

# Georeis Marokko

Fotoserie

door Paul van Olm

paulvanolm@gmail.com

De Stichting "Georeizen" organiseert thematische geologische reizen onder leiding van vakgeologen voor iedereen die geïnteresseerd is in de aarde en haar geologische geschiedenis en ontstaan. In de afgelopen vijftien jaar werden er zes reizen naar de fossielen en mineralen van Marokko georganiseerd. Deze fotoserie is toegespitst op de fossielen en landschappen van de berggten van de Hoge Atlas en de Anti-Atlas. Door het vaak ontbreken van vegetatie krijgt men een onwaarschijnlijk goed beeld van de geologie.

## HOGE ATLAS

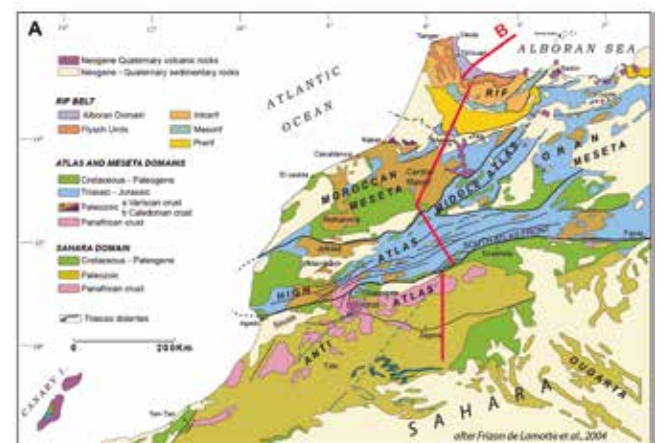
Het Atlasgebergte strekt zich over een afstand van zo'n 1500 km over Noordwest-Afrika uit, van Agadir in het zuidwesten tot Tunis in het noordoosten. Het hoogste gedeelte ligt in Marokko ten zuiden van Marrakech, met de Jebel Toubkal (4167 m) als hoogste top. Verder naar het oosten splitst de Midden-Atlas zich als een aparte keten af in meer noordelijke richting, om ruwweg bij Oujda de Middellandse Zee te bereiken (afb. 1ABC).



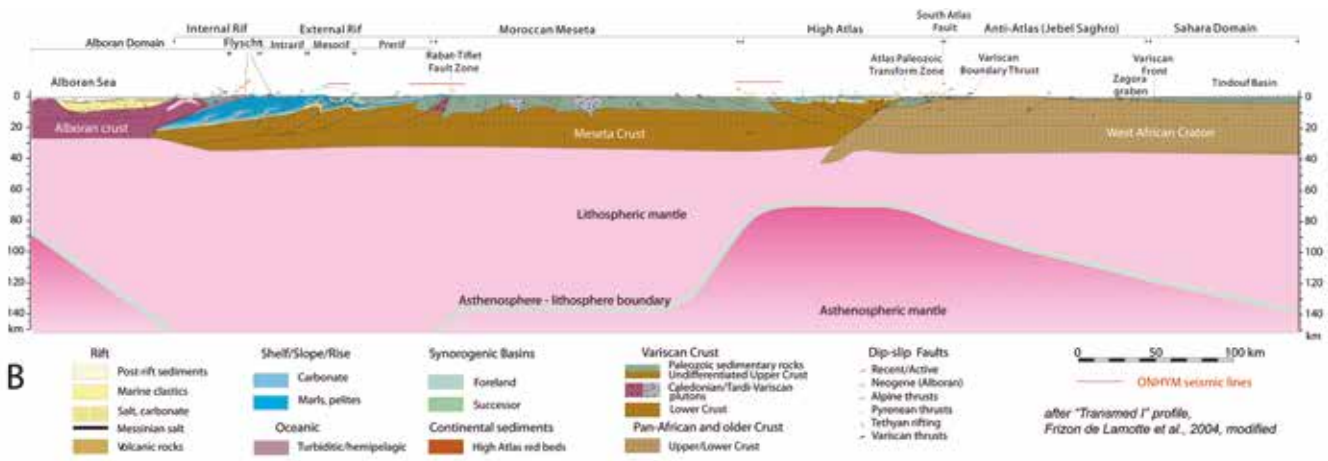
▲ Afb. 1A. Dit kaartje toont de belangrijkste geologische structuren in Marokko. Die structuren lopen zuidwest-noordoost. In het zuiden ligt de Anti-Atlas, ten noorden daarvan ligt de Hoge Atlas, met de aftakking genaamd Midden-Atlas. De Anti-Atlas bestaat uit de oudste gesteenten: Precambriësch en Paleozoïsch. De Hoge en Midden-Atlas bestaan voornamelijk uit Mesozoïsche en jongere gesteenten. In het uiterste noorden ligt het Rifgebergte. Bron: Michard et al., 2008. Met toestemming.

