JADE

belangrijke voorkomens in Myanmar en Guatemala

door Hans G. Avé Lallemant
Professor of Earth Science, Rice University, Houston, Texas 77005
ave@rice.edu

Jade is een half-edelsteen, die vroeger vooral erg populair was in China.
Er zijn twee soorten jade: één is een amfibool (nefriet) en de andere een pyroxeen (jadeiet). Jadeiet is eventjes harder dan nefriet en dus beter geschikt als sieraad. Verder is jadeiet veel zeldzamer dan nefriet.
De chemische formule van jadeiet is $NaAlSi_2O_6$. Jadeiet-jade bestaat voornamelijk uit fijnkorrelige jadeiet, die vergroeid is met ondermeer kwarts en witte mica. De naam van dit gesteente is jadeitiet. Jadeitiet komt voor in vele kleuren: donkergroen overgaand in lichtgroen en wit, bruin, zwart en lavendel-kleurig. Jade komt vooral voor als insluitsels in serpentinieten in het grensgebied tussen twee tektonische schollen. Experimenteel werk heeft aangetoond, dat jadeiet gevormd wordt onder hoge druk en lage temperaturen, condities, die alleen maar in subductiezones voorkomen. De reactie albiet --> jadeiet + kwarts vindt plaats onder drukken boven 10, 12, en 14 Kb, bij temperaturen boven respectievelijk 300, 400 en 500^{0}C. Jadeitiet komt vaak voor vergezeld van lenzen en lagen eklogiet en blauwschist, meestal in een matrix van serpentiniet. Toch worden deze gesteenten meer aangetroffen in gebieden van horizontale breuken (*strike-slip* of *transcurrent faults*) dan in de subductiezones.

Jade in Myanmar

Jadeiet-jade wordt gevonden in zo'n dozijn gebieden, verspreid over de wereld. Het grootste voorkomen ligt in noordelijk Myanmar (voormalig Birma). De mooiste jade, *Imperial Jade*, is smaragdgroen; de keizers van China waren er dol op.



Afb. 1. Eén van de mooiste pagoden in Bagan, Myanmar: Ananda Pahto, gebouwd in 1105.

George Harlow, een mineraloog die werkt aan het *American Museum of Natural History* in New York City en ook gefascineerd is door jadeiet-jade van welke kleur dan ook, besloot enkele jaren geleden om een kleine expeditie te organiseren naar Myanmar. Hij nodigde Sorena Sorenson, een geochemica werkzaam aan het *Smithsonian Institute* in Washington DC, uit om mee te gaan. Zij stelde voor om Jinny Sisson, een metamorf geologe, en mij, een structureel geoloog, beiden werkzaam aan *Rice University*, in Houston, Texas, te laten deelnemen.
Op 22 januari 2000 landden wij op het vliegveld van Yangon (Rangoon). Ons was verteld dat alle papieren in orde waren, we moesten ze alleen maar eventjes afhalen bij het Ministerie van Buitenlandse Zaken in Yangon. Dat "eventjes" werd



Afb. 2. Groeve in Tertiaire en Kwartaire jade-rijke conglomeraten bij het dorpje Nansibum, noordelijk Myanmar.

