in de top van het Dinantiaan en daarbovenop gelegen eenheden in het zuidwesten van het Bekken van de Kempen. Sommige van deze instortingsstructuren zetten zich enkel door tot in het bovenliggende Namuriaan of Westfaliaan, terwijl anderen nog effect hebben tot aan de basis van de Krijtgroep en sommige zelfs tot in het Cenozoïcum (zie Figuur 34 en Figuur 24). In het Cenozoïcum werden ze dan ook geobserveerd in dezelfde regio op de Kanalenseismiek door de Batist en Versteeg (1999).

Hoe ondieper de structuren invloed hebben, hoe groter ze meestal zijn in diepte, hoewel ook de nabijheid van het Massief van Brabant een belangrijke rol lijkt te spelen. Heel wat van deze structuren lopen verticaal door tot in het centrum van het Dinantiaan. Ze worden daarom geïnterpreteerd als instortingsholtes in het Dinantiaan. Bijna steeds komen de instortingsholtes voor aan een breuk of in een graben. Ze kunnen in sommige gevallen ook verward worden met een graben zelf. Echter, veroorzaken deze holtes een lokale, anomale vergroting in de breuksprong langsheen de breuken die de graben vormen, zodat instortingsstructuren toch onderscheiden kunnen worden. Ook worden grabens in deze regio niet meer verwacht verder door te werken in het Cenozoïcum. Verder hellen de reflecties ook steil naar het centrum toe van deze instortingsstructuren, terwijl ze dat minder doen in de zones van de graben waar dergelijke structuren afwezig zijn. Tenslotte lijken de structuren ook circulair te zijn op basis van de gravimetrische kaart (pers. comm. Timothy Debacker). Bovengenoemde vaststellingen lijken er dus op te wijzen dat het wel degelijk om instortingsholtes gaat.

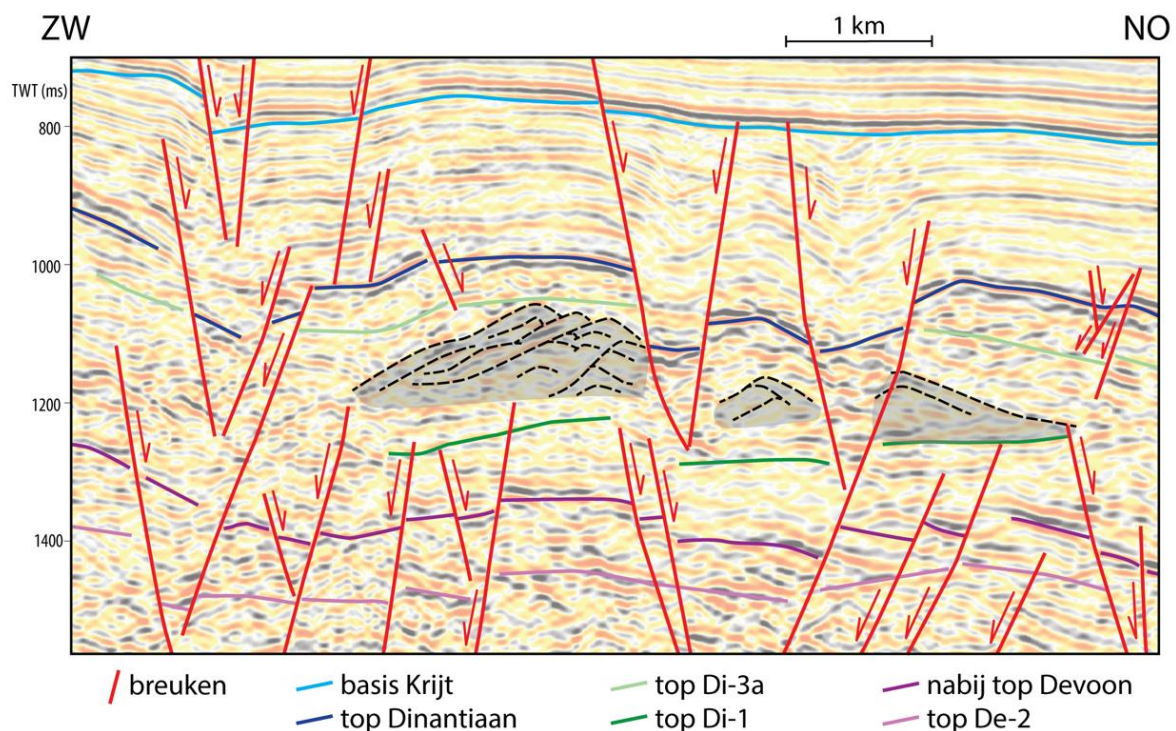
Een deel van deze instorting werd veroorzaakt door karst ten gevolge van blootstelling van het Dinantiaan in het laatste Viseaan/vroegste Namuriaan (Dreesen et al., 1987), maar de grote instortingen die later dan het Paleozoïcum plaatsvonden kunnen niet door blootstelling van het Dinantiaan veroorzaakt zijn, aangezien het Dinantiaan toen nog bedekt was onder honderden meters Namuriaan en Westfaliaan. De instortingsstructuren zijn daarom een gevolg van hypogene karst door migratie van fluïda langs breuksystemen. De invloed van breukoplossing lijkt bevestigd te worden doordat de holtes vaak voorkomen binnen grabens of aan breuken ontwikkeld of gereactiveerd tijdens het Jura. Wat uit deze studie tevens duidelijk naar voor komt, is dat de instortingsstructuren zich voornamelijk ontwikkeld hebben bovenop breuken die tijdens het Tournaisiaan gewerkt hebben. Een mogelijke reden hiervoor is dat de Tournaisiaanbreuken voor segmentatie van de Jura breuken in het Viseaan zorgden, en dat net deze locaties van segmentatie belangrijke transportpaden voor fluïda vormen, zoals bijvoorbeeld aangetoond door Kyne et al. (2019) voor het Dinantiaan van Ierland.

Een proces van oplossing van evaporieten in het Dinantiaan heeft lokaal voor grote instortingsholtes gezorgd in het Bekken van Mons (Delmer & van Wichelen, 1980). Ook in dit laatste bekken werkten deze holtes door tot aan de basis van de Krijtgroep. In het Bekken van Mons zijn er in de boring van Saint-Ghislain heel dikke (760 m in totaal) evaporiethoudende lagen doorboord van midden tot boven Moliniaciaan en Liviaan tot onder Warnantiaan ouderdom (De Putter et al., 1994; Figuur 15) die een bevestiging lijken te vormen voor de theorie dat instorting gelinkt kan zijn aan het oplossen van evaporieten. De oplossing van Viseaan evaporiethoudende lagen in het Bekken van de Kempen zou de instortingsstructuren in dit Viseaan (Di-3) dan ook kunnen verklaren. Een mogelijke theorie is dat de Tournaisiaan build-up structuren door hun paleoreliëf in het vroege Viseaan een barrière vormden tijdens lage zeespiegelstanden, waardoor de ingesloten zee ten zuidwesten ervan kan uitdampen met afzetting van evaporieten als gevolg. Een gelijkaardig mechanisme van uitdamping achter build-up structuren werd gebruikt als verklaring voor de Liviaan evaporietafzettingen in het Mons Bekken (De Putter et al., 1994; Figuur 75). Instortingsstructuren in het Bekken van de Kempen lijken zich inderdaad vaak te situeren tussenin Tournaisiaan build-up complexen in de hangingwall van breuksystemen. Op lijn 8111 van de Oostmalle campagne bijvoorbeeld lijken twee grote instortingsstructuren geflankeerd en gescheiden te zijn door build-up structuren. De instortingsstructuur op de lijn 8903b van de LSC-campagne lijkt ook gelegen tussen een build-up structuur in het noordoosten en een grote Tournaisiaanbreuk ten zuidwesten (Figuur 34). De mogelijke aanwezigheid van evaporietafzettingen kan ook een verklaring bieden voor de grote dimensies - vooral verticaal - van deze instortingsstructuren. Evaporieten hebben namelijk de eigenschap om makkelijk te kunnen oplossen. Vloeistofmigratie in breuksystemen langsheen evaporietlagen is daarom een plausibel mechanisme om dergelijk grote volumes op te lossen.. Of er Viseaan evaporietpakketten in het Bekken van de Kempen gevormd werden, blijft echter onzeker. Er werden namelijk in geen enkele van de boringen in het Bekken van de Kempen evaporietpakketten doorboord.

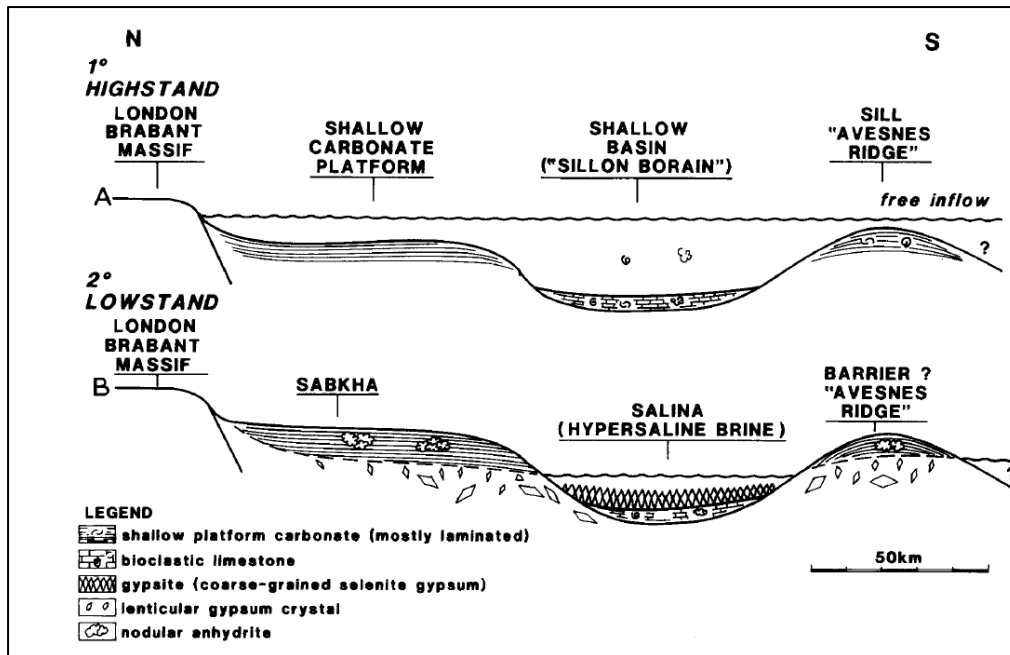
Dit kan een gevolg zijn van het oplossen van deze pakketten na afzetting, maar ook door de ligging en/of bereikte diepte in het Dinantiaan van de boringen zelf.

Zo liggen alle boringen ofwel niet in de zone met de grote instortingsholtes, of bereiken ze deze niveaus niet. Boring Beerse-GT-01a werd naar de onderkant van een kleinere instortingszone geboord, en daar zijn inderdaad indicaties voor inspoeling van jongere sedimenten tot diepere niveaus (bijvoorbeeld foraminiferen van typisch biozone MFZ15 tussen die van biozone MFZ8-9; Luc Hance, pers. comm.). Deze boring bevindt zich echter al voorbij de oostelijke grens waar nog grote instortingsstructuren zijn geobserveerd. Een gedetailleerde sedimentologische studie wees evenmin op de aanwezigheid van oplossing van evaporieten in deze boring (Panterra, 2023). Ze concluderen dan ook dat er vermoedelijk geen evaporietpakketten werden afgezet in het Bekken van de Kempen door ongunstige afzettingssomstandigheden.

Een alternatieve reden voor het voorkomen van de instortingsstructuren tussen de build-ups zonder de noodzaak voor evaporieten is dat de oplossing van carbonaten door hypogenese hoofdzakelijk effect had op de faciessen rond de build-ups eerder dan de build-ups zelf, door preferentiële migratiepaden rond de build-ups (breuken die hen binden) of door hun faciesverschillen.



