

DE ELVENSCHANS TE MOELINGEN, EEN THERMALE BRON IN LIMBURG BEDREIGD? VERDUIDELIJKING VANUIT NIEUWE GEOLOGISCHE PROSPECTIES

2

De oorspronkelijk artesische natuurlijk overvloeiende fontein van de Elvenschans (Navagne) ligt op het grondgebied van de gemeente Voeren (kerkdorp Moelingen). De fontein diende voor de watervoorziening van het fort van Navagne, waarvan slechts restanten, verenigd tot een vierkanten hoeve "De Schans", zijn overgebleven. De fontein van de Elvenschans is uniek voor Vlaanderen en bevindt zich dan ook in een bijzondere positie. De put is gelegen bovenop het Laagterras van de Maas net boven de vloedwaterlijn. Het overvloeien van het putwater, zijn hoge temperatuur en mineralisatiegraad tonen duidelijk aan dat de vrije (freatische) grondwaterlaag niet verantwoordelijk is voor de wateraanvoer; diep convectief watertransport gebonden aan goed doorlatende (hoog-permeabele) migratiewegen in de afgesloten laag van de Onder Karboon kalkstenen ligt aan de grondslag van dit fenomeen. Dit water kan als natuurlijk thermaal - mineraal water bestempeld worden. Aangezien de kalksteen hier vrijwel tot aan de oppervlakte reikt en vermenging met oppervlaktewater een groot risico inhoudt, is waakzaamheid geboden om dit uitzonderlijke systeem te vrijwaren. Des te meer omdat meerdere verkenningsboringen, een diepe schacht en een tunnel onder de Maas in dezelfde laag gedolven worden voor de aanleg van een gasleiding, op minder dan 50 meter afstand van de historische fontein. Het eerste onderzoek wijst uit dat de unieke watercirculatie nochtans niet in het gedrang komt.

Michiel Duser
Belgische Geologische Dienst
Jennerstraat 13
1000 Brussel

J.E.J. Hogenhuis
De Schans
Schanstraat 1
3790 Moelingen

Dank zij het geologisch onderzoek van de Euregio dat in de tachtiger jaren werd doorgevoerd en o.a. leidde tot het Thermae 2000 project te Valkenburg (Bless *et al.*, 1986) kunnen geologische structuur en watertransportmechanismen verduidelijkt worden zodat een verklaring voor de thermische en minerale anomalie in het zicht komt. De sleutel wordt gevormd door de "Visé-Puth" diepe geologische structuur.

Probleemstelling

De Schans ligt op 200 meter van de rechter Maasoevers, op 100 meter van de Nederlandse grens, 2 km ten noorden van Visé (Figuur 2), maar ligt tevens in de weg van de *Interconnector*, een hoofdleiding in aanleg voor het ondergronds transport van aardgas tussen Zeebrugge en de Duitse grens. Maas en Albertkanaal worden ondertunneld. Deze werken worden uitgevoerd in de loop van 1997-98. Meest opvallend werk is een grote schacht met doormeter van 16 meter en diepte van 35 m, gelegen tussen De Schans en de

Figuur 1 : Kopergravure van het fort van Navagne (Elvenschans) met de historische fontein, gemaakt in opdracht van het Franse leger tijdens de Hollandse oorlog van Lodewijk XIV (1674). Auteur onbekend.



Foto 1 : Toegangsschacht voor de tunnel onder de Maas voor de gaspijpleiding, gelegen achter de Elvenschans op een afstand van 35 tot 50 meter van de waterput en de historische fontein.

Figuur 2 : Lokalisatiekaart met aanduiding als I van de Elvenschans te Moelingen, de boringen 's Gravenvoeren, Maastricht-Kastanjelaan (ten NW van het centrum) en Maastricht-Heugem (ten SE van het centrum). Schaal 1:100 000

grachten van het vroegere kasteel. Op de bodem van de schacht wordt op 20 meter diepte onder de Maas een tunnel gedolven voor de gaspijpleiding. Langs dit traject werden meerdere verkenningboringen uitgevoerd zowel in verticale als in horizontale richting. De vrees bestond dat deze werken nieuwe scheuren of permeabiliteitskanalen konden scheppen waarlangs drainering van het Onder Karboonwater zou kunnen plaatsgrijpen, oxidatie van de Onder Karboonlaag en vermenging met oppervlaktewater. Daarom werden herhaalde wateranalyses als kwaliteitscontrole uitgevoerd, gekoppeld aan een interpretatie van ondergrondse structuur en waterbeweging. Anderzijds verschaft het geologisch vooronderzoek gloednieuwe en waardevolle informatie over samenstelling en structuur van de ondergrond. Verhoopt mag worden dat deze studie kan bijdragen tot de bescherming van het thermaal water en tot valorisatie van deze natuurlijke rijkdom.

Historische betekenis

De Elvenschans ligt op de hoge rechter Maasoevers, ongeveer 1 meter boven de hoogste vloedlijn; het was gemakkelijk om van hieruit de vroeger intense scheepvaart op de Maas te controleren. De Maasvallei verandert er van karakter. Het steile doorbraakdal tussen de Onder Karboon kalksteenkliffen dat de Luikse Maas typeert eindigt bij Visé; de allerlaatste kalksteenrotsen

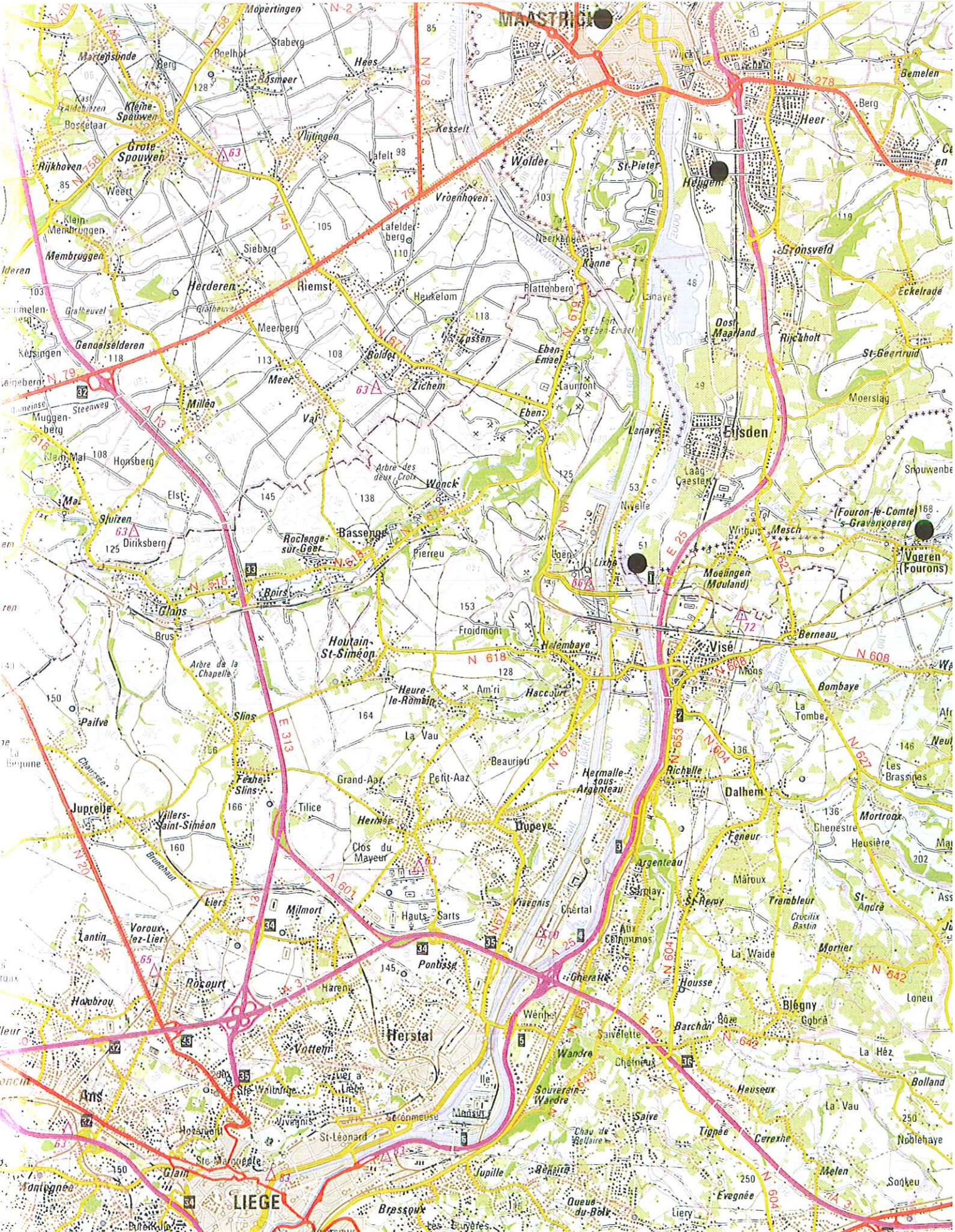
komen voor in de bedding van de Maas aan de voet van het terras waarop de Elvenschans is gevestigd. De vallei verbreedt in de richting van Nederlands Limburg, en de oosthelling, ditmaal op de Maastrichter Krijtrotten, verloopt zacht glooiend. De Elvenschans is de sleutel voor Luik en de poort tot Maastricht.