De Hoge Atlas is een alpien plooiingsgebergte met dikke sedimentpakketten van overwegend Mesozoïsche en Tertiaire ouderdom. In het westelijk gedeelte komen echter ook uitgestrekte ontsluitingen van Precambriësche en Paleozoïsche ouderdom voor, met intrusies van Precambriësche granieten. Een grote granietintrusie dagzoomt op de Tichka-pas (2260 m), waar Precambriësche kalken door contactmetamorfose zijn omgezet. Deze gesteenten lijken sterk op het Precambrium en Paleozoïcum van de Anti-Atlas (de berggteketen ten zuidoosten van de Atlas) en zijn gedeformeerd door de Hercynische orogenese. De voornaamste plooiingsfase in Marokko voltrekt zich op de grens van Mioceen en Pliocene, maar is door de onduidelijke chronologie van de Mioceen en Pliocene afzettingen moeilijk exact te dateren. Wel is zeker dat deze laatste plooiingsfase verantwoordelijk is voor het huidige reliëf van de Hoge Atlas en gedeeltelijk ook voor dat van de Anti-Atlas.

Tussen de Hoge Atlas en de Anti-Atlas loopt een grote breuk, die de noord- en zuidkant van Marokko in tweeën deelt. Het zuiden is een stabiel domein met gesteenten van voornamelijk Precambriësche en Paleozoïsche ouderdom. In het noordwesten ligt een meer mobiel domein, bestaande uit Alpiëne plooiingsgebergten van meer recente, voornamelijk Mesozoïsche ouderdom. De jonge plooiingsgebergten zijn nog steeds in beweging.



▲ Afb. 1B. Geologische kaart van Marokko, met de ouderdom van gesteenten in meer detail dan 1A. In de Anti-Atlas zijn gesteenten van het Precambriësche Afrikaanse kraton te vinden (in roze), met daaraan Paleozoïsche afzettingen (oker). De Hoge Atlas en de Midden-Atlas bestaan vooral uit Trias- en Jura-afzettingen (blauw), met daaraanheen Krijt (groen). In het noorden van het land ligt het Rifgebergte, met opgestuwde oceanische gesteenten van het westelijk deel van Tethys, de Alboránzee. Over het geheel heen zijn lokaal jonge sedimenten afgezet (in lichtgeel). De rode lijn geeft de dwarsdoorsnede aan, die in afb. C is te zien. Bron: Michard et al., 2008. Met toestemming.



▲ Afb. 1C. Dwarsdoorsnede door Marokko, min of meer noord-zuid lopend. Links is noord ('B'). In het noorden zijn de vele overschuivingen zichtbaar die tijdens de Alpiene orogenese de afzettingen van de noordelijk gelegen Alboránzee (Tethys Oceaan), zoals bijv. de diepmariene flysch, over de Paleozoïsche sedimenten van de 'Meseta crust' hebben geschoven. Het huidige Rifgebergte is het gevolg van deze tektonische bewegingen. De Rabat-Tiflet Breukzone scheidt dit deel af van de zuidelijker gelegen, vlakkere, Marokkaanse Meseta. Deze bestaat uit gesteenten van Paleozoïsche ouderdom, vervormd tijdens de Varistische orogenese en later geërodeerd tot een vlakker gebied. Verder zuidelijk ligt de Hoge Atlas, met opnieuw Alpiene overschuivingen, maar nu van zuid naar noord, over de Meseta heen. Het gebergte van de Hoge Atlas is daar een gevolg van, maar de opheffing heeft mogelijk ook te maken met extra activiteit in de mantel onder dat gebied (de 'Asthenospheric mantle', het iets plastischer deel van de mantel dan de bovenliggende lithosfeer). Een grote breuk (de South Atlas Fault) scheidt de Hoge Atlas van de Anti-Atlas: het Precambriese Afrikaanse kraton schuift daar onder de Hoge Atlas. De Anti-Atlas was tijdens de Varistische Orogenese al vervormd. Meer naar het zuiden ligt het tektonisch rustige Afrikaanse kraton. Bron: Michard et al., 2008. Met toestemming.