Figuur 74: Seismische interpretatie van lijn 8111 van de Oostmalle campagne. In het centrum rechts zijn er twee grote instortingsstructuren aanwezig met op de flanken daarvan grote build-up structuren die ingekleurd en met zwarte streepjeslijnen afgelijnd zijn. Deze build-up structuren stellen vermoedelijk Tournaisiaan Waulsortiaan mudmounds voor die paleo-hogen vormden tijdens het Viseaan. In de centrale grabens zelf zijn Di-2 en -3 sterk verdund, mogelijks door oplossing van carbonaten en evaporieten die ook voor de instortingen van erboven hebben gezorgd.



Figuur 75: Schematische voorstelling van de relatie tussen carbonaat- en evaporietafzettingen ten zuiden van het Massief van Brabant tijdens zeespiegelhoogstanden (A) en -laagstanden (B). Overgenomen uit De Putter et al. (1994).

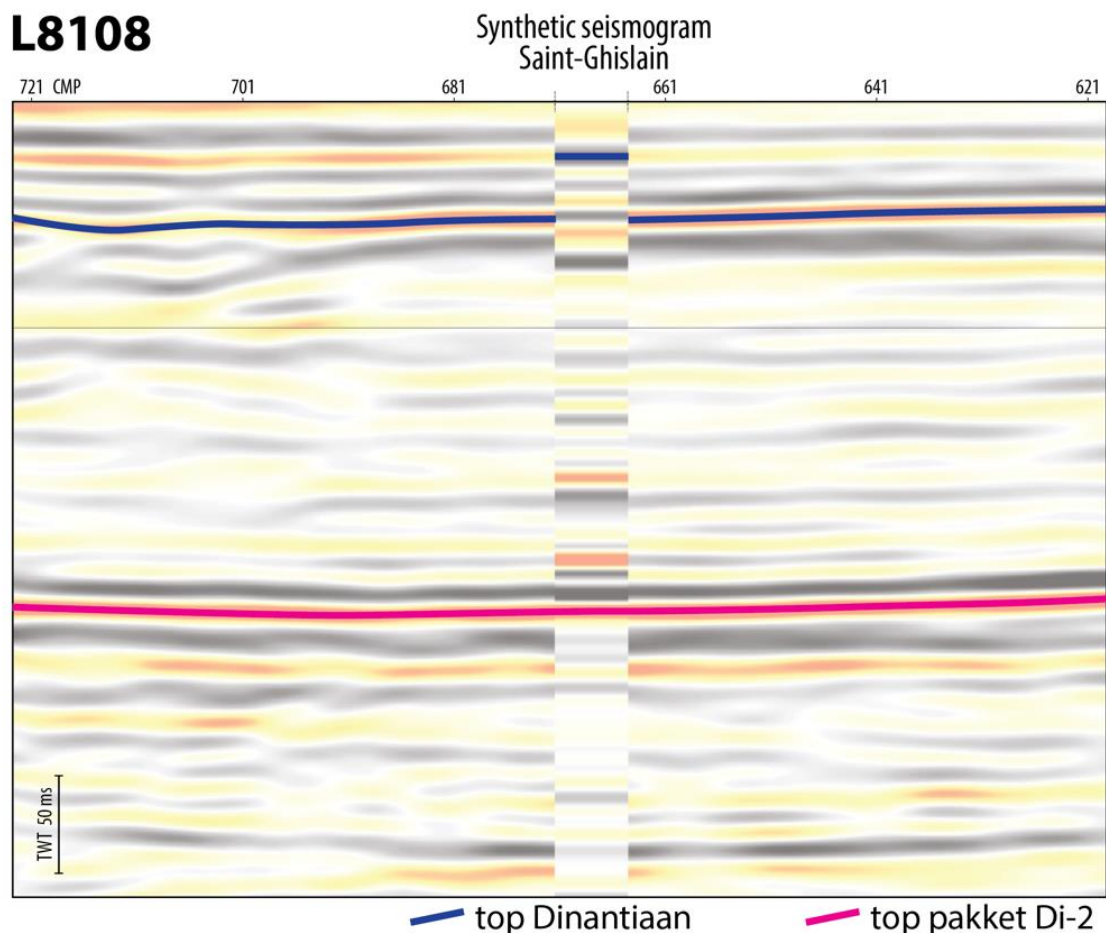
6.3.2 Vergelijking met boring Saint-Ghislain

Indien de instortingsholtes door oplossing van evaporieten komen, dan zitten er naar alle waarschijnlijkheid nog evaporietlagen in het Dinantiaan die nog niet opgelost zijn. Deze lagen zijn niet aangeboord in het Bekken van de Kempen, maar kunnen misschien wel via seismiek geïdentificeerd worden. Om de expressie van evaporieten op seismiek te achterhalen, dienen we gebruik te maken van analogen. Een heel goed bruikbaar analoog is de boring van Saint-Ghislain ten zuiden van het Massief van Brabant, vermits daar afwisseling van evaporieten en kalksteen in het Dinantiaan werd vastgesteld over een groot bereik waarlangs snelheids- en densiteitsdata ter beschikking zijn. De seismische data langsheen de boring van Saint-Ghislain zelf zijn helaas van mindere kwaliteit waardoor deze weinig bruikbaar zijn om te vergelijken met deze in het Bekken van de Kempen. Echter kan met behulp van de snelheids- en densiteitsdata van deze boring wel een synthetisch seismogram worden opgemaakt om zo het seismische signaal na te bootsen dat deze afwisseling van evaporieten en kalksteen veroorzaakt (zie Figuur 15). Hierdoor geeft het een uitstekend inzicht in wat we qua expressie kunnen verwachten op de seismiek mochten er gelijkaardige pakketten aanwezig zijn in het Bekken van de Kempen.

Op basis van het synthetisch seismogram van Figuur 15 kunnen een aantal zaken vastgesteld worden:

1. De densiteit van anhydriet is duidelijk hoger dan deze van kalksteen, terwijl de snelheid redelijk gelijkaardig is. Netto gezien is het impedantiecontrast tussen anhydriet en kalksteen daarom niet heel hoog.
2. De impedantiecontrasten tussen dunne lagen van kalksteen en anhydriet zoals bovenin de boring zijn redelijk beperkt, maar wel sterker dan die binnen continue kalksteenintervallen zoals onderin het Dinantiaan.
3. Wanneer de anhydriet opgelost is, en een productieve zone vormt, zal dit echter wel leiden tot zéér sterke impedantiecontrasten.

Hieruit blijkt dat lithologische contrasten tussen evaporieten en kalkstenen helaas niet duidelijk naar voor komen. Wat wel duidelijk naar voor komt als een heel sterk impedantiecontrast zijn de zones waar de evaporieten opgelost zijn. In het Bekken van de Kempen hebben we in het zuidwesten van de Oostmalle campagne een vergelijkbare sterke reflector of impedantiecontrast vastgesteld in het Dinantiaan (Figuur 18). Deze reflector wordt helaas niet door een boring bereikt. De amplitude van de reflector is niet continu, maar lijkt over post-Dinantiaan breuken af te nemen (zie Figuur 18). De sterkste amplitude van deze reflector lijkt daarom breukgebonden waardoor we vermoeden dat die eerder door diagenetische dan door syn-sedimentaire processen wordt veroorzaakt. Het zou dus mogelijk zijn dat deze sterke reflector eenzelfde oorzaak kent als de sterke reflector in Saint-Ghislain, namelijk een sterk poreuze zone door laterale oplossing van evaporieten. Om dit te illustreren, hebben we het synthetisch seismogram van boring Saint-Ghislain op de lijn 8108 van de Oostmalle campagne geprojecteerd in Figuur 76.



Figuur 76: Het synthetisch seismogram van boring Saint-Ghislain bovenop de seismische lijn 8108 van de Oostmalle campagne. De sterkste amplitude intra-Dinantiaan reflectie van de boring en de seismische lijn zijn gecorreleerd. In de boring is deze reflectie een gevolg van het oplossen van een evaporietrijk pakket in het onderste Viseaan. De verkregen sonic log van boring Saint-Ghislain start pas in de top van het Dinantiaan, waardoor de top van het Dinantiaan zelf hier geen sterk contrast geeft. De dikte van het Viseaan is ook wat groter in boring Saint-Ghislain dan op lijn 8108.

7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

7.1 Conclusies

Voor de eerste keer is een 3D model voor het Dinantiaan opgemaakt op basis van hoofdzakelijk seismische data in het grootste deel van het Bekken van de Kempen. Binnen dit bereik zijn ook voor het eerst modellen gemaakt van twee eenheden, genaamd naar de chronostratigrafische stage waarin ze afgezet werden: Tournaisiaan en Viseaan. Beide eenheden bestaan hoofdzakelijk uit carbonaten, in het Viseaan bijna volledig kalksteen en voor het Tournaisiaan ook (groten)deels dolomieten. Op seismische data is het Dinantiaan sterk reflectief aan de top en basis, terwijl verdere indelingen moeilijk te maken zijn. Dit komt door de stapeling van build-up complexen binnen het Dinantiaan, soms van de basis tot de top. Deze structuren zijn regelmatig gebonden door sequentiegrenzen, waarvan we er drie konden identificeren op seismiek binnen het Dinantiaan. De centrale sequentiegrens (top Di-2) is gelegen nabij de top van het Tournaisiaan of basis van het Viseaan, en werd dan ook gebruikt om het Dinantiaan op te delen in het onderliggende Tournaisiaan en bovenliggende Viseaan. Voor de interpretatie van seismische data is sterk gesteund op de beperkt beschikbare boorgegevens. Hiervoor waren de recente biostratigrafische studie van Hance (2022) en sedimentologische studie van Panterra (2023) belangrijke hulpmiddelen. Aan de hand hiervan, en gebaseerd op gedetailleerde bestaande modellen op basis van analogen in Wallonië (c.f. Poty, 2016), is ook een eerste ruw sequentiestratigrafisch model opgebouwd voor het Dinantiaan van het Bekken van de Kempen.

Om seismische interpretaties beter te kunnen uitvoeren, werden enkele belangrijke lijnen gereproceest voor het huidige project. Vooral voor lijnen langs de zuidrand van het Bekken van de Kempen zorgde dit voor belangrijke verbeteringen.

Door de opmaak van de modellen is voor het eerst een belangrijke tektonische fase onderscheiden binnen het Tournaisiaan van het Bekken van de Kempen. De timing van deze fase zou naar onze inschatting heel gelijkaardig zijn als eenzelfde subsidiefase in het Bekken van Dinant in Wallonië, namelijk het late Hastariaan tot en met Ivoriaan. In dit laatste bekken ontwikkelden zich grote Waulsortiaan mudmounds tijdens deze periode. In het Bekken van de Kempen zijn op seismiek ook enorme build-up complexen waargenomen in datzelfde interval, en stellen daarom vermoedelijk ook Waulsortiaan mudmounds voor. De grootste mudmounds ontwikkelden zich in de sterk subsiderende tektonische blokken, en met name grabenstructuren. Aan de zuidrand van het Bekken van de Kempen is ook een Tournaisiaankken of -riftsysteem afgebakend. Hier ontwikkelden zich enorm grote breukensystemen die – mede door latere reactivatie – ook duidelijk in de gravimetrische kaart tot uiting komen. Zo neemt de dikte van het Tournaisiaan toe van een 100-tal meter in boring Booischot in de schouder van het riftsysteem tot meer dan 1000 m in het riftsysteem zelf. De dominante Tournaisiaan breukrichtingen situeren zich tussen ZW-NO en WNW-OZO. Gelijkaardige richtingen werden ook reeds vastgesteld voor het Tournaisiaan in Ierland, wat wijst op de invloed van grootschalige processen, vermoedelijk N-Z extensie in mogelijks een back-arc basin setting. Tijdens deze periode vormde de Heibaart Structuur een breukgebonden hoog zonder of met heel beperkte bedekking van Tournaisiaan sedimenten.