Deze uitermate strategische ligging werd in de loop der eeuwen duur bevochten (Knaepen, 1993). De Elvenschans hoorde toe aan het Graafschap Dalhem dat zich uitstrekte langs het dal van de Berwijn (vroeger Elven genaamd), op de demarcatielijn tussen het Dietssprekend gebied van Overmaas en de Waalssprekende kwartieren van het Prinsbisdom Luik. Het Graafschap Dalhem werd opgenomen in het Hertogdom Limburg, en werd zodoende achtereenvolgens de Brabantse, Bourgondische, Spaanse en Oostenrijkse speerpunt op de Maas, in de flank van het Prinsbisdom Luik. Hier werd vooral bitter gevochten in de 17e eeuw tijdens de godsdienstoorlogen en de veroveringstochten van Lodewijk XIV. In die tijd kwam aan de Elvenschans de oorlogsgrens tot stand tussen wat later Nederland en België zou worden. Ook zonder oorlog was dit geen geliefd punt bij handelaars, reizigers en vissers: er werd steeds tol geheven of regelrechte struikroverij beoefend.

De vroegste vermelding dateert van 1281 wanneer hier de mot van het geslacht van Naven (later beter bekend als van Elven, of in het Frans, de Navagne, heren van Moelingen) gevestigd was, in moerassig gebied tussen twee armen van de Berwijn aan diens monding in de Maas (de noordelijke arm is intussen gedempt). Vlak bij de burch lag de 'Vuilenborn' of 'Pourrie fontaine', die ook door dezelfde Dinantiaan waterlaag gevoed werd. Sinds de aanleg van de autosnelweg Luik-Maastricht en het kluwen nieuwe verbindingswegen is deze historische natuurlijke bron ergens onder het beton verdwenen.

In 1632 werd de primitieve vierkanten toren door de familie van Elven verbouwd tot een residentieel kasteel dat reeds in 1634 door de Spanjaarden onteigend werd en omgebouwd tot een bastion, bewaakt door een garnizoen van 400 soldaten, dit ter compensatie van het verlies van Maastricht aan Oranje. De naam Elvenschans of Navagne kwam in gebruik. Op het binnenhof lag een monumentale bron (Figuur 1). De ondergrondse structuur van deze fontein is tot heden behouden gebleven.

Het fort bleef een steunpunt van de Spanjaarden, en



werd nog versterkt in 1671 tijdens de Frans-Hollandse oorlog. Toch wordt het fort in 1674 veroverd en met de grond gelijk gemaakt door de legers van de Zonnekoning. In 1678 komt de ruïne terug in handen van de Spanjaarden die het tolhuis onmiddellijk herinrichten. Tijdens de Spaanse successieoorlog wordt nogmaals gestreden om het fort van Navagne. In 1702 wordt een Frans-Spaanse bezettingsmacht door de Hollanders verdreven.

In 1715 komen de zuidelijke Nederlanden in Oostenrijkse handen die het tolhuis en een kapel heroprichten. Een hoeve, Elvenhof of Duysenhoeve, naar de laatste landbouwersfamilie, kon zich opnieuw aan de oostzijde van het tolhuis vestigen. Dit complex van de Elvenschans werd nogmaals verwoest in 1914. Het Elvenhof werd in de periode 1977-1994 zorgvuldig heropgebouwd tot 'De Schans' door de huidige bewoners, de familie Hogenhuis, die er ook een nieuwe bestemming aan gegeven hebben.

Samenstelling ondergrond

De openvolging van grondlagen is zeer complex en variabel, maar bestaat in essentie uit twee pakketten: Kwartaire afzettingen van een tiental meter dikte, gevolgd door Onder Karboonafzettingen die honderden meters dikte bereiken. Het Onder Karboon bestaat normaliter uit kalksteen. De topzone kan echter over een diepte van 100 meter totaal verkiezeld of verweerd zijn ten gevolge van karstwerking en bodemvorming tijdens het Krijt.

Kwartair

De bodem bij de Elvenschans (hoogte ca. 53 m boven zeeniveau) draagt duidelijk de sporen van vroegere verdedigingswerken: puingrond kan een dikte van 3-4 meter bereiken. De normale bodemlaag bestaat uit verspoelde bruine leem met keitjes, tot 5 meter dik. De onderliggende grindlaag bereikt een dikte van 4-5 meter. Dit is het 'Laagterras' dat bestaat uit grind en grof zand, afgezet door de Maas op het einde van de laatste ijstijd (Weichseliaan, ca. 20.000 jaar geleden). Het wordt door de Kwartairgeologen beschreven als 'Oost Maarland-2' formatie (Felder, Bosch & Bisschops, 1989). De keien die als versiering en bescherming rondom De Schans zijn aangebracht verschaffen een goed beeld van de samenstelling van dit Maasgrind, dat vooral kwartsiet, kwartsofyllade en ader-

kwarts uit de Hoge Ardennen bevat, net zoals de grindafzettingen langs de Grensmaas en op het Kempisch Plateau.

De basis van de Kwartaire afzettingen wordt gevormd door een omzeggens plat vlak, gelegen op een hoogte van 44.25 tot 45.65 m boven zeeniveau. Dit betekent dat in de Maasbedding vrijwel geen Kwartair meer aanwezig is.

Krijt

De krijtrotsen van Lixhe-Hallembaye en bijbehorende cementfabrieken drukken hun stempel op het landschap gezien vanuit de Elvenschans. Nochtans zijn er op de site van de Elvenschans geen krijtlagen meer aanwezig; alles is bij de insnijding van de Maas verdwenen. In de Maasbedding tegenover de Elvenschans komen desondanks onder het basisvlak van het Kwartair inzakkingsholtes voor, gevuld met wit, volkomen verkruimeld en niet te dateren krijt. Op de linker Maasoever komt in noordelijke richting, tussen het Kwartairdek en de Onder Karboongesteenten, groene zandige mergel en kolig zand vol onherkenbare plantenresten voor in meterdikke laagjes, respectievelijk geïnterpreteerd als de basis van de Formatie van Vaals en een lokaal lid van de Formatie van Aachen. Deze Krijt basislaag werd afgezet als een modderstroom van herwerkte gesteenten, inclusief kolige bestanddelen, uit het onderliggende Onder Karboon (Bless *et al.*, 1986).

Onder Karboon

Het pre-Kwartair substraat bestaat lokaal uit Onder Karboon kalkstenen, meer speciaal Viséaan kalksteenformaties, met de volgende afzettingskarakteristieken:

- donkergrijze fijnkorrelige, fíngelamineerde siltige kalkstenen (wackestone) met sporadisch chertbandjes,
- intercalaties op centimeterschaal van bleekgrijze kalkstenen rijk aan fossielgruis (bioklastische packstone), soms met breccie-achtige textuur,
- dungebankte donkere bitumineuze wackestone, zwarte kolige verkiezelde wackestone en kiezelshalie, die als jongst gekende Karboongesteenten onder de Elvenschans voorkomen.