Dat bleek op 8 september jl. weer met een grote aardbeving in het gebied van de Hoge Atlas, met een kracht van 6,8 op de schaal van Richter. Deze beving was het gevolg van spanning tussen de plaatgrenzen (Afrika en Eurazië), maar de beving vond op een afstand van enige honderden kilometers van de plaatgrens plaats. Ook ver van de plaatgrens zijn zwaktezones die in beweging kunnen komen, wat in Marokko het geval was (Andeweg, 2023). De gevolgen van deze beving waren desastreus. Dit werd mede veroorzaakt door de bouwwijze van de huizen in veel

bergdorpen. Men gebruikt plaatselijk materiaal (leem), dat prima voldoet als bouw materiaal, maar dat tijdens een beving verpulvert. Bewoners in de goedkopere huizen bleken kansloos te zijn als ze binnen waren. Tijdens de excursie van april 2023 kwamen we door het bergdorp Moulay Brahim (afb. 2). De NOS meldde op 9 september jl. in een ooggetuigenverslag dat het dorp weggevaagd is (zie referentie). Ook in het beroemde dorp Ait bin Haddou (afb. 3) zijn de vele kashba's gebouwd met lokaal materiaal, maar hier heeft de beving geen schade aangericht.



▲ Afb. 2. Op aanraden van onze hoofdchauffeur namen we een andere weg terug door de Hoge Atlas op de terugweg naar Marrakech in april van dit jaar. Het bleek een adembenemend mooie bergweg, maar in september werd juist dit gebied zeer zwaar getroffen door de aardbeving van 2023. Het probleem is dat de huizen in dit soort dorpen vooral van klei en leem zijn gebouwd. Goedkoop en het materiaal is er overal voorhanden. Als de aarde schudt, verpulveren ze als het ware. De iets rijkere huizen, waar beton is toegepast, zijn beter bestand tegen dat geweld. Foto: Irene de Graaff.



▲ Afb. 3. Ait bin Haddou - een aaneenschakeling van kashba's. De vele kashba's zijn gebouwd met lokale materialen en vormen een kenmerkend element in het landschap.



▲ Afb. 4. De flanken van de Hoge Atlas bestaan vooral uit Jura-gesteenten: niet verwonderlijk dat er op vele plaatsen dinosporen zijn gevonden. Op de foto kleine dinosauriërsporen (drieteen) in Jura-kalken bij Ait Blal. N 31 41 01 W 6 41 51.



▲ Afb. 5. Evaporieten bij Telouet op de weg naar de Tizi'n (pas) Tichka, uit het Perm-Trias. Deze dagzomen "halverwege" de pas over de Hoge Atlas vanuit Marrakech. Hogerop worden de lagen steeds ouder (het is een grote anti-clinische structuur): Cambrium/Precambrium op de pas, waar ook de granietintrusie uit de kern van het gebergte dagzoomt. Tijdens de afdaling naar Ouarzazate zijn dezelfde lagen, maar in omgekeerde volgorde waar te nemen.



▲ Afb. 6. Kloof van de Todra. De diepe en hoge kloven vinden we vooral aan de zuidzijde van de Hoge Atlas: de snelle opheffing vanaf het Tertiair leidde tot sterke insnijding en enige spectaculaire kloven, die tegenwoordig talloze toeristen trekken.



▲ Afb. 7. Fossielen (en mineralen) zijn in Marokko behoorlijk "handel". Langs de weg zijn overal stalletjes met fossielen en mineralen te koop. De kwaliteit laat nogal eens te wensen over en de echtheid is vaak niet zeker. We bezochten het dorp Sidi Rahal, waar enige groothandels gevestigd zijn, met onwaarschijnlijk grote voorraden (wel echt overigens).



▲ Afb. 8. Wolzakverwerking van zandstenen in het dal van de Dades. In een ander deel van de Hoge Atlas, heeft deze rivier ook een diepe en zeer nauwe kloof uitgeslepen. Tot op grote hoogte in de wand zijn de stroomkolken te zien. Lager in de vallei vinden we typisch verweerde kalkrijke zandstenen. Door de sterke plooiing van dit gedeelte van de Hoge Atlas is de kalkrijke zandsteen sterk gebroken oftewel gediaklaseerd. Het patroon van de diaklazen hangt af van de drukrichting die de plooiing veroorzaakt. Omdat kalk relatief makkelijk oplost, vindt langs de diaklazen versnelde verwerking en daardoor afronding plaats. Eenzelfde type verwerking doet zich ook voor in granieten, waar het dan wolzakverwerking genoemd wordt, vanwege de morfologische overeenkomst met een stapel wolzakken. De verwerking van granieten duurt echter vele malen langer dan die in deze sedimentgesteenten.