negen dagen. Dat gaf ons tijd om vele prachtige, eeuwenoude monumenten te bezoeken. Het meest indrukwekkende complex was toch wel het 900 jaar oude Bagan (afb. 1) met zijn meer dan 2000 tempels, gelegen aan de machtige Irrawaddy Rivier (tegenwoordig de Ayeyarwady).
In Mandalay moesten we weer enkele dagen wachten tot onze militaire begeleiding er was (we gingen tenslotte naar een gebied waar de opstandige Katchin wonen). Tenslotte vlogen we op 31 januari naar het dorpje Hkamti aan de Chindwin Rivier, dichtbij de Indiase grens. Vandaar reden we naar de mijnen van Nansibum. Hier spendeerden wij één dag in de enorme groeven in Tertiaire en Kwartaire conglomeraten. Afb. 2.
De petrologen waren zielsgelukkig. Elke keer dat een grote graafmachine een paar ton conglomeraat losgewerkt had, waren we er als de kippen bij om jade te vinden. Ikzelf was niet erg gelukkig. Ik was snel uitgekeken op een dikke laag conglomeraat, die alleen maar in grote open plooien gedeformeerd is. Ik wilde ontsluitingen zien met jadeitiet, ingesloten in serpentijn en vervormd in isoclinale plooien, gevormd en vervormd toen de gesteenten zich nog op grote diepte bevonden.
De volgende ochtend mochten we langs een riviertje lopen om wat jade te zien in een serpentijn-matrix. Toen het eindelijk interessanter leek te worden mochten we van onze militaire begeleiders niet verder. Ze begonnen erg zenuwachtig te worden, want we zaten tenslotte in vijandig gebied. Feitelijk moesten we van de majoor terug naar Yangon.
Het werd ons natuurlijk duidelijk dat we hier geen gedetailleerd onderzoek konden doen. Nu we waren begonnen met het zoeken van jade, konden we niet ophouden. Eerst dachten we de jade in Californië te bestuderen waar jade gevonden was in een serpentijn-matrix. De jade was aanwezig in een groeve waaruit men vroeger asbest gewonnen had. Dat is dan ook de reden dat niemand meer de groeve in mag gaan. Jade-monsters, verzameld in het verleden, toen niemand nog wist dat asbest gevaarlijk was, bleken totaal vervormd te zijn door de dynamietontploffingen waarmee het gesteente gewonnen werd.

Jade in Guatemala

George Harlow heeft alle bekende jadegebieden bezocht. Het werd hem heel snel duidelijk, dat een studie van jade in Guatemala het gemakkelijkst te organiseren zou zijn.
De Azteken, de Maya's en hun voorgangers gebruikten jade



Afb. 3. Onze gids, Carlos, een halve meter rechts van het steile, rechts hellende contact tussen de jade (rechts) en serpentiniet (links), La Ceiba, Guatemala. Foto: Jinny Sisson.

als sieraad. Er zijn jade juwelen gevonden in koninklijke graven. De Spaanse conquistadores waren in Centraal-Amerika alleen maar geïnteresseerd in goud. Jade verloor daardoor zijn glans. Waar de jade ontgonnen werd, werd vergeten. Het was in de jaren '50 van de vorige eeuw, dat een boer een scherfje jade vond in de vallei van de Motagua Rivier. Daarna werden er nog enkele kleine stukjes gevonden, geen reden voor een *Jade Rush*. Grote ontsluitingen werden pas gevonden, nadat de orkaan Mitch in 1998 de oostkust van Guatemala geteisterd had. Bergstroompjes werden bulderende rivieren, die rotsblokken zo groot als huizen met zich mee naar omlaag sleurden. Sommige van die blokken bestonden uit pure jade. Afb. 3. Nu de jade op grote schaal gevonden wordt komen grote aantallen *jade hunters* naar Guatemala. De meesten zijn eerlijk en betalen de lokale bevolking voor hun jadevondsten, maar er zijn er ook die er in de diepe duisternis van de nacht met hun vondsten vandoor gaan. Als wij een hoeveelheid jade hebben verzameld, gaan we naar het dichtstbijzijnde dorpje en onderhandelen met het dorpshoofd om de handstukken voor een redelijke prijs te krijgen. Overigens werden wij meestal vergezeld door een Guatemalteekse gids.
Na enkele jaren heeft de lokale bevolking geleerd (onder andere van onze groep) om jade te herkennen. De methodes om jade te winnen zijn uiterst primitief. Ze stapelen wat hout tegen een jade kei aan, steken het hout aan en als de rots goed heet is, gieten ze er koud water tegenaan, totdat een schijf jade lossspringt. Afb. 4. Jammer genoeg wordt door dit proces de jade geweldig beschadigd.