Als afzettingsmilieu geldt een relatief diep, verzakkend zeebekken, met hellende, zuurstofarme bodem, duidelijk onder de golfbasis. Het sediment wordt door stormen aangevoerd vanuit de ondiepe, beter doorluchte

en doorwoelde randzee, en in het diepere bekken helingafwaarts getransporteerd door 'turbiditeitsstromen' (Poty, 1982). Tussen transport en sedimentatie gebeurt een scheiding volgens gewicht of granulometrie. Het grover fossielgruis en verkitte brokken van vroegere afzettingen zinken sneller uit de turbiditeitsstroom en worden in de weke bodem ingedrukt, vandaar de onregelmatige breccie-achtige texturen. Het fijnere kalkslib en het organisch materiaal bezinken langzaam in fijngelamineerde pakketjes. Zakking van dit zeebekken en sedimentaanvoer houden lange tijd gelijke trend zodat uiteindelijk een heel dik sedimentpakket kan ontstaan. In de boring 's Gravenvoeren bereikt dit pakket een dikte van 600 meter. Tussen Lixhe en Moelingen wordt een pakket van vergelijkbare dikte doorsneden. Elders zijn dergelijke lagen niet bekend; de turbidieten zijn typisch voor het 'Visé-Puth bekken'.

Paleokarst en paleosols, verwerking van het Onder Karboon

De kalkstenen werden meermaals blootgesteld aan meteorische watercirculatie, met oplossing en verkiezeling tot gevolg: kort na de afzetting tijdens de zee-regressie aan de basis van het Namuriaan, op het einde van het Paleozoïcum na de variseïsche opheffing en erosie van de afdekkende lagen van Boven Karboon ouderdom, van Boven Jura tot Boven Krijt na de kimmerische opheffing.

Door oplossing van de kalksteen ontstond een paleokarst, gekenmerkt door grote dolines (decameterschaal), gevuld met onoplosbare residu's, en door open spleten. Zo werden in het kalksteenpakket permeabiliteitskanalen geschapen voor transport van kiezelzuren die uitgeloozd werden uit de oplossingsresidu's en uit de Namuriaanschalies, onder invloed van de humuszuren afkomstig van het organisch materiaal dat lokaal in deze lagen overvloedig aanwezig is. Dit leidde tot een stapsgewijze verkiezeling van de bovenkant van de kalksteen. Deze is volledig rond dolines en karstspleten, en neemt stelselmatig af naarmate ook de permeabiliteit afneemt in de massieve kalksteen. Bij totale verkiezeling ontstaat uit de kalksteen een siliciet die zowel een massieve, chertachtige als een poreuze, sponsachtige textuur kan bezitten.

De fijnkorrelige, oorspronkelijk silthoudende en cherthoudende matrix van de kalksteen is steeds meer verkiezeld dan de bioklastische lagen: passages van 0 tot 100% verkiezeling kunnen dan ook abrupt of op



Foto 2 : Boorkern in schacht C, gelegen op de linkermaasoever te Lixhe (diepte 6.20-8.90 m) met van boven naar onder (in de kernkist van linksboven naar rechtsonder) een grote kei uit het Maasgrind, vervolgens wit uitslaande mergelige klei en donkerbruine zandige klei vol ingekoold fijn plantenhaksel, behorend tot de Formatie van Aachen (basislagen van het Krijt). De klei is goed herkenbaar aan de krimp-scheuren die door uitdroging zijn ontstaan. Onder het houten tussenschotje komt massieve bleekgrijze siliciet voor, naar onder toe vertikaal gespleten, met een roestfilm op het splijtvlak, achtergelaten door insijpelend water. De siliciet is ontstaan door secundaire verkiezeling van de fossiele bodem ('paleosol') die zich tijdens het Krijt op de Karboongesteenten heeft ontwikkeld, en die door zijn grote hardheid de onderliggende zachte paleosolgesteenten tegen erosie heeft beschermd. Onderaan de boorkern wordt het gesteente zachter en brokkelig, getuige van de overgang naar de meer verkrumelde paleosol.



Foto 3 : Boorkern uit de horizontaalboring volgens het traject van de tunnel onder het Albertkanaal, uitgevoerd vanuit schacht A, gelegen op de linkeroever van het Albertkanaal te Loën (afstand vanuit schacht 155-175 m, van rechtsboven naar linksonder in de kernkisten). Voorbeeld van zonering in de paleosol en contact met het kalksteenmoedergesteente. De kern vangt aan in witte gekaoliniseerde, aardeachtig verkrumelde siliciet, getuige van een extreme uitloging in

de tropische bodem die tijdens het Krijt gevormd werd. Abrupte overgang naar gitzwarte tot zand verkrumelde siliciet, afgewisseld met donkergrijze meer compact gebleven siliciet, getuige van een oorspronkelijk dieper gelegen reductiezone, aangerijkt in koolstof. Uiterst links opnieuw een snelle overgang naar gebroken, aanvankelijk nog sterk verkiezelde kalksteen, doortrokken door enkele witte calcietaders.



Foto 4 : Boorkern in schacht D, gelegen op de rechtermaasoever langs de Elvenschans te Moelingen (diepte 8-12 m) met van boven naar onder (in de kernkist van linksboven naar rechtsonder) de overgang van dofzwarte sterk gebroken en verkrumelde siliciet (onderste aangerijkte zone van de paleosol) naar donkergrijze kiezelrijke kalksteen en vervolgens massieve bleekgrijze kalksteen, doortrokken door een verticale witte calcietader.

decimeterschaal optreden. De in calcietkristallen omgezette bioklasten leenden zich minder tot verkiezeling, maar werden tijdens latere verweringsfasen toch uitgelopen. Het resultaat is een pokdalig uitzien-de siliciet met gaatjes waar voorheen de bioklasten zaten. Oplossing en verkiezeling hebben elkaar dus voortdurend vergezeld of afgewisseld (Gökdağ, 1982). Bij vroegere boringen en ontsluitingen werden de silicieten nogal eens als Boven Karboon of Devoonschief-ers omschreven, nimmer een verkeerde geologische interpretatie.

Tijdens de lange continentale fase gedurende het Krijt werd in een warm-vochtig klimaat een laterietische bodem ontwikkeld die 100 meter diep kon reiken (Bless *et al.*, 1981). Door verdere uitloging en transformatie van kleimineralen, van illiet (residuëel gevormd in de paleokarst) naar kaolinit (door neokristallisatie in tropische latosol), gaan de silicieten verkleunen en het oorspronkelijke korrelskelet van de kalksteen verdichten. Dit was bij voorafgaande in-situ verkiezeling doorgaans intact gebleven. Het gevolg hiervan is dat de permeabiliteit drastisch afneemt zodat een gescheiden waterhuishouding kan ontstaan tussen het bovenliggende Maasterras en het Onder Karboon complex.

De paleosol bestaat uit twee duidelijk onderscheiden zones, met dikte op decimeterschaal: van boven een gebleekte laag waarin enkel fijn kwartszand, verdicht door kaolinit voorkomt (porseleinaarde); van onder een zwarte laag van fijn zand met illiet, aangerijkt met kolig materiaal (zwarte aluinaarde of kiezelgoer) - (Thorez, 1987). Bij vroegere boringen en ontsluitingen werd dit laatste pakket stevast als 'silt houiller' (Steenkoolterrein) omschreven. Het niet herkennen van de fossiele bodemvorming in Onder Karboonlagen leidde dus eveneens tot een verkeerde geologische interpretatie en foutieve kaarten.

