

Les Blancs Cailloux, aderkwartsvoorkomens in de Ardennen (B)

door Manuel Sintubin
manuel.sintubin@kuleuven.be



Afb. 1. Aan de rue de la Villa Romaine in Nadrin vinden we, zoals elders in de Ardennen, een kleine Mariakapel opgebouwd met aderkwartsblokken.

In vele tuinen in de Ardennen vind je geregeld grote witte keien - 'des blancs cailloux' - terug als decoratie. Maar ook Mariakapelletjes langs Ardense wegen zijn vaak versierd met deze witte keien. Ze lijken voor de Ardense inwoner wel een bijzondere betekenis te hebben. Maar van waar komen deze toch wel mysterieuze stenen? Afb. 1.

Meer dan een decennium lang hebben wij ons binnen de Onderzoeksgroep Geodynamics & Geofluids aan de KU Leuven toegelegd op deze witte keien, of althans op hun geologische oorsprong: aderkwarts. Na deze uitgebreide studie hebben we kunnen achterhalen dat ook voor ons geologen, deze aderkwarts een bijzondere betekenis heeft.

Hoge Ardennen

Ons onderzoeksterrein strekt zich uit van de oevers van de Rursee in de Duitse Eifel tot de meanders van de Semois, diep in de Belgische Ardennen. We bevinden ons in de kern van de **Hoge-Ardennenleisteengordel**. Deze is opgebouwd uit voornamelijk kleirijke sedimenten, ooit afgezet in een continentale slenk, het Ardennen-Eifelbekken, zo'n 400 miljoen jaar geleden tijdens het vroegste Devoon. Tijdens de Variscische gebergtevorming, zo'n

320 miljoen jaar geleden – tijdens de Sudetische fase, de beginperiode van deze orogenese – werd dit dikke sedimentpakket omgevormd tot een leisteengordel in de laag-metamorfe vervormingsomstandigheden in de middenkorst (op zo'n 7 tot 10 km diepte). Het is dan ook de uitgesproken leisteenspleijing die nu de indrukwekkende landschappen langs de oevers van de Lesse, Ourthe, Semois en andere Ardense rivieren vormgeeft. Deze leisteenspleijing lag ook aan de basis van de vergane glorie van de Ardense daklei-industrie.



Afb. 2. Kwartsaders komen overal voor in de Hoge-Ardennenleisteengordel. Het zijn opgevulde barsten, spleten of breuken. Aan de hand van de oriëntatie, geometrie, opbouw van de kwartsopvulling kunnen we het geodynamische verhaal van de leisteengordel reconstrueren.

Fossil spanningsveld

Aders zijn barsten, spleten of breuken in het gesteente die opgevuld worden door de neerslag van mineralen – zoals kwarts of calciet – uit een 'waterige' oplossing. Deze barsten, spleten of breuken zijn het gevolg van de bruske vervorming van het korstgesteente onder invloed van tektonische spanningen. Het type en de geometrie van deze spleten of breuken laten ons nu toe iets te zeggen over het heersende spanningsveld waarin deze spleten of breuken zijn ontstaan. De aders 'vriezen' vervolgens als het ware een dergelijk fossil spanningsveld in. Afb. 2.

We maken in grote lijnen een onderscheid tussen **rekspleten**, die typerend zijn voor hoge vloeistofdrukken¹ en een zo goed als isotroop spanningsveld², en **schuifpleten** en **breuken**, die typerend zijn voor relatief lage vloeistofdrukken en een uitge-

¹ De **vloeistofdruk** is de druk die een vloeistof of gas in de poriën van het gesteente in de diepe ondergrond uitoefent op het gesteente. Hoge vloeistofdrukken kunnen uiteindelijk het gesteente zelf breken; dit noemen we dan 'hydraulische fracturatie'.