De tektonische fase en gerelateerde breukwerking verdween richting het Viseaan. Hierdoor heeft het model van het Viseaan een behoorlijk uniforme dikte. Echter, zoals het geval in het Bekken van Dinant, kan er nog een belangrijk Tournaisiaan paleo-reliëf van Waulsortiaan mudmounds zijn geweest tijdens het vroege Viseaan. Hier zijn vanuit de boringen indicaties voor: in boring Halen is het vroegste Viseaan afwezig, terwijl dat in boring Turnhout meer dan 100 m dik is. Mogelijk Tournaisiaan paleo-reliëf zit niet in het model van het Tournaisiaan, maar dat van het Viseaan vevat. Het is namelijk onmogelijk om al het Tournaisiaan build-up reliëf in een regionaal model te omvatten op basis van de beschikbare data.

Het Viseaan wordt lokaal sterk verdund door instortingsstructuren in de top die uitsterven naar de basis ervan. Deze instortingsstructuren liggen typisch op locaties van contact tussen breuken van Tournaisiaan en Jura ouderdom, wat vermoedelijk de fluïda circulatie met hypogene karst heeft mogelijk gemaakt vanuit het diepe bekken. Of de instortingsstructuren enkel komen door oplossing van carbonaten of ook lokaal van evaporieten, zoals in het Bekken van Mons, is onzeker. Het Viseaan wordt lokaal ook verdund door breuksprongen die de top, maar niet de basis affecteren.

Tijdens het laatste Viseaan en daaropvolgende Namuriaan en vroegste Westfaliaan, vond er in het oosten van het Bekken van de Kempen differentiële subsidentie plaats met daardoor meer dan tweemaal dikkere afzettingen dan in het westen van datzelfde bekken. Zo konden er relatief dikke laatste Viseaan formaties van Goeree en Souvré worden afgezet in het oosten die ontbreken of dun zijn in het westen. De westgrens van het differentieel subsiderend bekken wordt gevormd door een smalle zone met een breedte van enkele kilometers die loopt van Olen over Poederlee naar Turnhout waarin heel wat breuken actief waren. De breuken hadden strekkingen tussen NNW-ZZO en NNO-ZZW en verticale sprongen van meestal minder dan 100 m, maar lokaal tot 500 m. Tijdens diezelfde fase vormde de Heibaart Structuur een horst structuur waardoor het oudste Namuriaan hier ontbreekt. Dankzij de langdurige atmosferische blootstelling kon intense karstificatie plaatsvinden ten westen van de lijn Olen-Poederlee-Turnhout. In het centrale en oostelijke deel van het Bekken van de Kempen was de eventuele atmosferische blootstelling van de top van het Dinantiaan van korte duur door de differentiële subsidentie tijdens het Namuriaan, en de daarbij horende bijna continue sedimentatie. In de boringen die in dit gebied de top van het Dinantiaan hebben aangeboord, is er dan ook geen karstificatie vastgesteld aan de top van het Dinantiaan.

Tijdens een belangrijke tektonische fase van Jura ouderdom werd het Dinantiaan sterk opgebroken langsheen WNW-OZO tot NNW-ZZO georiënteerde breuken. Deze breuken werden reeds voor het G3Dv3-model gemodelleerd. Door nieuw geïnventariseerde en verbeterde (via reprocessing) seismiek zijn hieraan nog uitgebreide aanpassingen uitgevoerd. De breuken die gemodelleerd zijn, dienen echter niet als aparte breuksegmenten beschouwd te worden, maar veelal als breukzones die verschillende breuksegmenten kunnen omvatten.

In het uiterste oosten van het Bekken van de Kempen, kunnen de top en basis van het Dinantiaan onvoldoende betrouwbaar geïnterpreteerd worden, omdat die hier onherkenbaar is vanwege de grote diepte of omdat deze soms zelfs onder het seismische beeld valt. Voor deze regio is daarom besloten om geen model van het Dinantiaan aan te maken.

7.2 Aanbevelingen

Volgende aanbevelingen kunnen op basis van de huidige studie gemaakt worden:

- Via deze studie zijn heel wat build-up complexen in beeld gebracht, en de sequentiegrenzen die ze aflijnen. De huidige studie kan hiermee een handige springplank vormen voor een grondige studie van de sedimentologie van het Dinantiaan via seismiek, in navolging van de sedimentologische studie door Panterra (2023) op basis van hoofdzakelijk boorgegevens.
- In het uiterste oosten en zuidoosten van het Bekken van de Kempen is het Dinantiaan heel diep gelegen, de kwaliteit van de seismische data is vaak slecht, en de interpretatie van het Dinantiaan is dus onzeker of niet gemodelleerd voor deze studie. In deze regio zijn er nog wel heel wat boringen die het Westfaliaan aanboren. Detailmodellen van het Westfaliaan zouden kunnen toelaten om ook een betere inschatting van de top Dinantiaan te kunnen maken hier. Als er detailmodellen voor de onderkant van het Westfaliaan gemaakt worden, zouden we daarom aanbevelen om op basis hiervan ook de top van het Dinantiaan te (her)bekijken in het oosten van het Bekken van de Kempen.
- In het uiterste noorden van het studiegebied, ten noorden van de Breuk van Hoogstraten, is er nog onzekerheid over het dikteverloop van het Dinantiaan (starvation hypothese paragraaf 4.4.3). Om hier meer kennis te vergaren over het Dinantiaan, is het aangewezen om Nederlandse data te raadplegen en in functie daarvan een grensoverschrijdende modellering uit te voeren. In functie hiervan is ook een reprocessing van de seismische lijnen van de NFB-campagne aangeraden.
- De Mol-GT boringen zijn van de belangrijkste voor het Dinantiaan van het Bekken van de Kempen omdat ze diep (Mol-GT-01 en -02) in tot zelfs volledig doorheen dit Dinantiaan gaan (Mol-GT-03). Er is echter maar beperkte biostratigrafische controle op deze boringen. We zouden daarom aanbevelen om te trachten deze boringen, en minstens die van Mol-GT-03, verder biostratigrafisch te laten onderzoeken.
- Binnen het Dinantiaan zijn op een aantal seismische lijnen lokaal sterkere reflecties vastgesteld die gerelateerd zouden kunnen zijn aan een verhoogde porositeit door oplossing van carbonaten en/of zouten. Om dit te onderzoeken zou bijvoorbeeld AVO (Amplitude Variatie met Offset) analyse toegepast kunnen worden op de betreffende seismische lijnen. Dit is natuurlijk onder voorbehoud dat de seismische lijnen het toelaten om een dergelijk onderzoek uit te voeren. Daarom wordt ook aanbevolen om nieuwe seismische campagnes steeds zo te processen dat ze AVO analyse toelaten.
- Voor seismische interpretaties binnen het Dinantiaan zijn bijna exclusief gereproceste seismische lijnen bruikbaar. Voor deze studie is dan ook een reprocessing van een aantal seismische lijnen uitgevoerd. Om het Dinantiaan nog beter te begrijpen, bevelen we aan om nog andere lijnen ook te reprocessen. Voorbeelden hiervan zijn lijnen 8102 en 8106 van de Oostmalle campagne of die van NFB. Wel moet erover gewaakt worden dat door de reprocessing de reflectoren niet teveel uitgesmeerd worden, zodat intra-Dinantiaan hellingen, veelal build-up complexen, en breuken gemaskeerd worden. Dit lijkt bijvoorbeeld bij de reprocessing van lijn 8956 van de LSC-campagne het geval te zijn.

8 DANKWOORD

We danken eerst en vooral Helga Ferket en Johanna Van Daele van het Vlaams Planbureau voor Omgeving van de Vlaamse Overheid voor hun waardevolle en constructieve input en feedback gedurende deze studie. We danken hen ook voor het organiseren van een workshop in Brussel (6 oktober 2023) en webinar (29 mei 2024) waarbij de tussentijdse en finale resultaten van deze studie afgetoetst en gepresenteerd werden. De deelnemers van de workshop en webinar zijn ook bedankt voor hun input en de constructieve discussies die daar plaatsvonden. Marleen De Ceukelaire, Michiel Duser en Tommy D'heuvaert van de Belgische Geologische Dienst zijn hartelijk bedankt voor hun hulp bij de inventarisatie en het beschikbaar stellen van de te-reprocessen seismische data. We danken tenslotte Fluxys, Janssen Pharmaceutica, HITA en VITO dat we hun confidentiële data mochten gebruiken en tonen in de figuren van dit rapport.

9 LITERATUURLIJST

Al-Chalabi, M. & Rosenkranz, P. L., 2002. Velocity–depth and time–depth relationships for a decompacted uplifted unit. *Geophysical prospecting* 50(6), 661-664.

Bless M.J.M., Bouckaert J., Bouzet Ph., Conil R., Cornet P., Fairon-Demaret M., Groessens E., Longerstaey P.J., Meessen J.P.M.Th., Paproth E., Pirlet H., Streel M., Van Amerom H.W.J. & Wolf M., 1976. Dinantian rocks in the subsurface north of the Brabant and Ardenno-Rhenish massifs in Belgium, the Netherlands and the Federal Republic of Germany. *Mededelingen Rijks Geologische Diens, Nieuwe Serie* 27, 81-195.

Bless M.J.M., Boonen P., Bouckaert J., Brauckmann C., Conil R., Duser M., Felder P.J., Felder W.M., Gökdag H., Kockel F., Laloux M., Langguth H.R., Van der Meer Mohr C.G., Meessen J.P.M.Th., Op het Veld F., Paproth E., Pietzner H., Plum J., Poty E., Scherp A. & Schulz R., 1981a. Preliminary report on Lower Tertiary – Upper Cretaceous and Dinantian-Famennian rocks in the boreholes Heugem-1/1a and Kastanjelaan-2 (Maastricht, the Netherlands). *Mededelingen Rijks Geologische Dienst* 35, 333-415.

Bless M.J.M., Boonen P., Duser M. & Soille P., 1981b. Microfossils and depositional environment of late Dinantian Carbonates at Heibaart (Northern Belgium). *Annales de la Société Géologique de Belgique* 104, 135-165.

Bos S., 2018. Interpretatie van boring B/1-102784 (Mol-GT-03). DOV Boorrapport geraardpleegd in 2022.

Broothaers M., Bos S. & Harcouët-Menou V., 2018. Geologisch onderzoek ter bepaling van het thermisch vermogen voor een geothermisch doublet op de site van Janssen Pharmaceutica te Beerse in het kader van de waarborgregeling. Studie uitgevoerd in opdracht van Janssen Pharmaceutica NV: 2018/RMA/R/1592, update van rapport 2017/RMA/R/1263.

De Batist M. & Versteeg W.H., 1999. Seismic stratigraphy of the Mesozoic and Cenozoic in northern Belgium: main results of a high-resolution reflection seismic survey along rivers and canals. *Geologie en Mijnbouw* 77, 17-37.

Deckers J., De Koninck R., Bos S., Broothaers M., Dirix K., Hambsch L., Lagrou D., Lanckacker T., Matthijs J., Rombaut B., Van Baelen K. & Van Haren T., 2019. Geologisch (G3D) en hydrogeologisch (H3D) 3D-lagenmodel van Vlaanderen – versie 3. Studie uitgevoerd in opdracht van het Vlaams Planbureau voor Omgeving, departement Omgeving en de Vlaamse Milieumaatschappij. VITO-rapport 2018/RMA/R/1569.

Deckers, J. Rombaut, B., Broothaers, M., Dirix, K. & Debacker, T., 2023. New 3D fault model for eastern Flanders (Belgium) providing insights on the major deformation phases in the region since the late Paleozoic. *Journal of Structural Geology* 166, 104779.