Variaties in paleokarst diepte, latere tektonische bewegingen en erosie hebben tot gevolg dat zowel de mas-sieve kalksteen als de witte porseleinaarde of de zwarte aluinaarde op een ogenschijnlijk willekeurige wijze naast elkaar onder het Kwartairdek voorkomen, even-tueel aan de dag kunnen treden. Onder de Elven-schans piekt de kalksteen; meestal komt de zwarte aluinaarde voor, alhoewel vooral naar het noorden de witte porseleinaarde beter bewaard is gebleven. De

denivellatie van de kalksteentop bedraagt minimum 20 meter tussen de Elvenschans en de naburige bed-ding van Maas en Berwijn (Figuur 3). Vermeldens-waard is dat de witte kaolinit uit de paleosols als grondstof diende voor de productie van stenen pijpen. De belangrijkste winning lag te Berneau bij de plaats 'aux trixhes'. Ook de soldaten van de Elvenschans had-den een klein pijpfabriekje.

Geologische structuur

De Karboonlagen waren tijdelijk zichtbaar bij de uit-graving van de schacht en in de tunnelmond. Zij hel-len gemiddeld 35° naar het oosten met strekking NNE-SSW. In alle gekernde verkenningboringen, van Lixhe tot de Elvenschans, werden vergelijkbare hellingen teruggevonden, zonder dat daarom de oriëntatie dezelfde hoeft te zijn, doch dit is wel waarschijnlijk. Ten zuiden van Visé hellen diezelfde lagen 5 à 10° noord en in de geologische verkenningboring van 's Gravenvoeren 30 tot 60° westnoordwest. Te samen vormt deze structuur de zuidelijke uitloper van de zakkingszone van Visé-Puth (Figuur 4). De structuur van Visé-Puth werd eerst beschreven door Bless *et al.* (1976) en duidelijker bepaald na uitvoering van de mineraalwater-boringen van Maastricht (Bless *et al.*, 1981). Geografisch ligt deze structuur ten oosten van het Brabant Massief, tussen Grensbreuk en anticlinale opwelling van Puth enerzijds en Antiklinal-Oranje breuk en Waubach anticline anderzijds. Naar het noor-den toe verdwijnt de structuur in het Steenkoolter-rein, naar het zuiden wordt de structuur langs anti-thetische breuken volgens E-W tot WNW-ESE richting beëindigd met het kalksteenmassief van Visé en de richel van Booze-le Val Dieu (Poty, 1991).

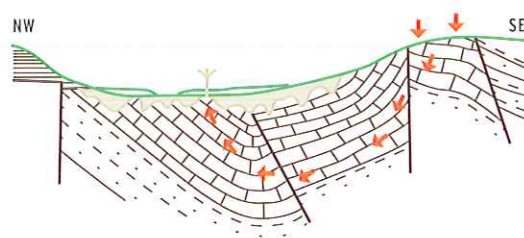
De structuur van Visé-Puth vormde een zakkingszone gekenmerkt door grote sedimentdiktes tijdens het Devoon-Karboon, maar werd des te meer omhoogge-drukt en geërodeerd tijdens de Variscische (eind Kar-boon) bergvorming, waardoor de schijn van een anti-clinale opwelling gewekt wordt. Een nieuwe Kimmeri-sche opheffing (midden Jura) veranderde weinig aan de bestaande configuratie, maar zorgde wel voor ope-ning van een netwerk van diepe spleten en het aan-brengen van erts. De Kimmerische breuken zijn NNW-SSE to NW-SE georiënteerd. Deze opheffing werd niet onmiddellijk door erosie ongedaan gemaakt,

getuige daarvan de actieve diepe karst die nog tijdens het Boven Krijt bestond (Batten *et al.*, 1987). De preservatie van de fossiele bodem op de verkiezelde Onder Karboon formaties is een bijkomend bewijs dat geen diepgaande erosie heeft plaatsgegrepen gedurende de lange continentale fase tijdens het Krijt voor de afzetting van de mariene formaties van het Boven Krijt. Ook op de hoogste schiervlakten van de Ardennen en op de as van het Massief van Brabant zijn dergelijke fossiele bodems bewaard gebleven, als getuigen van een rustige transgressie van de Krijtzee (Dupuis *et al.*, 1997).

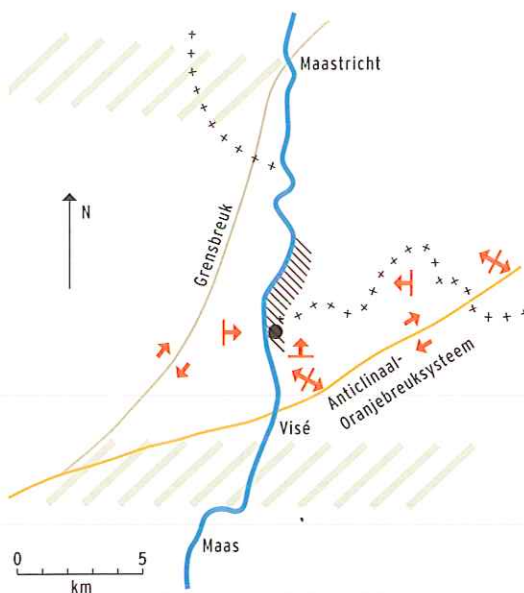
Het ontstaan van de structuur van Visé-Puth is gebonden aan de ombuiging en opsplitsing van de zuidelijke Grensbreuk (Faille bordière) van het Massief van Brabant (Legrand, 1968). Langs deze belangrijkste breuk van de Belgische ondergrond is een rechts-laterale verschuiving opgetreden tussen Massief van Brabant (dat relatief naar het oosten opschuift) en de varisci-sche bekkens van Namen/Dinant (die relatief naar het westen opgeschoven). Ten oosten van het Massief van Brabant gaat de Grensbreuk opsplitsen, in een zogenaamde paardenstaartsplitsing. Grensbreuk sensu stricto en Anticlinaal-Oranje breuken zijn er de NNE-SSW tot NE-SW gerichte afsplitsingen van. Langs al deze 'transpressiebreuken' zijn de Devoon-Karboonlagen opgeperst en scheefgesteld, vandaar de antici-nalassen van Puth en Waubach (cf. Sax, 1946). Ertus-senin, en dan vooral in de luwte van breuk-ombuigings-zones, rekte de aardkorst en konden dikke sediment-pakketten worden afgezet.

In vergelijking met bestaande geologische kaarten kan dus gepreciseerd worden dat:

- het Paleozoïcum dat in de Maasvallei dagzooit geen Boven Karboon maar Onder Karboon is, behorend tot een nog te definiëren formatie van turbidietische kalkstenen. De verwarring is veroorzaakt door de zwarte kolige zandige verweringsbodems die op de verkiezelde kalkstenen tot stand gekomen zijn en verkeerd geïnterpreteerd werden;
- onder Moelingen om dezelfde redenen vermoedelijk geen Devoon maar ook Onder Karboon dagzooit (vs. Felder, Bosch & Bisschops, 1984);
- de Grensbreuk ten westen van Lixhe ligt, tussen de boringen van Heugem en Kastanjelaan volgens de richting van de Jeker onder Maastricht passeert en aansluit op de antici-nale structuur van Puth,



Figuur 3 : Schematische SE-NW doorsnede doorheen de Onder Karboon lagen van de Berwijn langs de noordrand van de Booze - le Val Dieu richel tot aan de Grensbreuk met het Massief van Brabant onder de rand van het Haspengouws plateau



Figuur 4 : Structurele schets van het zuiddeel van het Visé-Puth bekken in het Belgisch Nederlands grensgebied, tussen 2 transversaalbreuken, de Grensbreuk in het westen en het Anticlinaal-Oranjebreuksysteem in het oosten. De Devoon-Karboon zakkingszone van Visé-Puth valt samen met een gravimetrisch minimum (aangegeven door - teken) - (Bless, 1982). De thermale bronnenzone van Moelingen - Eysden, aangeduid door de fijne arcering, verloopt parallel aan de Grensbreuk. Ten westen van de Grensbreuk ligt het Massief van Brabant. De vroeg-paleozoïsche as van het Massief van Brabant, overeenkomend met een positieve magnetische anomalie, is aangegeven door de brede arcering. De voortzetting van deze magnetische anomalie lijkt samen te vallen met de laat-paleozoïsche richel van Booze - le Val Dieu (● = Elvenschans; pijlen geven de relatieve bewegingszin of de afhelling der lagen aan)

gekend in het Steenkoolterrein. Het Devoon en Onder Karboon van de boring Kastanjelaan te Maastricht is afgezet in kleine slenken die zich vanop het Massief van Brabant oostwaarts insnijden (Dusar & Langenaeker, 1992);

- de zuidwestelijke voortzetting van het Anticlinaal-Oranje breuksysteem doorheen de opwelling van Berneau-Mons loopt en oostelijk van de boring 's Gravenvoeren ligt;
- de Booze-le Val Dieu richel de zuidwaarts verschoven oostelijke voortzetting van de antici-nale as van het Massief van Brabant vormt.