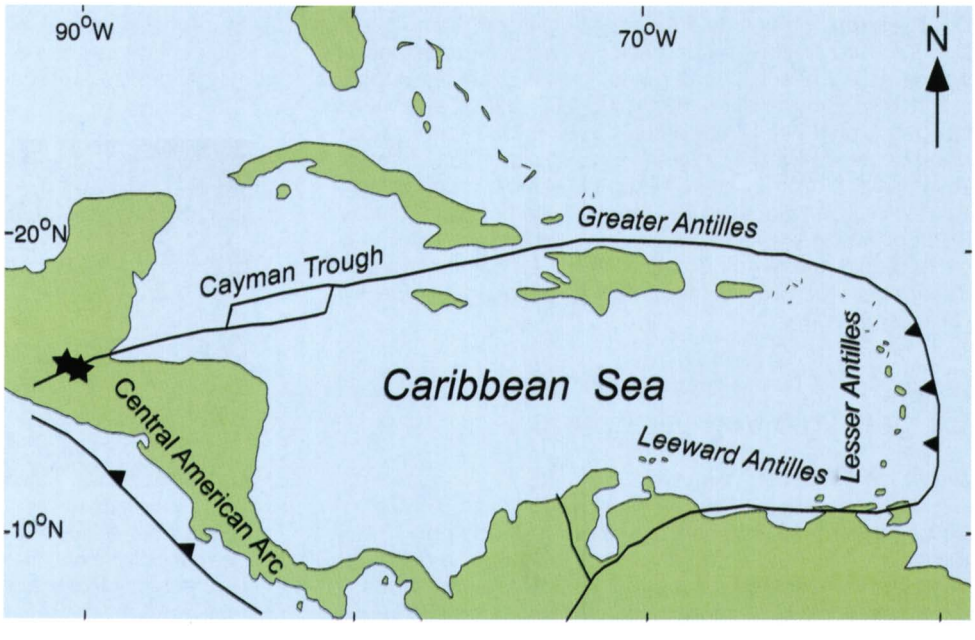


Afb. 4. Stukjes jade (lichtgroen) en verkoold hout (zwart) getuigen, hoe de lokale bevolking jade verzamelt: koud water wordt gestort op de gloeiend hete jade boulder, waarvan kleine stukjes afsplinteren.

Sommige lokale bewoners leren om de jade te bewerken. De meeste jade sieraden zijn echter erg primitief. Er zijn juweliers, voornamelijk in de oude hoofdstad Antigua, die lokale artiesten naar China sturen voor een opleiding in gesteentesnijwerk. De kwaliteit van de jade sieraden is dan ook drastisch aan het verbeteren.

Caraïbische tektoniek

Geologisch is Guatemala deel van twee wezenlijk verschillende tektonische schollen (e.g., Pindell en Barrett, 1990). De grens tussen de twee is de Motagua breukzone, die zo ongeveer oost-west loopt. Het noordelijke gedeelte is het Maya blok en het zuidelijke het Chortís blok.
Het Maya blok is onderdeel van de Noord-Amerikaanse schol, terwijl Chortís behoort tot de Caraïbische schol.
De Caraïbische schol (afb. 5) is in het oosten afgescheiden van de Atlantische schol door de *Lesser Antilles* eilandenboog, en in het westen afgescheiden van de Pacifische schol door de Panama-Costa Rica vulkanische boog. De grens met de Zuid-Amerikaanse schol is een zeer



Afb. 5. Overzichtkaart van de Caraïbische schol. Sterretjes vertegenwoordigen onze studiegebieden.



Afb. 6. Tektonische kaart van het noordwestelijke gedeelte van de Caraïbische schol; M, P, en J zijn respectievelijk de Motagua, Polochic en de Jocotán breuken; de Polochic en Jocotán zijn niet meer actief. Donkergroene plekken in Guatemala zijn serpentinieten.