▲ Afb. 9. Een goede plek voor een gesteentenpracticum (excursie 2016): zittend geoloog Rein van Enk, links naast hem GEA-voorzitter Hans Sanders en helemaal rechts de auteur (destijds secretaris van de NGV). Verder op de foto: Henk Druppers en Irene de Graaff.



▲ Afb. 10. In de Triassische basalten op de zuidflank van de Hoge Atlas vinden we uitgeërodeerde agaten in allerlei groottes en kleurschakeringen. Op de foto de agatenvindplaats bij Agouim. N 31 29 24 W 7 26 20; KM paal 383 (tussen Marrakech en Ouarzazate enige km over de pas heen).



▲ Afb. 11. Behalve islamitische bouwwerken, de belangrijkste cultuurhistorische bezienswaardigheden, zijn er ook petrogliefen te bewonderen, o.a. ten zuiden van Alnif en ook in de Hoge Atlas. Van de prehistorische rotstekeningen is de ouderdom onbekend, maar ze zijn in ieder geval pre-islam. Merkwaardigerwijze besteedt de lokale bevolking nauwelijks aandacht aan petrogliefen. Men heeft misschien (nog) niet door dat deze een toeristische trekpleister kunnen zijn. Prehistorische petrogliefen vonden we op verschillende plaatsen. Hier een fenomenaal voorbeeld bij het Berber dorpje in de buurt van N 31 37 54 W 6 36 19, bij een zink/loodmijn.

▼ Afb. 12. Sneeuw, op deze foto bij Imilchil, is niet ongebruikelijk op de hogere delen van de Hoge Atlas. Ook in de zomer blijft er het nodige liggen.





▲ Afb. 13. Licht hellende sedimentaire lagen van de Anti-Atlas bij de beroemde vindplaats van Phacops, ten zuiden van Alnif, bij de Djebel Tiskaouine (Djebel = berg). Het is een bijzonder rijke vindplaats; de lokale bevolking "wint" de fossielen voor de toeristenindustrie er op welhaast een "industriële" manier. In bepaalde lagen zitten in ieder blokje sediment van 30x30 cm wel één of meerdere Phacopsen. Het zijn kleiige zandsteenlagen uit het Boven-Ordovicium. De meest voorkomende trilobietensoort is de *Golpocoryphe grandis*, uit de familie Calymenidae (de orde van de Phacops). Een gaaf exemplaar heeft prachtige facetogen. Altijd bijzonder als je zo'n blok splijt en ogen van 450 miljoen jaar oud je als het ware aankijken. Meestal zijn de ogen echter niet bewaard gebleven of ze gaan kapot bij het openvallen.



▲ Afb. 14. Phacopsen te over bij de Djebel Tiskaouine.

## ANTI-ATLAS

Het Anti-Atlas gebergte loopt min of meer parallel aan de Hoge Atlas en strekt zich uit van de Atlantische Oceaan in het zuidwesten tot Erfoud in het noordoosten. Geologisch gezien bestaat de gebergteketen uit een groot anticlinorium van Paleozoïsche sedimenten. Een anticlinorium is een grote regionale anticlinische structuur: de lagen zijn in een A geplooid. Echter, op de flanken komt een afwisseling van kleinere anticlines en synclines voor. In de kern van dit anticlinorium zijn Precambrische massieven blootgelegd die het oorspronkelijke basement van het West-Afrikaanse schild vertegenwoordigen. De structuur kan als het ware opgevat worden als een opwelling van het basement of, met een Franse term, een "bombement du fond". De Paleozoïsche lagen liggen discordant op de gesteenten van het basement, dat onderhevig is geweest aan de Pan-Afrikaanse orogeenese op de overgang Precambrium-Paleozoïcum. De Anti-Atlas is het grootste gebied in Marokko waar Paleozoïsche afzettingen dagzomen. In het westen zijn ze 8 km dik in het oosten bereiken ze een dikte tot 4 km. De lagen zijn scheefgesteld en hellen naar het zuiden, zodat we aan de noordrand van het Anti-Atlas gebergte de oudste afzettingen vinden met een zone van Precambriësch gesteente.