Hydrogeologie

Op de Elvenschans komen 2 gescheiden waterlagen voor:

- de vrije grondwaterlaag als freatische waterlaag in de Kwartairgesteenten, rechtstreeks gevoed door de

- plaatselijke neerslag doorheen bodem en Maasgrind;
- de afgesloten laag van het Onder Karboon als spanningslaag, vermoedelijk gevoed in de ontsluitingszone van Devoon-Karboongesteenten ca. 5 km zuidwaarts.

Beide waterlagen worden gekenmerkt door een eigen chemisme en stijghoogte.

De freatische grondwaterspiegel staat in evenwicht met het peil van de Maas. Onder de Elvenschans, op het interfluvium tussen Maas en Berwinne, stijgt het peil over een afstand van 300 meter met 2 meter t.o.v. het peil van de Maas, maar ligt nog steeds zo'n 6 meter onder de landoppervlakte. Dit betekent dat de freatische waterlaag door eigen neerslag wordt gevoed en afwatert naar de Maas. De dikte van de freatische waterlaag blijft beperkt tot de basis van het Kwartair. Vandaar ook dat waterputten naar de diepere grondwaterlaag gaan.

Het waterpeil in de onderliggende Onder Karboon-kalksteen ligt stelselmatig enkele meters boven het freatisch grondwaterpeil. In boorgaten uitgevoerd voor de Interconnector reikt het peil tot in het Kwartair, is nog zuiver artesisch ter hoogte van de Maas maar niet meer in de Elvenschans. Het is dus spanningswater, langs boven afgeschermd door een ondoorlatende laag. Het verdwijnen van het artesisch karakter ter hoogte van de Elvenschans is opgetreden voor de uitvoering van de boorwerkzaamheden voor de Interconnector. Het valt wel samen met de ingebruikname van een nieuwe waterput. Anderzijds blijkt het peil bij de Elvenschans niet wezenlijk af te wijken van metingen elders verricht in verkenningsboringen voor de Interconnector. Het kan dus gaan om een algemene verlaging van het piëzometrisch vlak, zonder dat hiervoor een afdoende reden kan opgegeven worden.

Communicatie tussen beide waterlagen wordt verhinderd door een dichte kleilaag aan de basis van het Kwartair en door de fossiele bodem met kaolinisatie in de top van het Onder Karboon gedurende het Krijt. Het is enkel de afgesloten waterlaag die als thermala-mineraal water beschouwd kan worden, en die zowel in een historische fontein, een productieve waterput en een tijdelijk boorgat bemonsterd kon worden.

Putkarakteristieken

De historische fontein ligt op enkele meters van de noordwesthoek van het historische complex 'De

Schans' te Moelingen (Lambert coördinaten X 242.964, Y 161.490; Z 53 m). Hij is momenteel buiten gebruik en afgesloten met een metalen deksel. De vierkant gemetselde put met een doormeter van 1 meter gaat op enkele meters diepte over in een rondgemetselde put die reikt tot in de rots op een vermoedelijke diepte van 8-9 meter. Alhoewel de put opgevuld is met afbraakpuin tot een diepte van 3 meter welke tot voor enkele jaren voldoende water op om met een debiet van enkele tientallen liters per minuut over te vloeien. Het overvloeiende water had bij winterweer nog een minimumtemperatuur van 13°C, terwijl op 3 meter diepte in de put reeds een temperatuur van 18°C bereikt werd (meting 1987). Vermits de gemiddelde jaartemperatuur er 10°C bedraagt mag men zeker van thermaal water gewagen.

Sinds enkele jaren is het waterpeil echter gedaald tot 2 meter onder de putrand; vooral in 1995 is het peil sterk gedaald. Deze daling is ingetreden wanneer De Schans opnieuw permanent werd bewoond en een nieuwe waterput voor de watervoorziening instond.

Op 15 m afstand van de historische fontein, aan de achterzijde van het complex, ligt een meer recente waterput die in 1986 verdiept werd van 9 tot 37 meter, degelijk afgeschermd tegen verontreiniging en voorzien van pomp en filter voor wateronttrekking op een diepte van 28 m (Lambert coördinaten X 242.968, Y 161.476; Z 53 m; GeoDoc nummer 108W360). Deze waterput was eveneens artesisch en erg productief, met een overvloeiend debiet van 60 m³/h. Thermale eigenschappen konden hier niet worden vastgesteld. Momenteel levert deze put al het water voor De Schans.

Ter vergelijking werd ook water bemonsterd dat uit een horizontaal boorgat in dezelfde watervoerende laag toestroomde. Deze horizontaalboring werd uitgevoerd in november 1997 op de bodem van de schacht, zo'n 30 meter onder de oppervlakte en ligt parallel aan de tunnel voor de gaspijpleiding (Lambert coördinaten X 242.975, Y 161.425; Z 20 m; GeoDoc nummer 108W409). Op het ogenblik van de bemonstering was de boring 65 meter gevorderd in de richting van de Maas; het terrein bestaat er uit donkere silicieten. De relatieve wateroverdruk, ten gevolge van het droogleggen van de schacht, leidde ertoe dat bij wegvallen van de boordruk, bijvoorbeeld bij het ophalen van een kernbuis, het spanningswater toestroomde met een

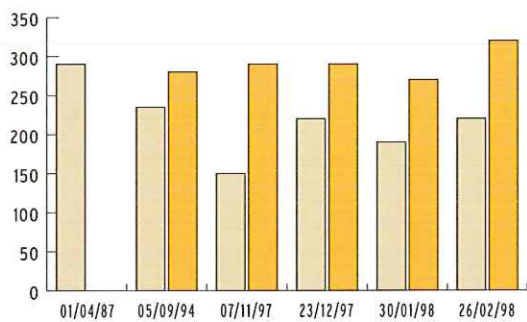
debiet tot 100 m³/h. Het toestromende water voerde grote hoeveelheden zand en organisch materiaal aan dat zich in de verweringszone bovenop de frisse kalksteen bevindt. Het water was dan ook zwart gekleurd, maar her kreeg zijn helderheid na decantatie.

Mineraal water

Wateranalyses

Watermonsters uit de historische fontein, de actuele waterput en uit de horizontaalboring uitgevoerd op 25 meter diepte in de werkschacht naast De Schans werden op verschillende tijdstippen genomen en geanalyseerd door het Centraal Laboratorium van het Ministerie van Economische Zaken (analyses 1987, 1994) en door SGS-Ecocare Analytical Services (analyses 1997)-(Tabel 1). De overeenkomsten tussen al deze waters zijn opvallend en uniek voor Vlaanderen, zeker in vergelijking met de gebruikelijke grondwatersamenstelling.

Het meest in het oog springend is het hoge zoutgehalte. De natrium en chloor concentraties lopen op tot ongeveer een halve gram per liter, 10 tot 20 maal hoger dan in de meeste drinkwaters en net boven de norm voor leidingwaters, maar vergelijkbaar met sommige befaamde Duitse of Franse mineraalwatermerken. De elektrische geleidbaarheid volgt het zoutgehalte (tot 1700 iS/cm vs. 550 iS/cm voor normaal leidingwater met een vergelijkbare hardheid). De kalkrijke omgeving draagt eveneens bij tot de alkaliniteit (bicarbonaatconcentratie) en een vrij hoog maar niet opvallend gehalte aan calcium en magnesium ionen.