brede (soms ~300 kilometers brede) west-georiënteerde zone, waarin de deformatie verdeeld is over vele breuken. De deformatie in deze zone wordt gekenmerkt door *dextrale strike-slip*-breuken en zuidwaartse overschuivingen (een typisch geval van *displacement partitioning*). De grens met de Noord-Amerikaanse schol in het noorden is een scherpe oost-west lopende breukzone. De verschuivingsvector is ongeveer oost-west, waardoor de breuk voornamelijk sinistraal is. Aangezien de breuk nu en dan kronkelt, vinden wij op sommige plaatsen *pull-aparts* en elders *pop-ups*. De belangrijkste *pull-apart* is de Cayman Trough, die ook wel beschouwd wordt als een *leaky transform fault*. Deze breuk loopt door naar Guatemala, waar hij overgaat in de Motagua breukzone (afb. 6). Het is niet bekend hoe de Motagua breuk zich naar het westen voortzet, aangezien het hele westen bedekt is met vulkanische gesteenten.
Er zijn verschillende hypothesen over het ontstaan van de Caraïbische schol. De meeste geologen zijn ervan overtuigd, dat de Caraïben onderdeel waren van de *Farallon schol*, een grote oceanische schol, gelegen ten westen van zowel Noord- als Zuid-Amerika. Gedurende de Jura en het Vroege Krijt bewoog de Farallon schol zich naar het zuidoosten en dook onder de Amerika's. Afhankelijk van de verschillende hypothesen ontstond de Caraïbische schol rond 120 Ma (Vroeg Krijt) of rond 80 Ma (Laat Krijt). (Ma: miljoen jaar). Door verstopping van de subductiezone van Colombia tot zuidelijk Guatemala ontstond een nieuwe subductiezone, waarin de Atlantische schol nu naar het zuidwesten onder de magmatische boog dook, met het gevolg dat de vulkanische boog zich naar het noordoosten begon te bewegen. Deze boog bevat de *Greater Antilles volcanic arc* (Cuba, Jamaica, Hispaniola, Puerto Rico, de Maagdeneilanden), de *Lesser Antilles arc* (van Saba tot Grenada), en de *Leeward Antilles* (van Los Testigos tot Aruba). Tegenwoordig is de mate van convergentie tussen de Caraïben en de Amerika's ongeveer 20 mm per jaar, wat wel klopt met het uitspreiden in de *Cayman Trough*.

De geologie van Guatemala

Maya en Chortís blokken

De geologie van Guatemala is niet erg bekend (e.g., Donnelly et al., 1990). Zo kan de interpretatie van de geologische geschiedenis van het land heel wat veranderen als er meer veldwerk gedaan zou worden. Correlatie van gesteenten in het Maya blok met gesteenten in het Chortís blok is moeilijk vanwege het gebrek aan geochronologische gegevens. Toch zijn er enkele generalisaties mogelijk.
Beide gebieden hebben een Paleozoïsche (?) metamorfe ondergrond, echter van zeer verschillende aard. Deze gesteenten zijn in het Maya blok beperkt tot het Devoon (?), maar reiken in het Chortís blok vanaf het Ordovicium (?) tot het einde van het Perm (?). Alleen in het Maya blok werden gedurende het Late Carboon en Perm sedimenten afgezet in een ondiepe zee. Een Trias- tot Midden-Jura-hiaat komt in beide gebieden voor. Dit is de tijd dat Noord- en Zuid-Amerika uit elkaar spleten en ook de Atlantische Oceaan gevormd werd.
Gedurende de Late Jura werden in het Maya blok continentale *red-beds* afgezet, terwijl de Jurasedimenten in Chortís in ondiepe tot diepe zeeën werden afgezet. Het Krijt is in beide gebieden vertegenwoordigd door kalksteen, alhoewel in het Chortís blok de kalkstenen nu en dan, en vooral in het Late Krijt, vervangen zijn door conglomeraten (*red-beds*). Gedurende het Krijt intrudeerden grote granitische plutonen het Chortís blok.
Gedurende het Maastrichtien, het Paleoceen en het Eoceen werden diep-mariene sedimenten (flysch) afgezet op het Maya blok, en continentale *red-beds* op het Chortís blok. In het Neogeen en het Kwartair werden voornamelijk vulkanische gesteenten gevormd.