Deckers, J., Vernes, R., Dabekaussen, W., Den Dulk, M., Doornenbal, H., Duser, M., Matthijs, J., Menkovic, A., Reindersma, R., Walstra, J., Westerhoff, W. & Witmans, N., 2014. Geologisch en hydrogeologisch 3D model van het Cenozoïcum van de Roerdalslenk in Zuidoost-Nederland en Vlaanderen (H3O-Roerdalslenk). VITO-rapport, 2014/ETE/R/1, 200 pp.

Delmer, A. & Van Wichelen, P., 1980. Répertoire des puits naturels connus en terrain houiller du Hainaut. Geological Survey of Belgium Professionnal Paper, 5/n° 172.

de Morton SN, Wallace MW, Reed CP, Hewson C, Redmond P, Cross E & Moynihan C. The significance of Tournaisian tectonism in the Dublin basin: implications for basin evolution and zinc-lead mineralization in the Irish Midlands. *Sediment Geol.* 330, 32–46.

De Putter, T., Rouchy, J.-M., Herbosch, A., Keppens, E., Pierre, C. & Groessens, E., 1994. Sedimentology and palaeo-environment of the Upper Visean anhydrite of the Franco-Belgian Carboniferous Basin (Saint-Ghislain borehole, southern Belgium). *Sedimentary Geology* 90/1-2, 77–93.

Donato, J.A. & Megson, J.B., 1990. A buried granite batholith beneath the East Midland Shelf of the Southern North Sea Basin. *Journal of the Geological Society* 147(1), 133-140.

Devuyst, F.X. & Lees, A., 2001. The initiation of Waulsortian buildups in Western Ireland. *Sedimentology* 48, 1121-1148.

- Devuyst, F.-X., Hance, L. & Poty, E., 2005: SCCS – Field Meeting – 24–29/05/ 2005. The Dinantian of Southern Belgium revisited: sedimentary history and biostratigraphy. A guidebook of key sections, 74 pp.
- Dreesen, R., Bouckaert, J., Duser, M., Soille, J. & Vandenberghe, N., 1987. Subsurface structural analysis of the Late-Dinantian carbonate shelf at the northern flank of the Brabant Massif (Campine Basin, N.-Belgium). Toelicht. Verhand. Geologische en Mijnkaarten van België 21, 37 pp.
- De Vos, W., Verniers, J., Herbosch, A. & Vanguestaine, M., 1993. A new geological map of the Brabant Massif, Belgium. Geological Magazine 130, 605–611. <https://doi.org/10.1017/S0016756800020902>
- Duser, M., 2007. Stratigrafische interpretatie boring Halen (076e0243).
- Endres, H. & Bezouska, H., 2007. Seismic reprocessing and CRS processing of 2D seismic data in the Western Campine area. Project No.: 07-293, Trappe Erdöl Erdgas Consultant, 10 pp.
- Ferket, H., Laenen, B. & Van Tongeren, P., 2010. Basin modeling of the Campine Basin; can we complete the puzzle? Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften (SDGG) 68, 166.
- Gawthorpe, R.L., 1987, Tectono-sedimentary evolution of the Bowland Basin, N. England, during the Dinantian: Geological Society of London 144, 59–71.
- Grosjean, A., Delmer, A., Graulich, J.M., Gulinck, M. & Legrand, R., 1955. Sondage no.120 a Turnhout. Unpub. Borehole Description Belgian Geol. Survey.
- Hance, L., 2018. Report on cuttings from the Mol-GT-01 borehole. Unpublished report Vito.
- Hance, L., 2022. Biostratigraphic revision of the Dinantian (Mississippian) of the Campine Basin.
- Hance, L., Poty, E. & Devuyst, F.-X., 2001. Stratigraphie séquentielle du Dinantien type (Belgique) et corrélation avec le Nord de la France (Boulonnais, Avesnois). Bulletin de la Société géologique de France 172/4, 411-426.
- Hance, L., Poty, E. & Devuyst, F.-X., 2002. Sequence stratigraphy of the Belgian Lower Carboniferous – tentative correlation with the British Isles. In Hills, L.V., Henderson, C.M. & Bamber E.W. (eds), Carboniferous and Permian of the World. Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir 19, 41-51.
- Hance, L., Poty, E. & Devuyst, F.-X., 2006a. Viséan. InDejonghe, L. (ed.), Current status of chronostratigraphic units named from Belgium and adjacent areas. Geologica Belgica 9/1-2, 55-62.
- Hance, L., Poty, E. & Devuyst, F.-X., 2006b. Ivorian. InDejonghe, L. (ed.), Current status of chronostratigraphic units named from Belgium and adjacent areas. Geologica Belgica 9/1-2, 117-122.
- Herbig, H.-G., 2016. Mississippian (Early Carboniferous) sequence stratigraphy of the Rhenish Kulm Basin, Germany. In Denayer, J. & Aretz, M. (eds), Devonian and Carboniferous research: homage to Professor Edouard Poty. Geologica Belgica 19/1-2, 81-110.
- Hitzman, M. W. 1999. Extensional faults that localize Irish syndiagenetic Zn-Pb deposits and their reactivation during Variscan compression. In: MCCAFFREY, K. J. W., LONERGAN, L. & WILKINSON, J. J. (eds) *Fractures, Fluid Flow and Mineralization*. Geological Society, London, Special Publications 155, 233-245.
- Japsen, P., 1993. Influence of lithology and Neogene uplift on seismic velocities in Denmark: implications for depth conversion of maps. AAPG Bulletin 77(2), 194-211.
- Jenkins, A.P. & Torvela, T., 2020. Basin analysis using seismic interpretation as a tool to examine the extent of a basin ore 'play.' Ore Geol Rev 125, 103968.
- Johnston, J.D., Collier, D., Millar, G. & Critchley, M.F., 1996. Basement structural controls on Carboniferous-hosted base metal mineral deposits in Ireland. In: Strogen, P., Somerville, I.D., Jones, G.LI (Eds.), Recent Advances in Lower Carboniferous Geology. Geological Society, London, Special Publication 107, pp. 1e121.
- Kirby, G A, Baily, H E, Chadwick, R A, Evans, D J, Holliday, D W, Holloway, S, Hulbert, A G, Pharaoh, T C, Smith, N J P, Aitkenhead, N, & Birch, B. 2000. The structure and evolution of the Craven Basin and adjacent areas. Subsurface Memoir of the British Geological Survey.
- Kyne, R., Torremans, K., Doyle, R., Güven, J. & Walsh, J.J., 2019. 3D modelling of the Lisheen and Silvermines deposits, Co. Tipperary, Ireland: Insights into structural controls on the formation of Irish Zn-Pb deposits. Economic Geology 114(1), 93-116.

- Labofina, 1976. Heibaart 1/1bis. Etude sédimentologique des carottes. Labofina, Exploration, intern rapport.
- Laenen, B., 2003. Lithostratigrafie van het pre-Tertiair in Vlaanderen, Deel II: Dinantiaan & Devoon. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse overheid (ANRE). VITO-rapport 2003/ETE/R/095, 86 pp.
- Laenen, B., Ferket, H., Verhaert, G., Dreesen, R. & van Tongeren, P.C.H., 2007. Studie van de bestaande data over de Kolenkalk in de Kempen - Reprocessing van oude seismische data en studie van boringen uitgevoerd in het gebied tussen Loenhout en Poederlee. Studie uitgevoerd in opdracht van FLUXYS, 2007/MAT/R/215.
- Lagrou, D. & Coen-Aubert, M., 2017. Update of the Devonian lithostratigraphic subdivision in the subsurface of the Campine Basin (northern Belgium). *Geologica Belgica* 20(1-2), 1-13 <https://popups.uliege.be/1374-8505/index.php?id=5574>.
- Lagrou, D. & Laenen, B., 2014. Introduction of new formal lithostratigraphic units for the Dinantian in the Campine Basin. <https://ncs.naturalsciences.be/carboniferous/dinantian-campine-basin>
- Lagrou, D. & Laenen, B., 2015. Introduction of the Booischoot Formation, a new formal lithostratigraphic unit for the Devonian in the Campine Basin (N. Belgium). National Commission for Stratigraphy Belgium, <http://ncs.naturalsciences.be/devonian/booischoot-formation>, accessed december 2022.
- Langenaeker, V. & Duser, M., 1992. Petrophysical stratigraphy of the Namurian and lowermost Westphalian in the Western part of the Campine Basin. *Bulletin de la Société belge de géologie* 101(3-4), 199-208 .
- Lees, A., 1997. Biostratigraphy, sedimentology and palaeobathymetry of Waulsortian buildups and peri-Waulsortian rocks during the Late Tournaisian regression, Dinant area, Belgium. *Geological Journal* 32, 1-36.
- Lees, A., Hallet, V. & Hibo, D., 1985. Facies variation in Waulsortian buildups. Part 1. A model from Belgium. *Geological Journal* 20, 133-158.
- Mamet, B., Clayes, P., Herbosh, A., Préat, A. & Wolfavisz, P., 1986. La "Grande Brèche" viséenne (V3a) des bassins de Namur et de Dinant (Belgique) est probablement une brèche d'effondrement. *Bulletin de la Société belge de Géologie* 95, 151-166.
- Mathes-Schmidt, M.E., 2000. Mikrofazies, Sedimentationsgeschehen und paläogeographische Entwicklung im Verlauf des oberen Viséums im Untergrund der Niederrheinischen Bucht und des Campine-Beckens. Dissertation der TH Aachen (Fakultät für Bergbau, Hüttenwesen und Geowissenschaften), 176 pp.
- Mozafari, M., Gutteridge, P., Riva, A., Geel, K., Garland, J. & Dewit, J., 2019. Facies analysis and diagenetic evolution of the Dinantian carbonates in the Dutch subsurface: data and analyses wells CAL-GT-01, 02, 03. Report by SCAN, <https://scanaardwarmte.nl/> , 12 p.
- Muchez, Ph., Conil, R., Viane, W., Bouckaert, J. & Poty, E., 1987a. Sedimentology and biostratigraphy of the Viséan carbonates of the Heibaart (DzH1) borehole (Northern Belgium). *Ann. Soc. géol. Belg.* 110(2), 199-208.
- Muchez Ph. & Langenaeker V., 1993. Middle Devonian to Dinantian sedimentation in the Campine Basin (northern Belgium): its relation to Variscan tectonism. *Spec. Publ. Int. Ass. Sediment.* 20, 171-181.
- Muchez Ph., Viane W., Bouckaert J., Conil R., Duser M., Poty E., Soille P. & Vandenberghe N., 1990. The occurrence of a microbial buildup at Poederlee (Campine Basin, Belgium) : Biostratigraphy, sedimentology, early diagenesis and significance for early Warnantian paleogeography. *Annales de la Société Géologique de Belgique* 113, 329-339.
- Muchez Ph., Viane W., Wolf M. & Bouckaert J., 1987b. Sedimentology, coalification pattern and paleogeography of the Campine-Brabant Basin during the Viséan. *Geologie en Mijnbouw* 66, 313-326.
- PanTerra, 2023. Sedimentological reconstruction of the Campine Basin during the Dinantian. Vlaams Planbureau voor Omgeving, 123 pp.
- Philcox, M.E., Baily, H., Clayton, G. & Sevastopulo, G.D., 1992. Evolution of the Carboniferous Lough Allen basin, northwest Ireland. In: Parnell, J. (Ed.), *Basins on the Atlantic Seaboard: Petroleum Geology, Sedimentology and Basin Evolution*. Geological Society, London, Special Publication 62, 203-215.
- Poty, E., 2014. Report on cuttings from the CAL-GT-01S borehole. Unpublished report EBN BV.

Poty, E., 2016. The Dinantian (Mississippian) succession of southern Belgium and surrounding areas: stratigraphy improvement and inferred climate reconstruction. In Denayer, J. & Aretz, M. (eds), Devonian and Carboniferous research: homage to Professor Edouard Poty. *Geologica Belgica* 19/1-2, 177–200.