Figuur 5 : Chloridengehalte in de historische fontein (linkerkolom) en de nieuwe waterput (rechterkolom) tijdens opeenvolgende wateranalyses. Beide waterbronnen vertonen een verschillend gedrag. Het hoge zoutgehalte in de historische fontein van 1987 is nadien duidelijk teruggelopen en aan schommelingen onderhevig. De verklaring is eenvoudig: in 1987 kende de fontein nog een artesisch regime en was natuurlijk overvloedig. Het water werd voortdurend ververst en aangevuld door opwellend diep grondwater. Nadien is het waterpeil gedaald zodat stagnerend water in de put achterbleef zodat vermenging met kleine hoeveelheden insijpelend regenwater of verdamping inperiodes van droogte sterke variaties in het zoutgehalte met zich mee brengen. De watersamenstelling van de recent geboorde waterput is daarentegen constant gebleven, en het chloridengehalte ligt bijvoorbeeld op hetzelfde peil als in de artesische fontein. Het dagelijks waterverbruik heeft immers hetzelfde gevolg: conductief watertransport door de open spleetsystemen in de kalksteen zorgt voor een snelle aanvoer van spanningswater uit de diepere ondergrond.

De concentratie aan zware metalen (arseen, cadmium, chroom, koper, lood, nikkel, zink) valt ondanks de verering van de verkieselde lagen nog binnen de drinkwaternormen.

De subtiele verschillen in zoutgehalte kunnen gemakkelijk verklaard worden (Figuur 5). De historische fontein heeft nu het laagste zoutgehalte, met dalende tendens. De waterput bezit de hoogste waarde en is t.o.v. 1994 nog verder gestegen. Dit komt door de stijgende waterproductie in die periode: water wordt actief aange trokken en zal uit steeds diepere waterlagen aangevoerd worden, waardoor mineralisatiegraad en zoutgehalte gestegen zijn. Deze stijgende tendens zal het sterkst zijn bij ingebruikname van de waterwinning en zal nadien afzwakken: bij gelijkblijvende debieten wordt een verdere stijging van het zoutgehalte niet meer verwacht.

De actieve wateronttrekking heeft lokaal de druk op deze spanningslaag verminderd, waardoor ook de historische fontein niet meer overvloedig is en het

Tabel 1 : Wateranalyses op verschillende waterbronnen en tijdreeksen van de Elvenschans (maasgrind uit Nys & Liégeois, 1936)

	eenheid	fontein	fontein	fontein	fontein	fontein	fontein	waterput	waterput	waterput	waterput	waterput	boring	schacht	grind
	datum	01/04/87	05/09/94	07/11/97	23/12/97	30/01/98	26/02/98	05/09/94	07/11/97	23/12/97	30/01/98	26/02/98	21/11/97	26/02/98	23/01/32
pH	bij 20°C	7,39	7,36	7,3	7,4	7,4	7,5	7,34	7,5	7,3	7,4	7,4	7,1	7,3	-
geleidbaarheid	µS/cm	1400	1435	1100	1300	1400	1500	1593	1600	1700	1700	1600	1300	1500	-
nitraten	mg/l NO3	-	1,613	<0,5	<0,5	1	<0,5	1,082	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	sporen
sulfaten	mg/l SO4	42	46	39	48	72	46	50	52	51	83	52	48	57	63
bicarbonaten	mg/l HCO3-	401	401	168	402	415	390	402	203	415	415	403	200	378	-
chloor	mg/l Cl	296	236	150	220	190	220	285	290	290	270	320	180	260	92
natrium	mg/l Na	193	155	130	150	190	140	184	230	200	230	200	150	170	-
kalium	mg/l K	9,4	9,13	11	9,3	11	7,7	8,7	12	11	12	9,9	9,8	18	-
Calcium	mg/l Ca	103	101	100	100	120	92	101	110	100	120	97	110	120	105
Magnesium	mg/l Mg	23,4	21,84	21	23	27	19	22,55	26	23	27	21	25	26	12
Ijzer	mg/l Fe	0,01	0,205	0,012	0,09	0,026	0,063	0,551	0,048	0,058	0,067	0,037	<0,01	15	-

Foto 5 : Boorkern uit de horizontaalboring volgens het traject van de tunnel onder de Maas, uitgevoerd vanuit schacht D langs de Elvenschans te Moelingen (afstand vanuit schacht 2-8 m, van rechtsboven naar linksonder in de kernkisten). Contrast tussen donkere kleirijke kalksteen met regelmatige gelaagdheid (aangegeven door de spijitvlakken volgens helling 60°) rechts in beeld, grijze siltige bioklastische kalksteen, sterk dooraderd en gebroken, midden in beeld met pyrietmineralisatie, aangegeven door gele glans op breukvlakken, en ten slotte massieve grijze goedklevende licht verkiezelde kalksteen en zwarte verbrokkelde sterk uitgeloopte totaal verkiezelde kalksteen, links in beeld.



Foto 6 : Boorkern uit de horizontaalboring volgens het traject van de tunnel onder het Albertkanaal, uitgevoerd vanuit schacht B, gelegen op de rechteroever van het Albertkanaal te Lixhe (afstand vanuit schacht ca. 75 m). Voorbeelden van fijn gelamineerde kalksteen, getuige van een ritmische afzetting van turbidieten (distale onderzeese modderstromen, waarbij het grovere, bleekgekleurde materiaal eerst bezinkt en het fijnere, donkergekleurde materiaal later decanteert); heterogene bioklastrijke kalksteen met brede

calcietaders (afzetting uit een proximale modderstroom); donkergrijze chertlens, een lokale verkiezeling in fijnbioklastische kalksteen, gekenmerkt door een netwerk van fijne calcietaders die niet doorlopen in de omgevende kalksteen (de chert gaat bij latere vervorming van het gesteente sterker barsten dan de omgevende kalksteen, waarna de barsten geheeld worden door een calcietmineralisatie).

water in de put is gaan stagneren. Daardoor is zelfs een kleine vermenging met regen- of bodemwater voldoende om het zoutgehalte te verdunnen, en kunnen opeenvolgende bemonsteringen mengwaters van verschillende samenstelling opleveren. Het water uit de horizontaalboring is door verticale drainering ontrokken uit een waterverzadigde laag, zonder verse aanvoer uit de diepte en met een beperkte ionenuitwisseling met de freatische grondwaterlaag in het bovenliggend grind. Hierdoor vertoont de analyse een intermediair resultaat.

Het freatisch water uit de grindlagen van het Laagterras werd in 1932 geanalyseerd (Nys & Liégeois, 1936; Tabel 1). Dit water blijft hard door de aanwezigheid van detritische kalkdeeltjes. Het chloridengehalte is reeds verhoogd t.o.v. andere toenmalige bemonsteringspunten (Berwijndal Moelingen 20 mg/l, Eysden dorpsbron 25 mg/l). Kwel van zoutrijk water uit de Karboonkalksteen in de overdekkende grindlagen kan vroeger opgemerkt zijn en heeft allicht aanleiding gegeven tot aanleg van de fontein van de Elvenschans, mogelijk zelfs van de burecht.