Motagua breukzone

Het grensgebied tussen de Maya- en Chortís-blokken is de Motagua breukzone. De zone bestaat uit mylonieten en gebroken formaties verwant aan de Maya- en Chortís-gesteenten. Er komen ook grote blokken ofioliet voor, die gevormd waren gedurende het Vroege Krijt. Maar de



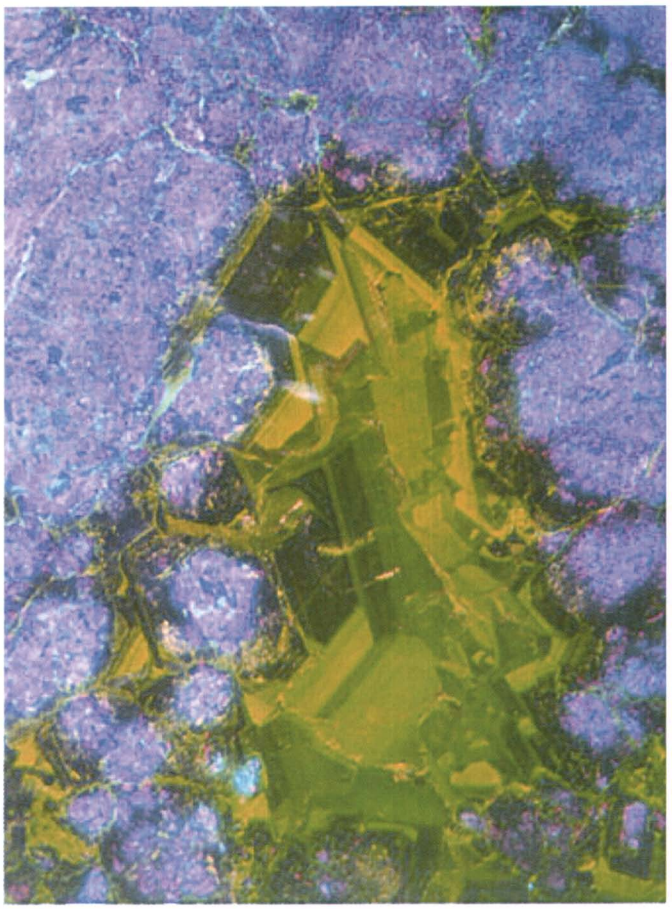
Afb. 7. Gneis in de Motagua breukzone met asymmetrische fragmenten die aanduiden, dat de "shear sense" in dit plaatje rechts-lateraal is (de meerderheid van zulke structuren wijst echter aan, dat de beweging langs de Motagua breuk links-lateraal is; de mylonieten zijn echter later nog eens hevig geplooid rond sub-horizontale EW-strekkende plooiassen).

belangrijkste gesteenten zijn toch de serpentinieten, die vol zitten met exotische gesteenten, zoals eklogiet, glaucofaan-eklogiet, *blauwschist, jadeitiet*, lawsoniet-schist, albitiet en (granaat)-amfiboliet. Het is duidelijk dat deze gesteenten tot grote diepte in een subductiezone zijn afgezakt en dat dus de Motagua breukzone een serpentijn-matrix *subduction mélange* is. Deze breukzone was actief sinds het Vroege Krijt en is vandaag nog actief, zoals vele aardbevingen getuigen.