Poty, E. & Decul  e, S., 2011. Interaction between eustacy and block-faulting in the Carboniferous of the Visé – Maastricht area (Belgium, The Netherlands). *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft f  r Geowissenschaften* 162/2, 117-126.

Poty, E., Devuyst, F.-X. & Hance, L., 2006. Upper Devonian and Mississippian foraminiferal and rugose coral zonations of Belgium and northern France: a tool for Eurasian correlations. *Geological Magazine* 143/6, 829-857.

Poty, E., Hance, L., Lees, A. & Hennebert, M., 2001. Dinantian lithostratigraphic units (Belgium). *Geologica Belgica* 4(1-2), 69-94.

Pickard, N. A. H., , Rees, J. R., Strogen, P., Somerville, I. D. & Jones, G. LL. 1994. Controls on the evolution and demise of Lower Carboniferous carbonate platforms: northern margin of the Dublin Basin, Ireland. *Geological Journal* 29, 93-117.

Reijmer, J., Ten Veen, J., Jaarsma, B., & Boots, R., 2017. Seismic stratigraphy of Dinantian carbonates in the southern Netherlands and northern Belgium. *Netherlands Journal of Geosciences* 96(4), 353-379.

Rombaut, B., Dirix, K. & Deckers, J., 2021. Collapse structures on seismic in Flanders. <https://geoera.eu/blog/collapse-structures-flanders/>

Ten Veen, J., De Haan, H., de Bruin, G., Holleman, N. & Sch  ler, W., 2019. Seismic Interpretation and Depth Conversion of the Dinantian carbonates in the Dutch subsurface. Rapport beschikbaar via www.NLOG.nl.

Van Adrichem Boogaert, H.A. & Kouwe, W.F.P., 1993. Stratigraphic nomenclature of the Netherlands, revision and update by RGD and NOGEPA. Mededelingen Rijks Geologische Dienst 50. TNO–NITG Geological Survey of the Netherlands (Utrecht).

van der Voet, E., Muchez, P., Laenen, B., Weltje, G.J., Lagrou, D. & Swennen, R., 2020a. Characterizing carbonate reservoir fracturing from borehole data – a case study of the Viséan in northern Belgium. *Marine and Petroleum. Geology* 111, 375–389.

van der Voet, E., Laenen, B., Rombaut, B., Kourta, M. & Swennen, R., 2020b. Fracture characteristics of Lower Carboniferous carbonates in northern Belgium based on FMI log analyses. *Netherlands Journal of Geosciences* 99, e8.

Vernes, R.W., Deckers, J., Bakker, M.A.J., Bogemans, F., De Ceukelaire, M., Doornenbal, J.C., den Dulk, M., Duser, M., Van Haren, T.F.M., Heyvaert, V.M.A., Kiden, P., Kruisselbrink, A.F., Lanckacker, T., Menkovic, A., Meyvis, B., Munsterman, D.K., Reindersma, R., ten Veen, J.H., van de Ven, T.J.M., Walstra, J. & Witmans, N., 2018. Geologisch en hydrogeologisch 3D model van het Cenozoïcum van de Belgisch-Nederlandse grensstreek van Midden-Brabant / De Kempen (H3O – De Kempen). Studie uitgevoerd door VITO, TNO-Geologische Dienst Nederland en de Belgische Geologische Dienst in opdracht van Vlaams Planbureau voor Omgeving, Vlaamse Milieumaatschappij, TNO, Geologische Dienst Nederland, Nederlandse Provincie Noord-Brabant, Brabant Water, Programmabureau KRW/DHZ Maasregio.

Worthington, R. P., & Walsh, J. J., 2011. Structure of Lower Carboniferous basins of NW Ireland, and its implications for structural inheritance and Cenozoic faulting. *Journal of Structural Geology* 33(8), 1285-1299.

10 BIJLAGES

Tabel 4: Overzicht van alle Vlaamse boringen - en enkele van hun belangrijkste gegevens - die in het Bekken van de Kempen het Dinantiaan aangeboord hebben.

Nr Fig. 2	BGD nr	DOV nr	DZH nr	Ander nr	X	Y	Z	Bron coördinaten	Eind-diepte	Gedev. eerd	Biostratigrafische analyse	BGM	URL_DOV
L1	007e0178	kb8d7e-B216	Heibaart-1	KB129	173339	231112	22,9	DOV	1640	N	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1962-082874
L2	007e0196	kb8d7e-B219	DZH1	KB135	173383	230720	21,1	DOV	1400	N	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1977-082875
L3	007e0198	kb8d7e-B221	DZH2	KB141	172137	229970	24,6	DOV	1354	N	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1980-082876
L4	007e0199	kb8d7e-B222	DZH3	KB142	174088	230434	22,0	DOV	1355	N	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1980-082877
L5	007e0200	kb8d7e-B42	DZH4	KB143	174629	228594	26,0	DOV	1356	N	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1980-044203
L6	007e0201	kb8d7e-B43	DZH5	KB144	175129	230697	24,5	DOV	1350	N	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1979-044204
L7	007e0202	kb8d7e-B223	DZH6	KB145	172316	231401	19,8	DOV	1352	N	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1980-082878
L8	007e0209	kb8d7e-B50	DZH7	KB156	172716	229915	23,3	DOV	1301	N	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1981-044205
L9	007e0210	kb8d7e-B226	DZH10	KB157	173876	229603	24,3	DOV	1304	N	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1981-082880
L10	007e0212	kb8d7e-B228	DZH9	KB158	174748	230601	24,0	DOV	1408	J	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1982-038578
L11	007e0213	kb8d7e-B229	DZH11	KB129	173187	231038	22,5	DOV	1314	J	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1982-082881
L12	007e0214	kb8d7e-B230	DZH101	KB135	173280	230771	21,3	DOV	1304	J	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1982-082882
L13	007e0215	kb8d7e-B231	DZH102	KB135	173224	230771	21,3	DOV	1256	J	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1982-082883
L14	007e0216	kb8d7e-B232	DZH103	KB135	173132	230791	21,3	DOV	1328	J	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1982-082888
L15	007e0217	kb8d7e-B233	DZH104	KB135	173107	230861	21,8	DOV	1267	J	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1982-042937
L16	007e0218	kb8d7e-B234	DZH105	KB142	174082	230431	22,5	DOV	1255	J	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1982-042938
L17	007e0219	kb8d7e-B235	DZH106	KB158	174684	230592	23,8	DOV	1205	J	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1982-042939
L18	007e0223	kb8d7e-B239	DZH15	KB203	172064	228539	22,8	DOV	1390	J	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1990-042943
L19	007e0280	kb8d17e-B307	DZH23	KB212	187906	221006	19,5	DOV	1600	J	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1964-031580
L20	007e0281	kb8d7e-B294	DZH24	KB213	175060	230352	24,5	DOV	1580	J	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1995-042928
L21	007e0282	kb8d7e-B295	DZH25	KB214	172112	228505	22,9	DOV	1645	J	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1995-031487
L22	007e0301	BGD007E0301	DZH34		173238	228290	26,0	DOV	1541	J	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1999-118978
L23	016e0176	kb8d16e-B166	DZH14		175587	227349	26,9	DOV	1408	J	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1989-083067
L24	016e0177	kb8d16e-B167	DZH19		172397	227442	24,5	DOV	1671	J	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/2016-140325
L25	016e0178	kb8d16e-B168	DZH18		175776	225899	27,0	DOV	1600	J	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/2016-140323
L26	016e0229	BGD016E0229	DZH26	KB210	177098	222787	25,0	DOV	1596	J	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1994-118921
L27	016e0238	BGD016E0238	DZH107		174824	227966	28,2	VITO	1285	J	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1996-122372
L28		B/1-98458	DZH33		174840	227851	28,2	VITO	1400	J	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/2016-132666
1	030w0371	KOEN-B181	DZP1	KB170; Poederlee	182667	212654	15,5	DOV	1689	J	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1984-074287
2	076w0273	kb25d76w-B285		KB127; Loksbergen	199275	180710	43,0	DOV	368	N	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1960-031827
3	075e0317	kb24d75e-B321		KB128; Rillaar	187304	184937	21,6	DOV	372	N	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1961-117420
4	076e0243	kb25d76e-B246		KB131; Halen	202200	181850	25,0	DOV	1366	N	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1962-043301
5	017w0265	kb8d17w-B312		KB165; Merksplas1	181968	225865	29,5	DOV	1761	N	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1983-038292
6	017E0225	kb8d17e-B272		KB120; Turnhout	190620	223850	29,6	DOV	2705	N	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1952-083175
7	044w0011	kb16d44w-B16		KB38; Kessel	169096	203659	8,0	DOV	704	N	J	N	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1903-086064
8	059E0146	kb24d59e-B160		KB132; Booischoot	177678	193296	12,6	DOV	1330	N	J	N	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1963-025638
9	077w0174	kb25d77w-B178		KB86; Wijvenheide	217105	187372	38,0	DOV	1912	N	J	N	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1920-084570
10	075w0293	kb24d75w-B329		Aarschoot	182470	185930	20,0	DOV	360	N	J	N	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1974-116119
11	093e0115	kb34d93e-B119		KB43; Lanaken	241743	177059	52,0	DOV	278	N	J	N	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/1898-082619
12		B/1-102786		MOL-GT-01(-S1)	201783	212961	25,0	DOV	3610	N	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/2016-148767
13		B/1-102785		MOL-GT-02	201791	212962	25,0	DOV	4341	J	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/2016-148766
14		B/1-102784		MOL-GT-03(-S1)	201768	212959	25,0	DOV	4905	J	J	J	https://www.dov.vlaanderen.be/data/boring/2016-148765
15				Beerse-GT-01	184857	222092	24,0	VITO	2754	J	J	J	
16				Beerse-GT-01a	184857	222092	24,0	VITO	2830	J	J	J	
17				Beerse-GT-02	184850	222101	24,0	VITO	2725	J	J	J	

Tabel 5: Overzicht van alle Nederlandse boringen - en enkele van hun belangrijkste gegevens – die relevant zijn voor de huidige studie.

Nr. Fig. 1	NLOG nr	X	Y	Z	Einddiepte	Gedevieerd	BGM
N1	DB-105 (Houthem)	251798,4	174858,9	74,5	323	Nee	N
N2	DB-106 (Gulpen)	257197,0	167986,8	97,7	688	Nee	N
N3	DB-108 (Mesch)	246524,2	162327,2	73,2	118	Nee	N
N4	DB-109 (Cadier en Keer)	249150,1	170101,1	99,0	258	Nee	N
N5	DB-123 (Kastanjelaan)	242283,4	172578,4	49,2	330	Nee	N
N6	CAL-GT-01(-S1) (Californië)	269747,9	236057,2	35,3	2730	Ja	J
N7	CAL-GT-02 (Californië)	269750,8	236064,2	34,3	1694	Ja	J
N8	CAL-GT-03 (Californië)	269753,7	236071,3	35,3	2977	Ja	J
N9	CAL-GT-04 (Californië)	269173,7	237258,1	33,5	3037	Ja	J
N10	CAL-GT-05 (Californië)	269176,9	237267,5	33,5	2433	Ja	J
N11	GVK-01 (Geverik)	249135,9	180505,3	109,3	1687	Nee	J
N12	HEU-01(-S1) (Heugem)	244707,8	169358,2	49,6	503	Nee	J
N13	KSL-02 (Kastanjelaan)	242308,1	172600,8	60,3	501	Nee	J
N14	THM-2000 (Thermae)	252430,9	173219,3	134,9	381	Nee	N
N15	THM-2001 (Thermae)	252426,2	173197,3	134,7	142	Nee	N
N16	THM-2002 (Thermae)	252479,7	173310,0	117,1	382	Nee	J
N17	WDR-01 (Woensdrecht)	144938,1	237339,0	4,1	1205	Nee	N
N18	O18-01 (offshore O-blok)	51043,8	314616,1	-29,9	3051	Ja	J
N19	P16-01 (offshore P-blok)	68175,9	314073,8	-34,3	2465	Ja	J
N20	BHG-01 (Broekhavense Gat)	108701,5	275770,3	25,9	2907	Ja	J
N21	S02-02 (offshore S-blok)	97626,4	283196,5	-33,7	2878	Ja	J
N22	S05-01 (offshore S-blok)	94401,4	276165,6	-26,3	2230	Ja	J

Tabel 6: Overzicht van boringen in Wallonië en de Voerstreek - en enkele van hun belangrijkste gegevens – die relevant zijn voor de huidige studie.