Radon

Het isotoop *radon 222* is een desintegratieproduct van *uranium 238* dat vanuit uraniumhoudende fosfatische mineralen aanwezig in gesteenten, door spleten in de ondergrond samen met het grondwater tot aan de oppervlakte kan migreren. Het is de voornaamste bron voor natuurlijke radioactieve straling. Radioactieve schalies die dikwijls voorkomen aan de top van de Onder Karboonkalksteen en in karstoplossingsholten zijn een gevreesde radonbron (Herbosh, De Witte & Pr  at, 1979). De waterwinning van Visé is zo wegens te hoge radongehaltes stilgelegd. De mineraalwaterbronnen van de Elvenschans vertonen gelukkig geen risico op verhoogde radioactieve straling; metingen tonen aan dat de achtergrondwaarden slechts licht overschreden worden (23.8 Bq/l totaal radon, 7.3 Bq/l geabsorbeerd radon bij langdurige meting, communie. Prof. J.M. Charlet, Faculté Polytechnique de Mons. Tot 30 Bq/l spreekt men van een lage waarde voor bronwater, te vergelijken met de 300 Bq/l die in bronnen in de zuidelijke Ardennen gemeten werd. In woningen bedraagt de gemiddelde radonconcentratie 40 Bq/m³). Dit kan allicht verklaard worden door erosie van de uraniumrijke schalies tijdens het Jura en door de diepgaande verwerking met uitloging van de

radonbronnen tijdens het Krijt. Het opstijgend mineraalwater komt aldus nergens in contact met de radioactieve schalies.

Oorsprong van het water

Het water is van meteorische oorsprong. Dit betekent dat het op enige afstand en lange tijd geleden in de bodem geïnfiltrerd is, en vervolgens een diepe ondergrondse stroombaan heeft gevolgd alvorens terug als kwel te verschijnen. Weinig is geweten over de locatie van het intrekgebied en de ondergrondse circulatie. De regionale toename van het zoutgehalte van zuid naar noord wijst op een zuidelijke oorsprong voor het water (Krings & Langguth, 1987; Tabel 2). De meest logische plaats is de zuidelijke dagzoom van de Onder Karboonkalkstenen, op het contact tussen het Hoog van Visé en de richel van Booze - le Val Dieu (Figuur 3). Meer naar het noorden wordt de kalksteen immers overdekt door de minder permeabele palcosol. In deze intrekzone, ca. 5 km naar het zuidzuidoosten doorsnijdt de Berwinne de kalksteendagzoom op een hoogte van meer dan 80 meter, waardoor een potentiaalverschil van ca. 30 meter bestaat, ruim voldoende ter verklaring van het artesisch karakter van deze waterlaag en de hogere waterpeilen in de omgeving van de Elvenschans.

Hydrodynamisch model

Tijdens de ondergrondse watercirculatie zullen samenstelling en temperatuur zich geleidelijk aanpassen. Door oplossing van de kalksteen zal het infiltratiewater aanvankelijk enkel een hoge hardheid en alkaliniteit vertonen. Naarmate verblijftijd en tempe-

ratuur toenemen zal de Ca+Mg concentratie afnemen ten voordele van de Na+K concentratie. Het thermaal water van de Elvenschans is net zoals het mineraalwater uit de regio Maastricht - Valkenburg een voorbeeld van zulk mengwater (cf. Tabel 2). Bij verdere evolutie wordt het water nog zouter maar terug zachter. Het is niet nodig dat hiervoor zoutlagen in de ondergrond aanwezig moeten zijn.

Dit model werd best geïllustreerd in prospectieboringen te Chaudfontaine die aangetoond hebben dat het infiltratiewater volgens de structuur van de kalksteenlagen minstens 1500 meter diep daalt, er een temperatuur van ca. 50°C aanneemt alvorens snel, binnen een afstand van luttele honderden meters samen met een kalksteenband terug op te stijgen naar de artesische bronnen in de Veldervallei (Graulich, 1983). De temperatuurgradiënten zijn er zeer ongelijk: de intrekzone wordt gekenmerkt door een afkoelingsfront in de diepte terwijl de kwelzone hoge temperaturen mee naar de oppervlakte voert.

De historische fontein en de Vuilenborn van de Elvenschans waren niet de enige thermale bronnen van de regio. Vlak over de grens, te Eysden, lagen meerdere minerale-thermale bronnen: een reeks van 10 bronnen in de Maasoever, toepasselijk 'Kreeftskuil' genaamd, een dichtgegooid wel en een kelderput langs de vroegere haven van Eysden aan de Diepstraat, de vijver van het bejaardenhuis 'De Bron' (pers. communicatie, Elza Nyssen-Vandenabeele). Eigenaardig genoeg liggen alle bestaande en verdwenen thermale bronnen op een NNE-SSW lijn evenwijdig aan de

Tabel 2 : Vergelijkende analyse voor verschillende thermaal-mineraalwaters in het Visé-Puth bekken en langs de noordrand van het variscisch front (Chaudfontaine vanwege Langguth, pers. comm.; Maastricht uit Bless *et al.*, 1981; Valkenburg, Aachen uit Bless *et al.*, 1986)

Plaats		Chaudfontaine Charlemagne 5/09/94	Elvenschans Waterput 23/12/97	Maastricht Heugem 15/07/81	Maastricht Kastanjelaan 16/09/81	Valkenburg Thermae 2000 5/09/94	Aachen Kaiserquelle dec.1964
pH	bij 20°C	7,04	7,3	7,2	7,35	7,2	-
Geleidbaarheid	µS/cm	650	1700	2310	2950	5560	-
Nitraten	mg/l NO3	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,5	-
Sulfaten	mg/l SO4	38,2	51	80	109	124	279
Bicarbonaten	mg/l HCO3-	306,3	402	495	600	486	851
Chloor	mg/l Cl	33	290	880	1040	1540	1480
Natrium	mg/l Na	45	200	560	810	964	1277
Kalium	mg/l K	2,93	11	28	51	72	71,7
Calcium	mg/l Ca	65,67	100	99	61	93,83	62,8
Magnesium	mg/l Mg	17,41	23	28	26	31,91	7,8
Mangaan	mg/l Mn	0,066	0,042	0,06	0,04	0,078	-
Ijzer	mg/l Fe	0,093	0,058	1	0,24	0,189	-
Silicium	mg/l Si	9,33	6,5	12,3	9,6	5,33	66,2

Grensbreuk van het Massief van Brabant (Figuur 4). Dit suggereert een lusvormige grondwatercirculatie met infiltratie langs de zuidrand van het Visé-Puth bekken en opstuwing tegen de lagen die door de Grensbreuk scheefgesteld zijn. Kwel van thermaal water zal enkel op die plaatsen waargenomen worden waar aanvoer vanuit de Onder Karboon kalkstenen niet gehinderd wordt door laag permeabele verweringszones in het Karboon of door overdekking met het Krijt.

Samenvatting

Vlaanderens enige echte thermale bron is te vinden in het historisch complex "De Schans" te Voeren-Moeelingen, gelegen op de hoge Maasoever, waar Onder Karboonkalksteen tot recht onder het Kwartaire alluvium en leemdek reikt. Geologisch vooronderzoek voor het doortrekken van de Interconnector gaspijpleiding onder Maas en Albertkanaal heeft nieuwe gegevens opgeleverd over de opbouw van de ondergrond. De kalkstenen zijn in dikke pakketten afgezet in een lokaal, breukbegrensd sedimentatiebekken van Visé-Puth. Door intensieve verkiezeling en verkarsting is een hoge permeabiliteit ontstaan die diepe watercirculatie toelaat, terwijl fossiele bodems, van Krijt ouderdom, het geheel afschermen tegen rechtstreekse infiltratie zodat het Karboonwater onder spanning staat. Het water kan gekarakteriseerd worden als Na-Cl-HCO_3 thermaal water, en lijkt te behoren tot de mineraal water-provincie aan de noordrand van Ardennen en Eifel. Het voorgestelde hydrodynamisch model gaat uit van een conductief watertransport binnenin de kalksteenformaties, vanuit de intrekzone stroomopwaarts in het dal van de Berwinne. Tijdens de noordwaartse migratie zal het water steeds zouter worden. De kwel van thermaal water bij de Elvenschans wordt in verband gebracht met de opstuwing van de kalksteenlagen tegen de Grensbreuk en de lokale afwezigheid van de afsluitende lagen. De thermale bron is reeds eeuwenlang bekend; ook de boorwerkzaamheden voor de Interconnector blijken geen directe bedreiging te vormen.