▲ Afb. 15. Onze gids, paleontoloog Mohand Ihmadi, laat zien hoe "makkelijk" je met enige handigheid en ervaring een Phacops kunt vinden. Vindplaats Djebel Tiskaouine (Ordovicium). N 30 50 11 W 4 58 49.



▲ Afb. 16. De Anti-Atlas is lager dan de Hoge Atlas, maar nog behoorlijk hoog. Aan bergwegen geen gebrek.



▲ Afb. 17. De auteur op Georeis voor de ingang van de verlaten zink/loodmijn bij Aroz. N 31 37 54 W 6 36 19.



▲ Afb. 18. De plooiing en uiterodering van lagen in de Anti-Atlas levert vaak prachtige patronen op.



▲ Afb. 19. Rode trilobieten (*Asaphellus fezouataensis*) in het Ordovicium van Zagora N 30 51 04 W 6 01 12. De fossielen zijn rood als gevolg van de rode kleurstof in het sediment: goethiet.

### Tijd meten met stromatolieten

Stromatolieten zijn meer een sedimentaire structuur dan echte fossielen. Tijdens de groei van de algenkolonie richten de structuren zich naar de zon toe. De richting van de stromatolietkolom vertoont daardoor één S-curve in één jaar. Het is dus mogelijk om het aantal dagen (het aantal laagjes dat in één S-curve gevormd is) in een jaar te tellen. Bij stromatolieten van 850 miljoen jaar oud bleek men uit te komen op 430 dagen in een jaar. Een vergelijkbaar onderzoek aan koralen van 370 miljoen jaar geleden leverde 400 dagen in een jaar op (zie ook het artikel van Tom van Loon, *Gea* 2023/2, red.). Ook fossiele schelpen kunnen cyclische groei vertonen. Zo leverden 73 miljoen jaar oude schelpen een aantal van 370 dagen in een jaar op. Als we onze gegevens extrapoleren naar het verleden kunnen we ervan uitgaan dat de aarde bij haar ontstaan, 4600 miljoen jaar geleden, jaren had met tweemaal zo veel dagen als nu (McNamara, 1992).



▲ Afb. 20. Ten zuiden van Ouarzazate bezoeken we een helling met stromatolieten. Het gaat hier om rond 600 miljoen jaar oude afzettingen uit de laatste fase van het Precambrium. Het zijn algenmatten die bestaan uit gelaagde afzettingen, waarin een dag- en nachtritme te zien is. De slijmerige (levende) matten van cyanobacteriën vangen anorganisch materiaal (sediment) op, een proces dat dag en nacht doorgaat. De algen zijn afhankelijk van het licht en zijn alleen overdag actief. 's Nachts wordt er alleen sediment (calciumcarbonaat) ingevangen en overdag vormen de cyanobacteriën daar weer een mat op. N 30 47 33 W 6 43 20.

### Fossielenvindplaats bij Zagora

Naast deze trilobieten zijn er bij Zagora ook andere fossielen gevonden, die sterk doen denken aan de beroemde Burgess Shale fauna die in het begin van de 20ste eeuw in Canada is ontdekt. Daar werd een compleet nieuwe Cambriëse fauna gevonden. In de diepzeeschalies van de Burgess Shale (die nu in de bergen op meer dan 2000 m hoog liggen) werden naast bekende macrofossielen heel andere fossiele levensvormen aangetroffen. Lang dacht men dat deze "probeersels van de evolutie" in het Midden-Cambrium waren uitgestorven. In de laatste decennia zijn er echter op verschillende plaatsen op de wereld in Paleozoïsche lagen vergelijkbare fossielen (vaak zgn. soft-body fossils) gevonden. Er zijn nu dertien op de Burgess Shale gelijkende vindplaatsen bekend (de meeste uit het Cambrium, maar ook vijf uit het Ordovicium). Eén van deze Ordovicische vindplaatsen ligt in Marokko bij Zagora, in de Fezouata Formatie. Van Roy (2015) vond hier het holotype van een nieuwe arthropode: een Furca.