Nr Fig. 2	BGD nr	Locatienaam	X	Y	Z	Einddiepte	Gedevieerd	Gekernd	Vectoriële BGM
W1	107E0246	Houtain-St.-Siméon	237050	159276	154	201,74	N	N	N
W2	107E0288	Visé-Loën	241949	161794	54,5	25	N	J	N
W3	107E0290	Lixhe-Loën	241951	161797	35,17	190,1	J	J	N
W4	108W0411	Visé-Lixhe	242604	161497	50,5	25	N	J	N
W5	108W0419	Visé-Lixhe	242658	161485	44,25	18	N	J	N
W6	108W0420	Visé-Loën	242125	161850	61	34,5	N	J	N
W7	108W0429	Visé-Loën	242033	161807	54,8	25,1	N	J	N
W8	108W0431	Lixhe	242337	161799	61	35	N	J	N
W9	108W0432	Lixhe	242347	161799	61	45,1	N	J	N
W10	108W0433	Lixhe	242607	161486	50,5	27	N	J	N
W11	108W0437	Visé-Lixhe	242300	161825	60	25,4	N	J	N
W12	108W0438	Visé-Lixhe	242290	161790	60	25,15	N	J	N
W13	108W0205	Visé	243389	163805	54,3	71,8	N	N	N
W14	108W0131	Lenaye	243220	166709	50	184	N	J	N
W15	108W0359	s Gravenvoeren KB192	248486	161971	95,8	866	N	J	
W16	121E0015	Chertal	241676	155183	57,3	550,3	N	N	N
W17	121W0220	St.-Siméon	233314	157511	124,8	299,5	N	N	N
W18	122E0365	Thimister	256072	150570	259,5	175,13	N	N	N
W19	122W0258	Hermalle-Sous-Argeneau	242840	156490	55	353	N	J	N
W20	122W0260	Bolland	248618	149817	277,9	3001,3	N	N	N
W21	122W0291	Visé	243590	157830	65,61	241,73	N	N	N
W22	122W0292	Visé	243613	157777	65,62	328,83	N	N	N
W23	150E0387	Saint-Ghislain	111626	126269	0	5403	N	J	J

Tabel 7: Overzicht van alle geïnventariseerde en gebruikte seismische lijnen voor deze studie in het Vlaamse deel van het Bekken van de Kempen met hun berekening en score voor prioriteit mogelijke reprocessing.

Campagne	LijnID	Sectie	Reeds gereproceest	Prestack	Post-stack	Kwaliteit seismiek ifv Dinantiaan	Boring nabij lijn	Structuren Dinantiaan	Buiten cluster	Score
BELCORP 1986	BEL86_01	BELCORP86		Nee	Ja	2	2	1	1	6
Campine Basin 1953-1956	KMP53_01	53_01_c		Ja	Ja	1	2	0	0	3
Campine Basin 1953-1956	KMP53_01	53_01_n		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_01	53_01		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_01	53_01_b		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_01	53_01_a		Ja	Ja	1	0	1	1	3
Campine Basin 1953-1956	KMP53_01	53_01_qq		Ja	Ja	1	0	1	1	3
Campine Basin 1953-1956	KMP53_01	53_01_qq		Ja	Ja	1	0	1	1	3
Campine Basin 1953-1956	KMP53_01	53_01_qqq		Ja	Ja	1	0	1	1	3
Campine Basin 1953-1956	KMP53_01	53_01_ss		Ja	Ja	1	0	1	1	3
Campine Basin 1953-1956	KMP53_01	53_01_sss		Ja	Ja	1	0	1	1	3
Campine Basin 1953-1956	KMP53_01	53_01_s		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_01	53_01_S038		Ja	Ja	1	2	0	1	4
Campine Basin 1953-1956	KMP53_01	53-01_q		Ja	Ja	1	2	0	1	4
Campine Basin 1953-1956	KMP53_01	53_01_sss		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_01	53_01_sss		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_02	53_02_a		Ja	Ja	1	2	0	1	4
Campine Basin 1953-1956	KMP53_02	53_02_b		Ja	Ja	1	2	0	1	4
Campine Basin 1953-1956	KMP53_02	53_02_c		Ja	Ja	1	2	0	1	4
Campine Basin 1953-1956	KMP53_02	53_02_d		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_02	53_02_e		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_02	53_02_f		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_03	53_03_a		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_03	53_03_b		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_04	53_04_h		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_04	53_04_n		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_04	53_04_s		Ja	Ja	1	2	1	1	5
Campine Basin 1953-1956	KMP53_04	53_04_s		Ja	Ja	1	2	1	1	5
Campine Basin 1953-1956	KMP53_04	53_04_q		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_05	53_05e		Ja	Ja	0				0

Campine Basin 1953-1956	KMP53_05	53_05w		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_06	53_06c		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_06	53_06_e		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_06	53_06_d		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_06	53_06_w		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_07	53_07		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_08	53_08_n		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_08	53_08_s		Ja	Ja	1	2	1	1	5
Campine Basin 1953-1956	KMP53_09	53_09_c		Ja	Ja	1	2	0	1	4
Campine Basin 1953-1956	KMP53_09	53_09_S25		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_09	53_09_q		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_09	53_09_s		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_10	53_10_c		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_10	53_10_n		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_10	53_10_s		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_11	53_11		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_11	53_11_S84		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_12	53_12_a		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_12	53_12_bb		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_12	53_12_c		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_12	53_12_d		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_12	53_12_e		Ja	Ja	1	0	1	1	3
Campine Basin 1953-1956	KMP53_12	53_12_h		Ja	Ja	1	0	1	1	3
Campine Basin 1953-1956	KMP53_13	53_13_a		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_13	53_13_b		Ja	Ja	1	0	1	0	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_13	53_13_c		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_14	53_14_c		Ja	Ja	1	2	0	1	4
Campine Basin 1953-1956	KMP53_14	53_14_qq		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_14	53_14_S118		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_15	53_15		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_16	53_16_a		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_16	53_16_b		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_16	53_16_c		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_16	53_16_d		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_16	53_16		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_17	53_17_a		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_17	53_17_S28		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_17	53_17_S97		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_18	53-18a		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_18	53-18aa		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_18	53_18_b		Ja	Ja	1	0	1	1	3
Campine Basin 1953-1956	KMP53_18	53_18_c		Ja	Ja	1	0	1	1	3
Campine Basin 1953-1956	KMP53_18	53_18		Ja	Ja	1	0	1	1	3
Campine Basin 1953-1956	KMP53_18	53_18_e		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_18	53_18_ee		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_20	53_20		Ja	Ja	1	0	0	1	2

Campine Basin 1953-1956	KMP53_21	53-21a		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_21	53-21b		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_22	53_22_a		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_24	53_24_a		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_24	53_24_b		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_26	53_26_b		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_26	53_26_bb		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_28	53_28_S31		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_28	53_28_a		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_28	53_28_b		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_29	53_29_s		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_31	53_31_a		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_33	53_33_a		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_33	53_33_b		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_33	53_33_S99		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_34	53_34_a		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_34	53_34_b		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_40	53_40_a		Ja	Ja	0				0
Campine Basin 1953-1956	KMP53_40	53_40_b		Ja	Ja	1	2	0	1	4
Campine Basin 1953-1956	KMP53_50	53_50_a		Ja	Ja	1	2	0	1	4
Campine Basin 1953-1956	KMP53_50	53_50_aS57		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_50	53_50_b		Ja	Ja	1	0	1	1	3
Campine Basin 1953-1956	KMP53_50	53_50_c		Ja	Ja	1	0	1	1	3
Campine Basin 1953-1956	KMP53_10	53_10_d		Ja	Ja	1	0	1	1	3
Campine Basin 1953-1956	KMP53_10	53_10_ff		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Campine Basin 1953-1956	KMP53_10	53_10_dd		Ja	Ja	1	0	0	1	2
Eisden 1981	EIS81_02	8102		Nee	Ja	0				0
Eisden 1981	EIS81_03	8103		Nee	Ja	0				0
Eisden 1981	EIS81_14	8114		Nee	Ja	0				0
Eisden 1981	EIS81_15	8115		Nee	Ja	0				0
Eisden 1981	EIS81_18	8118		Nee	Ja	0				0
Eisden 1981	EIS81_19	8119		Nee	Ja	0				0
Eisden 1981	EIS81_21	8121		Nee	Ja	0				0
Eisden 1981	EIS81_01	8101		Nee	Ja	0				0
Eisden 1981	EIS81_04	8104		Nee	Ja	2	0	0	1	3
Eisden 1981	EIS81_05	8105		Nee	Ja	2	0	0	1	3
Eisden 1981	EIS81_06	8106		Nee	Ja	0				0
Eisden 1981	EIS81_07	8107		Nee	Ja	2	0	0	1	3
Eisden 1981	EIS81_08	8108		Nee	Ja	0				0
Eisden 1981	EIS81_09	8109		Nee	Ja	0				0
Eisden 1981	EIS81_10	8110		Nee	Ja	0				0
Eisden 1981	EIS81_11	8111		Nee	Ja	0				0
Eisden 1981	EIS81_12	8112		Nee	Ja	0				0
Eisden 1981	EIS81_13	8113		Nee	Ja	0				0
Eisden 1981	EIS81_16	8116		Nee	Ja	0				0
Eisden 1981	EIS81_17	8117		Nee	Ja	0				0