Epiloog

De grote stimulans voor het geologisch onderzoek in de regio Visé-Puth werd gegeven door Martin Bless (Stad Maastricht) hierin geruggesteund door Jos Bouckaert (Belgische Geologische Dienst) die de aandacht vestigden op het potentieel voor thermaal water en zo aan de grondslag liggen van het Thermac 2000 project te Valkenburg. Jacques Wergifosse (Distrigas) stond als bouwheer van de Interconnector open voor deze problematiek en volgt met grote belangstelling de uitkomsten van het onderzoek. Prof. A. Monjoie en M. Polo-Chiapolini (Universiteit Luik) leidden op deskundige wijze het geologisch vooronderzoek voor de Interconnector en waren steeds bereid tot uitwisseling van informatie. Prof. H. Langguth (RWTH Aachen), Dr. P. Gerard en Dr. H. Verplaetse (Centraal Laboratorium, Brussel) hebben uit wetenschappelijke interesse het wateronderzoek vooruit geholpen. Mevrouw Elza Nyssen-Vandenabeele (St Martens Voeren) leverde informatie over reeds teloorgegane thermale bronnen, en blijft wakend toezien op het natuurlijk en historisch erfgoed van haar gemeente.

Het geologisch onderzoek van deze complexe regio is ver van afgerond: stratigrafie en faciesontwikkeling van het Onder Karboon, de relatie moedergesteente-verkiezeling-fossiele bodem in tijd en ruimte, de breuktektoniek op de oostrand van het Massief van Brabant, de evolutie van meteorisch tot thermaal water, de productiviteit van de thermale waterlaag, systematisch temperatuurkartering van waterputten en de opsporing van andere thermale bronnen zijn domeinen voor voortgezet onderzoek.

Momenteel is enkel het water uit de moderne waterput veilig drinkbaar; het water uit de fontein bevat immers stagnerend water. Het water is afkomstig van de watervoerende laag der Onder Karboonkalkstenen die hier onder spanning staat en voldoende beschermd is tegen verontreiniging. De smaak is pittig en verfrissend. Kleinschalige mineraalwaterproductie is ongetwijfeld mogelijk.

Referenties

- BATTEN, D.J., M. STREEL, M.; DUSAR, M. & BLESS, M.J.M., 1987. Late Cretaceous palynomorphs from the boreholes Thermae 2002 (Valkenburg a/d Geul, The Netherlands) and 's Gravenvoeren (Belgium). *Annales de la Société géologique de Belgique*, 110: 47-51.
- BLESS, M.J.M., J. BOUCKAERT, P. BOUZET, R. CONIL, P. CORNET, M. FAIRON-DEMARET, E. GROESSENS, P.J. LONGERSTAEY, J.P.M.TH. MEESSEN, E. PAPROTH, H. PIRLET, M. STREEL, H.W.J. VAN AMEROM & M. WOLF, 1976. Dinantian rocks in the subsurface north of the Brabant and Ardenno-Rhenish Massifs in Belgium, the Netherlands and the Federal Republic of Germany. *Mededelingen Rijks Geologische Dienst*, N.S. 27-3: 81-195.
- M.J.M. BLESS, P. BOONEN, J. BOUCKAERT, C. BRAUCKMANN, R. CONIL, M. DUSAR, P.J. FELDER, W.M. FELDER, H. GÖKDAG, F. KOCKEL, M. LALOUX, H.R. LANGGUTH, C.G. VAN DER MEER MOHR, J.P.M.TH. MEESSEN, F. OP HET VELD, E. PAPROTH, H. PIETZNER, J. PLUM, E. POTY, A. SCHERP, R. SCHULZ, M. STREEL, J. THOREZ, P. VAN ROOIJEN, M. VANGUESTAINE, J.L. VIESLET, D.J. WIERSMA, C.F. WINKLER PRINS, & M.WOLF, 1981. 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., 1982. The Famennian and Dinantian in the boreholes Heugem-1/1a and Kastanjelaan-2 (Maastricht, the Netherlands): summary of results. *Publicaties Natuurhistorisch Genootschap Limburg*, 32: 56-58.
- BLESS, M.J.M., J. BOUCKAERT, P.J. FELDER, H.R. LANGGUTH, & J.P.M.Th. MEESSEN, 1986. Gesteenten, fossielen en water van de proefboring Thermae 2000 te Valkenburg aan de Geul. *Valkdruk*, Valkenburg aan de Geul, ISBN 90-6190-025-6, 40 p.
- BLESS, M.J.M. & C.FERNANDEZ NARVAIZA, 1996. De Euregio Maas-Rijn op drift. *Belgische Geologische Dienst, Professional Paper 1996/1 N° 280*: 48 p.
- DUPUIS, C.; J.-M. CHARLET, L. DEJONGHE, & J. THOREZ, 1997. Reconnaissance par carottage des paléooltérations kaolinisées mésozoïques de la Haute Ardenne (Belgique). Le sondage de Transinne (194E-495): premiers résultats. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 119-2: 91-109.
- DUSAR, M. & V. LANGENAEKER, 1992. De ooststrand van het Massief van Brabant, met beschrijving van de geologische verkenningss boring te Martenslinde. *Belgische Geologische Dienst, Professional Paper 1992/5 - N°255*, 22 p.
- FELDER, W.M., P.W. BOSCH, & J.H. BISSCHOPS, 1984. Geologische kaart van Zuid-Limburg en omgeving. Schaal 1:50.000. Pré-Kwartair. *Rijks Geologische Dienst, Haarlem*.
- FELDER, W.M., P.W. BOSCH, & J.H. BISSCHOPS, 1989. Geologische kaart van Zuid-Limburg en omgeving. Schaal 1:50.000. Afzettingen van de Maas. *Rijks Geologische Dienst, Haarlem*.
- GÖKDAG, H., 1982. Some diagenetic aspects and origin of porosity in the Dinantian (Early Carboniferous) carbonates in the wells Heugem-1a and Kastanjelaan-2 (Maastricht, the Netherlands). *Public. Natuurhist. Gen. Limburg*, 32: 50-53.
- GRAULICH, J.M., 1983. L'hydrogéologie thermique de Chaudfontaine. *Bulletin van de Belgische Vereniging voor Geologie*, 92: 195-212.
- HERBOSCH, A., S.M. DE WITTE, & A. PRÉAT, 1979. Recherches sur les indices de minéralisations uranifères dans la région de Visé. *Belgische Geologische Dienst, Professional Paper 1976/6 N° 162*: 101 p.
- KNAEPEN, J., 1993. Forteresses, guerres et misères en Basse-Meuse au XVII^e siècle. In: *Trésors des châteaux et des fermes de la Basse-Meuse. Société Royale Archéo-Historique de Visé et de sa région, Visé*, pp. 7-169.
- KRINGS, S. & H.R. LANGGUTH, 1987. Hydrogeology of the Thermae boreholes (Valkenburg a/d Geul, The Netherlands). *Annales de la Société géologique de Belgique*, 110: 85-95.
- LEGRAND, R., 1968. Le Massif du Brabant. *Mém. Toelichtende Verhandelingen voor de geologische kaart en mijnkaart van België*, N° 9: 148 p.
- NYS, L. & P.G. LIÉGEOIS, 1936. Les eaux du gravier de la Meuse en aval de Visé. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 59: 833-84.
- POTY, E., 1982. The Devonian and Dinantian of the Visé area, NE Belgium. *Public. Natuurhist. Gen. Limburg*, 32: 40-43.
- POTY, E., 1991. Tectonique de blocs dans le prolongement oriental du Massif du Brabant. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 114: 265-275.
- SAX, H.G.J., 1946. De tectoniek van het Carboon in het Zuid-Limburgsche mijngebied. *Mededeelingen van de Geologische Stichting, Serie C-I-1-N° 3*: 77 p.
- THOREZ, J., 1987. Clay mineralogy of some clayey intervals in the Thermae 2002 borehole (Valkenburg a/d Geul, The Netherlands). *Annales de la Société géologique de Belgique*, 110: 53-58.