² In een bijna **isotroop spanningsveld** zijn de natuurlijke krachten die op het gesteente in de diepe ondergrond worden uitgeoefend, zo goed als gelijk in alle richtingen; in het jargon zeggen we dan dat het spanningsveld gekenmerkt is door een lage differentieelspanning. In een perfect isotroop spanningsveld is er geen differentieelspanning.

sproken anisotroop spanningsveld.³

Hoe kwartskristallen zich voordoen in kwartsaders zegt ons dan weer iets over hoe de spleten en breuken zijn opgevuld. Er heerst immers een competitie tussen de snelheid waarmee de kwartskristallen aangroeien en de snelheid waarmee de spleet opent of de breuk verschuift. Als het incrementeel (toenemend) opengaan van de spleet trager is dan de aangroei van de

kwartskristallen, dan wordt de spleet telkens weer, na elke incrementele opening ('crack'), volledig dicht gecementeerd door de kwartskristallen ('seal'). We noemen dit proces dan ook 'crack-seal'. Dit resulteert in zeer langgestrekte, naaldvormige (fibreuze) kwartskristallen, die volgens de openingsrichting de kwartsaders opvullen. Afb. 3.



Afb. 3. Onder de petrografische microscoop wordt duidelijk hoe de kwartskristallen de opengaande spleet of verschuivende breuk hebben opgevuld. Dit is een voorbeeld van een fibreuze aderopvulling, die het resultaat is van een 'crack-seal' proces.

© Van Noten & Sintubin.

Als de opening van de spleet of het verschuiven langs een breuk veel sneller gaat dan de aangroei van de kwartskristallen, ontstaan er holten die zijn opgevuld met de silicarijke vloeistof waarin de kwartskristallen groeien. Deze kwartskristallen kunnen mooie kristallen vormen. Denk maar aan geodes. Het uiteindelijke resultaat is een aderkwartsopvulling die bestaat uit grote, blokkige – 'blocky' – kwartskristallen. Dus door nu de morfologie van de kwartsaderopvullingen te bestuderen – aan de hand van slijpplaatjes en petrografische microscopie – kunnen we vrij nauwkeurig de opvullingsgeschiedenis reconstrueren.

De aderkwarts draagt echter nog andere geheimen in zich. Tijdens het groeien van de kristallen worden immers kleine belletjes gevangen van de oorspronkelijke vloeistof waaruit de kwarts is gekristalliseerd. Dit noemen we de **vloeibare insluit-sels**. Microthermometrisch onderzoek laat vervolgens toe de samenstelling van deze vloeistof te bepalen en zo te achterhalen wat de oorsprong van de vloeistof was. Was het geïnfiltreerd grondwater afkomstig van het aardoppervlak? Had de vloeistof een diepere magmatische oorsprong? Of gaat het om metamorf formatiewater? Maar ook de omgevingsdruk en de temperatuur waarbij het vloeibare insluit-sel is ingesloten, zijn te achterhalen uit de microthermometrie. Zo kunnen we ontdekken of het een vreemde vloeistof is met een hogere temperatuur dan het omgevingsgesteente, of dat de vloeistof gebufferd is door het omgevingsgesteente. Ook kunnen we ontdekken of de vloeistof-druk lager, gelijk of hoger was dan het gewicht van het bovenliggende gesteente (de lithostatische druk).

Zo kunnen we nu – door een geïntegreerde benadering vanuit de structurele geologie, mineralogie en geochemie – het hele verhaal reconstrueren dat de diverse kwartsaders in de Hoge Ardennen te vertellen hebben. Uiteindelijk komt er een bijzonder



Afb. 4. De eerste generatie kwartsaders zijn de laagnormale aders. Deze komen voor in zandsteenbanken, en staan loodrecht op de gelaagdheid (hier horizontaal gelegen). Deze aders zijn gevormd door hydraulische fracturatie in een tektonisch rekregime. Let op de relatie tussen spatiering tussen aders en de dikte van de zandsteenbanken. Merk ook dat de contactvlakken geplooid zijn ter vorming van de boudins. (Zie bij 'De tektonische inversie' in dit artikel.) Foto uit de Mardassongroeve te Bastogne.

verhaal naar boven, waarvan we de geodynamische implicaties op voorhand nooit hadden kunnen inschatten.

De eerste tekenen van de Variscische gebergtevorming

De oudste generatie kwartsaders vinden we overal terug, van de Rursee tot voorbij Bastogne. Deze kwartsaders komen voor in de meer zandige banken als regelmatig gespatieerde, onderling evenwijdige aders, die loodrecht op de gelaagdheid staan. Zo worden deze zandige banken gesegeteerd door deze **laagnormale kwartsaders**. Dat deze adergeneratie de oudste is, weten we omdat ze samen met de banken waarin ze voorkomen, geplooid zijn tijdens de gebergtevorming en dat ze door latere adergeneraties doorsneden worden. Afb. 4.