Eisden 1981	EIS81_20	8120		Nee	Ja	2	0	0	1	3
Eisden 1981	EIS81_22	8122		Nee	Ja	0				0
Genk 2015	GNK15_01	2DGenk-1501		Ja	Ja	3	0	0	1	4
Genk 2015	GNK15_02	2DGenk-1502		Ja	Ja	3	0	0	1	4
Genk 2015	GNK15_03	2DGenk-1503		Ja	Ja	3	0	0	1	4
Genk 2015	GNK15_04	2DGenk-1504		Ja	Ja	3	0	0	1	4
Hoogstraten 1980	NFB80_01	8001		Nee	Ja	0				0
Hoogstraten 1980	NFB80_02	8002		Nee	Ja	3	0	0	1	4
Hoogstraten 1980	NFB80_03	8003		Nee	Ja	3	2	0	1	6
Hoogstraten 1980	NFB80_04	8004		Nee	Ja	3	0	0	1	4
Hoogstraten 1980	NFB80_05	8005		Nee	Ja	3	0	0	1	4
Hoogstraten 1980	NFB80_06	8006		Nee	Ja	3	0	1	1	5
Hoogstraten 1980	NFB80_07	8007		Nee	Ja	3	0	1	1	5
Hoogstraten 1980	NFB80_08	8008		Nee	Ja	3	0	1	1	5
Hoogstraten 1980	NFB80_09	8009		Nee	Ja	3	0	0	1	4
Hoogstraten 1980	NFB80_10	8010		Nee	Ja	3	0	0	1	4
Hoogstraten 1980	NFB80_11	8011		Nee	Ja	3	0	1	1	5
Hoogstraten 1980	NFB80_12	8012		Nee	Ja	3	0	0	1	4
Hoogstraten 1980	NFB80_13	8013		Nee	Ja	3	0	1	1	5
Hoogstraten 1980	NFB80_14	8014		Nee	Ja	3	0	1	1	5
Hoogstraten 1980	NFB80_15	8015		Nee	Ja	0				0
Kanalenseismiek 1980-1990	KAN89_18	sectie18		Nee	Ja	0				0
Kanalenseismiek 1980-1990	KAN89_19	sectie19		Nee	Ja	0				0
Kanalenseismiek 1980-1990	KAN89_20	sectie20		Nee	Ja	0				0
Kanalenseismiek 1980-1990	KAN89_21	sectie21		Nee	Ja	0				0
Kanalenseismiek 1980-1990	KAN89_22	sectie22		Nee	Ja	0				0
Kanalenseismiek 1980-1990	KAN89_23	sectie23a		Nee	Ja	0				0
Kanalenseismiek 1980-1990	KAN89_23	sectie23b		Nee	Ja	0				0
Kanalenseismiek 1980-1990	KAN89_24	sectie24		Nee	Ja	0				0
Kanalenseismiek 1980-1990	KAN89_25	sectie25		Nee	Ja	0				0
Kanalenseismiek 1980-1990	KAN89_26	sectie26		Nee	Ja	0				0
Kanalenseismiek 1980-1990	KAN89_27	sectie27		Nee	Ja	0				0
Kanalenseismiek 1980-1990	KAN89_28	sectie28		Nee	Ja	0				0
Kanalenseismiek 1980-1990	KAN89_29	sectie29		Nee	Ja	0				0
Kanalenseismiek 1980-1990	KAN89_30	sectie 30		Nee	Ja	0				0
Leopoldsburg 1984	LEO84_01	8401		Nee	Ja	0				0
Leopoldsburg 1984	LEO84_02	8402		Nee	Ja	0				0
Leopoldsburg 1984	LEO84_03	8403		Nee	Ja	0				0
Leopoldsburg 1984	LEO84_04	8404		Nee	Ja	0				0
Leopoldsburg 1984	LEO84_05	8405		Nee	Ja	0				0
Leopoldsburg 1984	LEO84_06	8406		Nee	Ja	2	0	0	1	3
Leopoldsburg 1984	LEO84_07	8407		Nee	Ja	2	0	0	1	3
Leopoldsburg 1984	LEO84_08	8408		Nee	Ja	2	0	0	1	3
Leopoldsburg 1984	LEO84_09	8409		Nee	Ja	0				0
Limestone subcrop 1989	LSC89_01	8901		Ja	Ja	2	0	0	1	3
Limestone subcrop 1989	LSC89_02	8902		Ja	Ja	2	0	0	1	3

Limestone subcrop 1989	LSC89_03A	8903A		Ja	Ja	2	0	0	1	3
Limestone subcrop 1989	LSC89_03B	8903B		Ja	Ja	2	2	1	1	6
Limestone subcrop 1989	LSC89_04	8904		Ja	Ja	2	2	1	1	6
Limestone subcrop 1989	LSC89_07	8907		Nee	Ja	2	0	0	1	3
Limestone subcrop 1989	LSC89_08	8908		Ja	Ja	2	2	1	1	6
Limestone subcrop 1989	LSC89_056	89056		Nee	Ja	2	2	0	1	5
Loenhout 1974	HEB74_01	7401		Nee	Ja	2	2	1	0	5
Loenhout 1974	HEB74_03	7403		Nee	Ja	2	2	1	0	5
Loenhout 1974SC	HEB74_04	7404		Nee	Ja	2	2	1	0	5
Loenhout 1974SC	HEB74_06	7406		Nee	Ja	2	0	1	0	3
Loenhout 1974SC	HEB74_08	7408		Nee	Ja	2	0	1	0	3
Loenhout 1974	HEB74_09	7409		Nee	Ja	2	2	1	0	5
Loenhout 1974	HEB74_10	7410		Nee	Ja	2	2	1	0	5
Loenhout 1974SC	HEB74_11	7411		Nee	Ja	2	2	1	0	5
Loenhout 1974SC	HEB74_12	7412		Nee	Ja	2	2	1	0	5
Loenhout 1974	HEB74_13	7413		Nee	Ja	2	2	1	0	5
Loenhout 1974SC	HEB74_15	7415		Nee	Ja	2	2	1	0	5
Loenhout 1974	HEB74_16	7416		Nee	Ja	2	2	1	0	5
Loenhout 1974SC	HEB74_18	7418		Nee	Ja	2	2	1	0	5
Loenhout 1974SC	HEB74_19	7419		Nee	Ja	2	2	1	0	5
Loenhout 1974SC	HEB74_01A	741		Nee	Ja	2	2	1	0	5
Loenhout 1978	HEB78_01	7801		Nee	Ja	2	2	1	0	5
Loenhout 1988	LNH88_01	L88-01		Nee	Ja	3	2	1	0	6
Loenhout 1988	LNH88_02	L88-02		Nee	Ja	3	2	1	0	6
Loenhout 1988	LNH88_03	L88-03		Nee	Ja	3	2	1	0	6
Loenhout 1988	LNH88_04	L88-04		Nee	Ja	3	2	1	0	6
Loenhout 1988	LNH88_05	L88-05		Nee	Ja	3	2	1	0	6
Loenhout 1988	LNH88_06	L88-06		Nee	Ja	3	2	1	0	6
Loenhout 1988	LNH88_07	L88-07		Nee	Ja	3	2	1	0	6
Loenhout 1988	LNH88_08	L88-08		Nee	Ja	3	2	1	0	6
Loenhout 1988	LNH88_09	L88-09		Nee	Ja	3	2	1	0	6
Loenhout 1995	LNH95_01	DZH95-01		Nee	Ja	3	0	1	0	4
Loenhout 1995	LNH95_02	DZH95-02		Nee	Ja	3	2	1	0	6
Loenhout 1995	LNH95_03	DZH95-03		Nee	Ja	3	2	1	0	6
Loenhout 1995	LNH95_04	DZH95-04		Nee	Ja	3	2	1	0	6
Loenhout 1995	LNH95_05	DZH95-05		Nee	Ja	3	2	1	0	6
Loenhout 1995	LNH95_06	DZH95-06		Nee	Ja	3	2	1	0	6
Loenhout 1995	LNH95_07	DZH95-07		Nee	Ja	3	2	1	0	6
Loenhout 1995	LNH95_08	DZH95-08		Nee	Ja	3	0	1	0	4
Loenhout 1995	LNH95_09	DZH95-09		Nee	Ja	3	2	1	0	6
Loenhout 1995	LNH95_10	DZH95-10		Nee	Ja	3	2	1	0	6
Loenhout 1995	LNH95_11	DZH95-11		Nee	Ja	3	2	1	0	6
Loenhout 1997	LNH97_02	DZH97-02		Nee	Ja	3	2	1	0	6
Loenhout 1997	LNH97_03	DZH97-03		Nee	Ja	3	2	1	0	6
Loenhout 1997	LNH97_04	DZH97-04		Nee	Ja	3	2	1	0	6
Loenhout 1997	LNH97_05	DZH97-05		Nee	Ja	3	2	1	0	6

Loenhout 1997	LNH97_06	DZH97-06		Nee	Ja	3	2	1	0	6
Loenhout 1997	LNH97_12	DZH97-12		Nee	Ja	3	2	1	0	6
Meeuwen-Bree 1982	MEB82_01	8201		Nee	Ja	0				0
Meeuwen-Bree 1982	MEB82_02	8202		Nee	Ja	0				0
Meeuwen-Bree 1982	MEB82_03	8203		Nee	Ja	0				0
Meeuwen-Bree 1982	MEB82_04	8204		Nee	Ja	0				0
Meeuwen-Bree 1982	MEB82_05	8205		Nee	Ja	0				0
Meeuwen-Bree 1982	MEB82_06	8206		Nee	Ja	0				0
Meeuwen-Bree 1982	MEB82_07	8207		Nee	Ja	0				0
Meeuwen-Bree 1982	MEB82_08	8208		Nee	Ja	0				0
Meeuwen-Bree 1982	MEB82_09	8209		Nee	Ja	0				0
Meeuwen-Bree 1982	MEB82_10	8210		Nee	Ja	0				0
Meeuwen-Hechtel 1987	MEH87_01	8701		Nee	Ja	2	0	0	1	3
Meeuwen-Hechtel 1987	MEH87_02	8702		Nee	Ja	2	0	0	1	3
Meeuwen-Hechtel 1987	MEH87_03	8703		Nee	Ja	2	0	0	1	3
Meeuwen-Hechtel 1987	MEH87_04	8704		Nee	Ja	2	0	0	1	3
Meeuwen-Hechtel 1987	MEH87_05	8705		Nee	Ja	2	0	0	1	3
Meeuwen-Hechtel 1987	MEH87_06	8706		Nee	Ja	2	0	0	1	3
Meeuwen-Hechtel 1987	MEH87_07	8707		Nee	Ja	2	0	0	1	3
Meeuwen-Hechtel 1987	MEH87_08	8708		Nee	Ja	2	0	0	1	3
Meeuwen-Hechtel 1987	MEH87_09	8709		Nee	Ja	2	0	0	1	3
Meeuwen-Hechtel 1987	MEH87_10	8710		Nee	Ja	2	0	0	1	3
Meeuwen-Hechtel 1987	MEH87_11	8711		Nee	Ja	0				0
Meeuwen-Hechtel 1987	MEH87_12	8712		Nee	Ja	0				0
Meeuwen-Hechtel 1987	MEH87_13	8713		Nee	Ja	0				0
Meeuwen-Hechtel 1987	MEH87_14	8714		Nee	Ja	0				0
Meeuwen-Hechtel 1987	MEH87_15	8715		Nee	Ja	2	0	0	1	3
Meeuwen-Hechtel 1987	MEH87_16	8716		Nee	Ja	0				0
Meeuwen-Hechtel 1987	MEH87_17	8717		Nee	Ja	0				0
Meeuwen-Hechtel 1987	MEH87_18	8718		Nee	Ja	0				0
Meeuwen-Hechtel 1987	MEH87_19	8719		Nee	Ja	0				0
Meeuwen-Hechtel 1987	MEH87_20	8720		Nee	Ja	0				0
Meeuwen-Hechtel 1987	MEH87_21	8721		Nee	Ja	0				0
Meeuwen-Hechtel 1987	MEH87_22	8722		Nee	Ja	2	0	0	1	3
Meeuwen-Hechtel 1987	MEH87_24	8724		Nee	Ja	0				0
Meeuwen-Hechtel 1987	MEH87_25	8725		Nee	Ja	0				0
Meeuwen-Hechtel 1987	MEH87_26	8726		Nee	Ja	0				0
Meeuwen-Hechtel 1987	MEH87_27	8727		Nee	Ja	0				0
Meeuwen-Hechtel 1987	MEH87_28	8728		Nee	Ja	0				0
Meeuwen-Hechtel 1987	MEH87_29	8729		Nee	Ja	0				0
Meeuwen-Hechtel 1987	MEH87_30	8730		Nee	Ja	0				0
Neeroeteren-Rotem 1980	NER80_01	8001		Ja	Ja	0				0
Neeroeteren-Rotem 1980	NER80_02	8002		Ja	Ja	0				0
Neeroeteren-Rotem 1980	NER80_03	8003		Ja	Ja	0				0
Neeroeteren-Rotem 1980	NER80_04	8004		Ja	Ja	0				0
Neeroeteren-Rotem 1980	NER80_05	8005		Ja	Ja	0				0