Mesoscopische deformatiestructuren in de Motagua breukzone (afb. 7) suggereren dat zij gevormd werden als het gevolg van voornamelijk horizontale verschuivingen langs steile oost-west breuken en schuifvlakken, zowel de structuren die zich op grote diepte vormden (isoclinale plooien), alsook de structuren die zich dichtbij de oppervlakte van de aarde (breuken) vormden. Megascopische structuren zijn zuid-vergente plooien en overschuivingen in het Chortís blok, en noord-vergente plooien en breuken in het Maya blok. Velen vergeleken deze structuren met *flower structures*. Wij hebben vele jadeitiet-, eklogiet-, en amfiboliet-monsters verzameld voor geochronologische analyse ($^{40}Ar/^{39}Ar$). De ouderdommen van alle monsters ten zuiden van de Motagua variëren tussen 125 en 113 Ma, terwijl de monsters uit het noorden een ouderdom gaven van 77 tot 53 Ma. Deze gegevens zijn gepubliceerd (Harlow et al., 2004). Dit resultaat was de doodsteek voor het *flower-structure* model. Wij suggereerden, dat de Midden-Krijt ouderdommen te maken hebben met de botsing *(collision)* en de zuidwestelijke overschuiving van het Maya blok over het Chortís blok. Vervolgens begon Chortís langs de kust af te zakken naar het zuiden langs de Paleo-Motagua breukzone. Tot ongeveer 115 Ma bewoog de Farallon schol zich naar het zuidoosten, maar rond deze tijd begon Farallon naar het noordoosten te migreren en Chortís botste rond 70 Ma voor een tweede keer tegen Maya op en schoof over het Maya blok (e.g., Harlow et al., 2004).
De jongste geschiedenis van de Motagua breukzone is alleen maar kwalitatief. Wij zijn bezig om apatiet en zirkoon *fission-track*-analyses te laten uitvoeren. Hopelijk zullen deze gegevens de latere Neogene en Kwartaire tektonische gebeurtenissen beter belichten.

Jadeitiet

Jadeitiet wordt gevonden als aders in serpentiniet. Zowel ten noorden als ten zuiden van de Motagua breukzone komt jadeitiet voor. De jadeitiet in het noorden bestaat voornamelijk uit jadeiet met wat omfaciet, phengiet, paragoniet, rutiel, zirkoon en apatiet. De meeste jadeitieten hebben retrograde metamorfose ondergaan; secundaire mineralen zijn albiet, omfaciet, zoisiet, taramiet, preiswerkiet, analciem, nefelien, grafiet, banalsiet, cymriet, hyalofaan/celsiaan en sulfiden. De jadeitieten ten zuiden van de Motagua breukzone vertonen geen retrograde metamorfose. Voorheen werd verondersteld dat de jadeitieten het resultaat waren van metasomatose van tektonische insluitsels van graniet, plagiograniet en gneis. Ondanks uitgebreide studies werden echter geen relicttexturen gevonden. Aangezien de jadeiet vaak ritmische zonering vertoont lijkt het dat het gevormd is uit een vloeistof, rijk aan zeewater. Afb. 8.
Dus bestaat de mogelijkheid, dat gedurende het Vroege Krijt de zuidelijke jadeitieten ontstonden in een noordoostwaarts duikende subductiezone, oftewel in een zuidwestwaartse overschuivingszone. Later, in het Late Krijt, werden de gesteenten naar het noordoosten geschoven.



Afb. 8. Cathodoluminescent beeld van 100% pure jadeiet. Het beeld wordt gevormd door een gewoon slijpplaatje in een vacuüm-kamer te bombarderen met een elektronenstraal. Ritmische heldere en donkere overgroeisels over gecorrodeerde witachtige korrels suggereren groei in een open ruimte. Foto: Dr. Sorena Sorensen.

Dankbetuiging

Ik ben dank verschuldigd aan George Harlow en Sorena Sorensen, maar vooral aan mijn collega Jinny Sisson, zonder wie ik nooit de kans had gehad om jade te bestuderen.

Bibliografie

- Donnelly, T.W., Horne, G.S., Finch, R.C., en López-Ramos, E., 1990, Northern Central America; the Maya and Chortís blocks, *in* Dengo, G., en Case J.E., eds., The Caribbean region: Boulder, Colorado, Geological Society of America, The Geology of North America, v. H, p. 37-76.
- Harlow, G.E., Hemming, S.R., Avé Lallemant, H.G., Sisson, V.B. en Sorensen, S.S., 2004, Two HP-LT serpentinite-matrix mélange belts, Motagua fault zone, Guatemala: A record of Aptian and Maastrichtian collisions: Geology, v. 32 (1), p. 17-20.
- Pindell, J. L., en Barrett, S. F., 1990, Geological evolution of the Caribbean region; A plate tectonic perspective, *in* Dengo, G. and Case, J.E., eds., The Caribbean region: Boulder, Colorado, Geological Society of America, The Geology of North America, v. H, p. 405-432.