Deze kwartsaders zijn opgevulde rekspleten. Hun oriëntatie vertelt ons dat ze gevormd zijn in een tektonisch rekregime⁴. Maar deze kwartsaders zeggen meer! Rekspleten zijn immers het resultaat van de hydraulische fracturatie – de natuurlijke variant van het vermaledijde 'fracken' – van de zandige banken onder bijna lithostatische vloeistofdrukken. Dit kan echter alleen als de heersende spanningstoestand op die diepte zo goed als isotroop is. Alles wijst er op dat de toenemende tektonische (horizontale) spanning, die zich aan het opbouwen is bij de aanvang van de gebergtevorming, de trigger is geweest voor deze regionale hydraulische fracturatiegebeurtenis. Het oorspronkelijke anisotrope spanningsveld, dat voornamelijk het gevolg is van de lithostatische druk in het sedimentbekken, evolueert immers naar een bijna isotroop spanningsveld, net doordat de horizontale spanning aangroeit onder invloed van de tektonische krachten. Deze fracturatiegebeurtenis is nu gematerialiseerd in de regionaal consistente sets van laagnormale aders. Zij kunnen dus beschouwd worden als de eerste materiële bewijzen dat de Variscische gebergtevorming op gang gekomen is en dat het Ardennen-Eifelbekken onder tektonische spanning komt te staan.

De tektonische inversie

De tektonische spanning blijft toenemen in het sedimentbekken. Op een bepaald moment keert de grootste spanningsrichting om van verticaal naar horizontaal. De tektonische inversie is een feit. Het bekken is niet meer onderhevig aan een tektonisch rekregime, maar aan een **tektonisch compressieregime**⁵.

³ Een **anisotroop spanningsveld** zijn de natuurlijke krachten die op het gesteente in de diepe ondergrond worden uitgeoefend, duidelijk verschillend in verschillende richtingen; dit is doorgaans het gevolg van de aanwezigheid van belangrijke tektonische krachten. In het jargon zeggen we dan dat het spanningsveld gekenmerkt is door een hoge differentieelspanning.

⁴ In een **tektonisch rekregime** wordt er schijnbaar aan de aardkorst getrokken, omdat de verticale spanning groter is dan de horizontale (al zijn alle spanningen positief, dus drukspanningen). Hierdoor ontstaan slenken en afschuivingsbreuken; een voorbeeld van zo'n tektonisch rekregime is de Roerdalslenk in Nederlands en Belgisch Limburg. In een tektonisch rekregime staat de grootste spanningsrichting – ten gevolge van de lithostatische druk – dus verticaal.



Afb. 5A. De tweede generatie kwartsaders zijn de laagparallele aders. Hier komt deze voor langs het contactvlak tussen een kleirijke en een zandige laag. Deze aders ontstaan door hydraulische fracturatie in een tektonisch compressieregime. De foto is genomen langs de Rursee in de Duitse Eifel.
© Van Noten & Sintubin.



Afb. 5B. De tweede generatie kwartsaders zijn de laagparallele aders. Deze ader loopt volgens de laagvlakken, hier van linksboven naar rechtsonder. Deze aders snijden de laagnormale aders af. Deze aders ontstaan door hydraulische fracturatie in een tektonisch compressieregime. De foto is genomen in Schwammenaul langs de Rursee in de Duitse Eifel.
© Van Noten & Sintubin.

Maar in de vroegste fasen na de tektonische inversie is enerzijds de spanningstoestand nog steeds zo goed als isotroop en loopt anderzijds de vloeistofdruk in het gesteente extreem hoog op, tot zelfs vloeistofdrücken die groter zijn dan de lithostatische druk. De gevolgen zijn moeilijk voor te stellen. Parallel aan de laagvlakken worden de banken onderling uit elkaar gedrukt onder invloed van deze supralithostatische vloeistofdruk. Er ontstaan **laagparallele aders**. Langs deze aders doen zich de eerste horizontale tektonische bewegingen voor. De lagen beginnen over elkaar te schuiven. Dit geeft aanleiding tot uitermate complexe, meerfasige, laagparallele kwartsaders. Zij zijn over