Neeroeteren-Rotem 1980	NER80_06	8006		Ja	Ja	0				0
Neeroeteren-Rotem 1980	NER80_07	8007		Ja	Ja	0				0
Neeroeteren-Rotem 1980	NER80_08	8008		Ja	Ja	0				0
Neeroeteren-Rotem 1980	NER80_09	8009		Ja	Ja	0				0
Neeroeteren-Rotem 1980	NER80_10	8010		Ja	Ja	0				0
Neeroeteren-Rotem 1980	NER80_11	8011		Ja	Ja	0				0
Neeroeteren-Rotem 1980	NER80_12	8012		Ja	Ja	0				0
Neeroeteren-Rotem 1980	NER80_13	8013		Ja	Ja	0				0
Olmen 1986	OLM86_01	8601		Nee	Ja	2	0	1	1	4
Olmen 1986	OLM86_02	8602		Nee	Ja	2	0	1	1	4
Olmen 1986	OLM86_03	8603		Nee	Ja	2	0	1	1	4
Olmen 1986	OLM86_04	8604		Nee	Ja	2	0	1	1	4
Olmen 1986	OLM86_05	8605		Nee	Ja	2	0	0	1	3
Olmen 1986	OLM86_06	8606		Nee	Ja	2	0	0	1	3
Olmen 1986	OLM86_07	8607		Nee	Ja	2	0	1	1	4
Olmen 1986	OLM86_08	8608		Nee	Ja	2	0	1	1	4
Olmen 1986	OLM86_09	8609		Nee	Ja	2	0	1	1	4
ONDRAF 1996	MOD96_01	96-ON-01		Nee	Ja	0				0
ONDRAF 1996	MOD96_02	96-ON-02		Nee	Ja	0				0
ONDRAF 1996	MOD96_03	96-ON-03		Nee	Ja	0				0
ONDRAF 1996	MOD96_04	96-ON-04		Nee	Ja	0				0
ONDRAF 1996	MOD96_05	96-ON-05		Nee	Ja	0				0
ONDRAF 1996	MOD96_06	96-ON-06		Nee	Ja	0				0
ONDRAF 1996	MOD96_07	96-ON-07		Nee	Ja	0				0
ONDRAF 1996	MOD96_08	96-ON-08		Nee	Ja	0				0
ONDRAF 1996	MOD96_09	96-ON-09		Nee	Ja	0				0
ONDRAF 1996	MOD96_10	96-ON-10		Nee	Ja	0				0
ONDRAF 1996	MOD96_11	96-ON-11		Nee	Ja	0				0
ONDRAF 1996	MOD96_12	96-ON-12		Nee	Ja	0				0
ONDRAF 1996	MOD96_14	96-ON-14		Nee	Ja	0				0
Oostmalle 1981	OST81_04	8104		Nee	Ja	3	2	1	1	7
Poederlee 2007	POD07_01	07POD01		Ja	Ja	2	2	1	0	5
Poederlee 2007	POD07_02	07POD02		Ja	Ja	2	2	1	0	5
Poederlee 2007	POD07_03	07POD03		Ja	Ja	2	2	1	0	5
Poederlee 2007	POD07_04	07POD04		Ja	Ja	2	0	1	0	3
Poederlee 2007	POD07_05	07POD05		Ja	Ja	2	0	1	0	3
Poederlee 2007	POD07_06	07POD06		Ja	Ja	2	2	1	0	5
Poederlee 2007	POD07_07	07POD07		Ja	Ja	2	2	1	0	5
Poederlee 2007	POD07_08	07POD08		Ja	Ja	2	2	1	0	5
Poederlee 2007	POD07_09	07POD09		Ja	Ja	2	0	1	0	3
Poederlee 2007	POD07_10	07POD10		Ja	Ja	2	0	1	0	3
Poppel-Lommel-Maaseik 1984	PLM84_10	8410		Nee	Ja	0				0
Poppel-Lommel-Maaseik 1984	PLM84_11	8411		Nee	Ja	0				0
Poppel-Lommel-Maaseik 1984	PLM84_12	8412		Nee	Ja	0				0
Poppel-Lommel-Maaseik 1984	PLM84_13N	8413N		Nee	Ja	0				0
Poppel-Lommel-Maaseik 1984	PLM84_13S	8413S		Nee	Ja	0				0

Poppel-Lommel-Maaseik 1984	PLM84_14	8414		Nee	Ja	0				0
Poppel-Lommel-Maaseik 1984	PLM84_15	8415		Nee	Ja	0				0
Poppel-Lommel-Maaseik 1984	PLM84_16	8416		Nee	Ja	0				0
Poppel-Lommel-Maaseik 1984	PLM84_17	8417		Nee	Ja	0				0
Poppel-Lommel-Maaseik 1984	PLM84_18	8418		Nee	Ja	0				0
Poppel-Lommel-Maaseik 1984	PLM84_19	8419		Nee	Ja	0				0
Rijkevorsel 1990	LNH90_01	9001		Nee	Ja	2	0	1	1	4
Rijkevorsel 1990	LNH90_02	9002		Nee	Ja	2	0	1	1	4
Rijkevorsel 1990	LNH90_06	9006		Nee	Ja	3	2	1	0	6
Rijkevorsel 1990	LNH90_07	9007		Nee	Ja	3	0	1	0	4
Rijkevorsel 1990	LNH90_08	9008		Nee	Ja	3	0	1	0	4
Rijkevorsel 1990	LNH90_09	9009		Nee	Ja	3	0	1	0	4
Rijkevorsel 1990	LNH90_11	9011		Nee	Ja	3	0	1	0	4
Rijkevorsel 1990	LNH90_12	9012		Nee	Ja	3	0	1	0	4
Rijkevorsel 1990	LNH90_14	9014		Nee	Ja	3	0	1	1	5
Rijkevorsel 1990	LNH90_15	9015		Nee	Ja	3	0	1	1	5
Rijkevorsel 1990	LNH90_16	9016		Nee	Ja	3	2	1	0	6
Rijkevorsel 1990	LNH90_17	9017		Nee	Ja	3	0	1	0	4
Rijkevorsel 1990	LNH90_19	9019		Nee	Ja	3	0	1	0	4
Rijkevorsel 1990	LNH90_20	9020		Ja	Ja	0				0
Rijkevorsel 1990	LNH90_21	9021		Ja	Ja	0				0
Rijkevorsel 1990	LNH90_22	9022		Ja	Ja	0				0
Rijkevorsel 1991	LNH91_03	9103		Nee	Ja	3	0	1	0	4
Rijkevorsel 1991	LNH91_04	9104		Nee	Ja	3	2	1	0	6
Rijkevorsel 1991	LNH91_05	9105		Nee	Ja	3	2	1	0	6
Rijkevorsel 1991	LNH91_07	9107		Nee	Ja	3	2	1	0	6
Rijkevorsel 1991	LNH91_08	9108		Nee	Ja	3	2	1	0	6
Rijkevorsel 1991	LNH91_14	9114		Nee	Ja	3	0	1	1	5
VITOLIM 2007	LIM07_01	07HBM-01		Ja	Ja	2	0	0	1	3
VITOLIM 2007	LIM07_02	07HBM-02		Ja	Ja	2	0	0	1	3
VITOLIM 2007	LIM07_03	07HBM-03		Ja	Ja	2	0	0	1	3
VITOLIM 2007	LIM07_04	07HBM-04		Ja	Ja	2	0	0	1	3
VITOLIM 2007	LIM07_05	07HBM-05		Ja	Ja	2	0	0	1	3
VITOLIM 2007	LIM07_06	07HBM-06		Ja	Ja	2	0	0	1	3
VITOLIM 2007	LIM07_07	07HBM-07		Ja	Ja	2	0	0	1	3
VITOLIM 2007	LIM07_08	07HBM-08		Ja	Ja	2	0	0	1	3
VITOLIM 2007	LIM07_09	07HBM-09		Ja	Ja	2	0	0	1	3
VITOLIM 2007	LIM07_10	07HBM-10		Ja	Ja	2	0	0	1	3
VITOLIM 2007	LIM07_11	07HBM-11		Ja	Ja	2	0	0	1	3
VITOLIM 2007	LIM07_12	07HBM-12		Ja	Ja	2	0	0	1	3
VITOLIM 2007	LIM07_13	07HBM-13		Ja	Ja	2	0	0	1	3
Zwartberg-Opplabbeek 1983	ZWA83_01	8301		Nee	Ja	0				0
Zwartberg-Opplabbeek 1983	ZWA83_02	8302		Nee	Ja	0				0
Zwartberg-Opplabbeek 1983	ZWA83_03	8303		Nee	Ja	0				0
Zwartberg-Opplabbeek 1983	ZWA83_04	8304		Nee	Ja	0				0
Zwartberg-Opplabbeek 1983	ZWA83_05	8305		Nee	Ja	0				0

Zwartberg-Opplabbeek 1983	ZWA83_06	8306		Nee	Ja	0				0
Zwartberg-Opplabbeek 1983	ZWA83_07	8307		Nee	Ja	0				0
Zwartberg-Opplabbeek 1983	ZWA83_08	8308		Nee	Ja	0				0
Zwartberg-Opplabbeek 1983	ZWA83_09	8309		Nee	Ja	0				0
Zwartberg-Opplabbeek 1983	ZWA83_10	8310		Nee	Ja	0				0
Zwartberg-Opplabbeek 1983	ZWA83_11	8311		Nee	Ja	0				0
Rijkevorsel 3D 1991	RKV91_3D			Nee	Ja	3	2	1	0	6
Beerse-Turnhout	BET15_01	2DBT15-01	x	Ja	Ja	3				
Mol-Herentals 2010	MOH10_01	2DMH10-01	x	Ja	Ja	3				
Mol-Herentals 2010	MOH10_02	2DMH10-02	x	Ja	Ja	3				
Mol-Herentals 2010	MOH10_03	2DMH10-03	x	Ja	Ja	3				
Mol-Herentals 2010	MOH10_04	2DMH10-04	x	Ja	Ja	3				
Oostmalle 1981	OST81_01	8101	x	Ja	Ja	3				
Oostmalle 1981	OST81_02	8102	x	Nee	Ja	3				
Oostmalle 1981	OST81_03	8103	x	Ja	Ja	3				
Oostmalle 1981	OST81_05	8105	x	Ja	Ja	3				
Oostmalle 1981	OST81_06	8106	x	Nee	Ja	3				
Oostmalle 1981	OST81_07	8107	x	Ja	Ja	3				
Oostmalle 1981	OST81_08	8108	x	Ja	Ja	3				
Oostmalle 1981	OST81_09	8109	x	Ja	Ja	3				
Oostmalle 1981	OST81_10	8110	x	Ja	Ja	3				
Oostmalle 1981	OST81_11	8111	x	Ja	Ja	3				
Oostmalle 1981	OST81_12	8112	x	Ja	Ja	3				
Oostmalle 1981	OST81_13	8113	x	Ja	Ja	3				
Rijkevorsel 1990	LNH90_03	9003	x	Ja	Ja	3				
Rijkevorsel 1990	LNH90_04	9004	x	Ja	Ja	3				
Rijkevorsel 1990	LNH90_05	9005	x	Ja	Ja	3				
Rijkevorsel 1990	LNH90_10	9010	x	Ja	Ja	3				
Rijkevorsel 1990	LNH90_13	9013	x	Ja	Ja	3				
Rijkevorsel 1990	LNH90_18	9018	x	Ja	Ja	3				
Rijkevorsel 1991	LNH91_01	9101	x	Ja	Ja	3				
Rijkevorsel 1991	LNH91_02	9102	x	Ja	Ja	3				
Rijkevorsel 1991	LNH91_06	9106	x	Ja	Ja	3				
Rijkevorsel 1991	LNH91_09	9109	x	Ja	Ja	3				
Rijkevorsel 1991	LNH91_10	9110	x	Ja	Ja	3				
Rijkevorsel 1991	LNH91_11	9111	x	Ja	Ja	3				
Rijkevorsel 1991	LNH91_12	9112	x	Ja	Ja	3				
Rijkevorsel 1991	LNH91_13	9113	x	Ja	Ja	3				
Noordwest Limburg 2020	NWL20_01		x	Ja	Ja	2				
Noordwest Limburg 2020	NWL20_02		x	Ja	Ja	2				
Noordwest Limburg 2020	NWL20_03		x	Ja	Ja	2				
Olmen-Herentals 3D 2020	OLH20_01		x	Ja	Ja	3				
Turnhout 3D 2020	TUR20_01		x	Ja	Ja	3				

**vision on technology
for a better world**