De afzettingen van de Fezouata Formatie uit het Onder-Ordovicium hebben een grote verspreiding in de Anti-Atlas. Hier werden aanvankelijk door een lokale verzamelaar fossielen gevonden die sterk deden denken aan de Burgess shale fauna. Er werden vijf nieuwe (nog niet eerder beschreven) vormen van *Anomalocaris* gevonden. Vroege vormen van geleedpotigen en voorlopers van de crinoïden (zeelelies) komen ook voor. Zo oud waren deze nog nooit gevonden. De vindplaats is inmiddels een beschermde UNESCO-geosite geworden. Toch zijn er de nodige fossielendelvers actief. Bij één van onze bezoeken werd er een (stuk van een) Furca (afb. 23) gevonden. De vraagprijs in het veld was dan ook € 250,- ! De coördinaten van deze Geosite zijn N 30 49 45 W 5 88 81.



▲ Afb. 21. Devonische rifkalken tussen Rissani en Mcissi met een prachtige open geërodeerde Nautilus (alle kamers zijn zichtbaar) en vele kleine ronde goniatieten (Paleozoïsche ammonieten). Het gesteenteoppervlak van grote delen van het gebied is bedekt met woestijnlak. Woestijnlak ontstaat in hete, droge gebieden als gevolg van chemische verwerking. Het aanwezige water wordt door capillaire werking naar de oppervlakte gezogen en bekleedt de korrels en het gesteenteoppervlak met dunne laagjes van ijzer en mangaan, die een donker oppervlak vormen. Dit donkere oppervlak wordt woestijnlak genoemd. Zie ook afb. 20, waar de stromatolieten ook prachtige pikzwarte glimmende woestijnlak vertonen.



▲ Afb. 24. In de zandwoestijn worden dromedarissen gehouden, vooral voor de toeristen. Bij Zagora staat nog steeds een bordje dat in het niets van de woestijn wijst met de tekst: Timboektoe 52 dagen.



▲ Afb. 25. Sahro-granietgebergte met (overliggende) Paleozoïsche sedimenten op de achtergrond: dit zijn horizontaal dagzomende zuidhellende lagen van sedimentaire gesteenten van het Anti-Atlas gebergte.



▲ Afb. 22. De gigantische zandduinen in de zandwoestijn bij Rissani vormen ook een toeristische trekpleister.



▲ Afb. 23. De Furca gevonden door een beroepszoeker, vraagprijs 250 euro. Foto: Henk Druppers.

## Referenties en leessuggesties

- Sjoerd Wendelaar Bonga. De Fezouata Konservat-Lagerstätte. Een unieke fossielenvindplaats uit het Onder-Ordovicium van Marokko. In *Gea* 2017/3. Online te lezen via [natuurtijdschriften.nl/pub/1010433](http://natuurtijdschriften.nl/pub/1010433)
- A.P. van Viersen. De trilobieten van de 'Mur des douaniers' in Vireux-Molhain (Noord-Frankrijk). Correlaties tussen trilobieten uit de Ardennen en Marokko. In *Gea* 2022/1.
- Rein van Enk en Paul van Olm. Excursiegidsen Marokko 2010, 2013, 2014, 2016, 2019 en 2023. Uitgave Stichting voor Geowetenschappelijke Activiteiten "Georeizen", Utrecht.
- Patrice Lebrun. Fossiles du Maroc. Tome 1. Gisements emblématiques du Paleozoïque de l'Anti-Atlas. Les Editions du Piat, 2018, 298 p.
- McNamara, K.J. 1992: Stromatolites, Western Australian Museum.
- Van Roy, P., Briggs, D.E.G., Gaines, R.R. The Fezouata fossils of Morocco; an extraordinary record of marine life in the Early Ordovician, *Journal of the geological society* 2015, 017. <http://jgs.lyellcollection.org>
- [nos.nl/collectie/13949/video/2490068](http://nos.nl/collectie/13949/video/2490068)-verslag-uit-het-rampgebied-in-moulay-brahim-is-alles-kapot
- Aarde kent steeds langere dagen, door Tom van Loon. In: *Gea* 2023/3.
- Michard, A., Saddiqi, O., Chalouan A., Frizon de Lamotte D. (Eds): *Continental evolution: The geology of Morocco*, Lecture notes in earth sciences 116, Springer, Berlin, 2008, 423 p. Hoofdstuk 1 is online te raadplegen via ResearchGate.
- Bernd Andeweg. Platen zijn geen rigide blokken: de aardbeving in Marokko op 8 september 2023. *Geografie*, 13 september 2023. Online te lezen via [geografie.nl/artikel/platen-zijn-geen-rigide-blokken-de-aardbeving-in-marokko-op-8-september-2023](http://geografie.nl/artikel/platen-zijn-geen-rigide-blokken-de-aardbeving-in-marokko-op-8-september-2023)