grote afstanden te vervolgen en worden later meegeplooid met de banken waartussen ze geklemd zitten. Afb. 5A en 5B. Opvallend is echter wel dat deze aders uitsluitend rond de Rursee voorkomen. Iets verderop naar het zuidwesten zijn ze niet meer terug te vinden, maar vinden we plotseling andere structuren. Dit heeft alles te maken met het feit dat een eind van de Rursee vandaan steeds diepere delen van het sedimentaire bekken ontsloten zijn. We duiken als het ware onder de bros-ductiele overgang⁶ en ontdekken vervormingen die zich voordoen bij hogere metamorfe omstandigheden. We zien dat door de laagparallele tektonische krachten de zandige segmenten tussen de harde laagnormale kwartsaders ductiel samengedrukt worden. De laagvlakken stulpen uit, zowel aan de bovenzijde als de onderzijde van de zandige lagen. Het resultaat zijn worstachtige structuren, die we nu kennen als de **Ardense boudins**. Dus terwijl de initiële laagparallele verkorting boven de bros-ductiele overgang opgevangen wordt door laagparallele schuifbewegingen langs laagparallele aders, drukt de laagparallele verkorting onder de overgang zich uit door het uitstulpen van de laagvlakken van de zandige segmenten tussen de kwartsaders. Afb. 4.

Plooien en breuken

Onder invloed van de tektonische krachten wordt vervolgens alles samengedrukt tot een leisteengordel. Plooien, breuken en gesteentespleijting zijn de belangrijkste structuren die zich ontwikkelen. Opmerkelijk weinig kwartsaders vormen zich tijdens de piek van de Variscische vervorming in de leisteengordel. En de **synorogene aderkwartsopvullingen** die we terugvinden, zijn allemaal gevormd in structureel gecontroleerde holtes, zoals in scharnierzones van plooien, of in onregelmatigheden in breuken. Deze structureel gecontroleerde aderopvullingen zijn dus, in tegenstelling tot de aders tijdens de vroeg-orogene tektonische inversie, niet het resultaat van een hydraulische fracturatie onder invloed van hoge vloeistofoverdrukken, integendeel. De structureel gevormde holtes zuigen mogelijk vloeistoffen aan uit het omliggende gesteente. Afb. 6.



Afb. 6. De derde generatie kwartsaders vullen holtes op die ontstaan zijn door het breken en plooien van het gesteente tijdens de Variscische gebergtevorming in een tektonisch compressieregime. Op deze foto is te zien dat aderkwarts de holtes in de scharnierzone van geplooid zandsteenbanken opvult. De foto is genomen in Daverdisse. © Jacques & Sintubin.

⁵ In een **tektonisch compressieregime** wordt de aardkorst eigenlijk samengedrukt. Hierdoor ontstaan uiteindelijk gebergten; denk hierbij aan de Alpen of de Himalaya. In een tektonische compressieregime ligt de grootste spanningsrichting horizontaal, dit voornamelijk ten gevolge van de tektonische krachten die het gevolg zijn van platentektoniek.

⁶ Aan de basis van de bovenkorst (10 tot 15 km diepte) is de omgevingsdruk en temperatuur zodanig opgelopen dat het gesteente steeds minder gaat breken als er tektonische krachten worden op uitgeoefend (brosse vervorming), maar steeds meer gaat "vloeien" (plastische/ductiele vervorming). Dit vormt de **bros-ductiele overgangzone**, waarin zowel brosse structuren (bv. breuken, spleten) als ductiele structuren (bv. plooien, gesteentespleijting) samen voorkomen.

Ineenstortend gebergte

In de omgeving van Herbeumont komen we wederom een nieuwe, bijzondere adergeneratie tegen. Het zijn discordante kwartsaders (discordant: doorsnijden van gesteenten in bestaande structuren; concordant: parallel aan deze structuren). Deze aders zijn opnieuw rekspleten die zijn ontstaan door hydraulische fracturatie onder invloed van hoge vloeistofdrukken. Opmerkelijk is dat deze rekspleten de Variscische leisteenspleeting doorsnijden. We weten dus dat deze aders zeer laat gevormd zijn, in de laatste fasen van de gebergtevorming. Deze aders – oorspronkelijk opgevulde rekspleten – zijn echter plastisch vervormd tot zeer grillige aders. Deze discordante aders vinden we terug in zwak hellende ontkoppelingshorizonten (*décollements*), die wijzen op tektonische rek. Deze aders zijn dus opnieuw getuigen van een tektonische inversie, maar nu wel op het einde van de gebergtevorming, wanneer het gebergte onder zijn eigen gewicht in elkaar stort. Denk maar wat er nu bijvoorbeeld gebeurt in de door aardbevingen geteisterde Apennijnen in Italië: de grootste spanningsrichting staat weer verticaal. We verwachten daarom in een zo goed als isotrope spanningstoestand hoge vloeistofdrukken die deze rekspleten door het hydraulisch breken van de leistenen hebben veroorzaakt. Afb. 7.



Afb. 7. De vierde generatie van kwartsaders zijn de discordante aders, die de leisteenspleeting doorsnijden en sterk vervormen. Deze foto is genomen langs de oever van de Semois te Herbeumont. © Van Baelen & Sintubin.

In hogere structurele niveaus – boven de brosductiele overgang – in het ineenstortende gebergte vormen zich uiteindelijk massieve aderkwartsvoorkomens die we verklaren door de ontwikkeling van holtes ter hoogte van onregelmatigheden in doorschuivende breuksystemen in een tektonisch rekregime. De meest bekende van deze massieve aderkwartsvoorkomens is *Les Blancs Cailloux*, op het plateau van het Ardense dorpje Mousny. Afb. 8.

Van steriele kwartsaders tot rijke ertsvoorkomens

Al zijn al deze kwartsaders steriel (zonder erts), toch hebben ze een belangrijke boodschap als het over ontginbare ertsvoorkomens gaat in weinig doorlatende leisteengordels. Om ontginbare concentraties van ertsmineralen te krijgen, moeten vloeistoffen vrijelijk kunnen stromen in de diepe aardkorst, om zo kostbare elementen op te lossen, te transporteren en opnieuw – geconcentreerd – neer te slaan als een **ertsafzetting**. Uit de voorkomens van kwartsaders in de Hoge-Ardennenleisteengordel leiden we af dat vooral tijdens de periodes van tektonische inversie er regionaal voldoende structurele permeabiliteit gecreëerd wordt in deze weinig doorlatende kleirijke mid-



Afb. 8. Dit is het massieve kwartsvoorkomen – genaamd "*Les Blancs Cailloux*" – op het plateau van Mousny. Dit kwartsvoorkomen wordt geïnterpreteerd als een opvulling van onregelmatigheden in doorschuivende breuken die verantwoordelijk zijn voor het ineenstorten van het gebergte aan het einde van de Variscische gebergtevorming.

denkorstomgeving. De hoge vloeistofdrukken in periodes van een bijna isotrope spanningstoestand houden rekspleten, die gevormd zijn door hydraulische fracturatie, lang genoeg open om vloeistoffen vrijelijk te laten migreren. De 'blocky' kwartsopvullingen in het merendeel van de aders ondersteunt deze hypothese van deze openstaande permeabiliteitsstructuren in de middenkorst.

Al zijn de aders in de Hoge-Ardennenleisteengordel steriel, we zien dat elders gelijksoortige adernetwerken rijk zijn aan ertsvoorkomens. Voor ons is het dan ook duidelijk. Aderstructuren die gerelateerd zijn aan tektonische inversies zijn ideale *targets* waar exploratiegeologen naar op zoek moeten gaan. De kans is groot dat ze een rijk ertsvoorkomen vinden.

Tot slot

Van oudsher associeerden karteerders in de Ardennen het voorkomen van aderkwarts met breuken. We zien deze associatie nog steeds op de meest recente versies van de geologische kaarten van Wallonië. Maar na meer dan een decennium onderzoek weten we beter! Een boeiend en complex geodynamisch verhaal zag het licht, van vroeg- tot laatrogene kwartsaders. En plotseling krijgen al deze '*blancs cailloux*' een bijzondere betekenis, ook voor geologen. Al zullen de Ardense inwoners dit niet echt beseffen wanneer ze hun tuin versieren met deze wonderlijke witte keien...

Foto's en afbeeldingen zijn van de auteur, tenzij anders aangegeven.