



Aardbevingen
in “stabiele” gebieden van Europa:

een tijdbom?

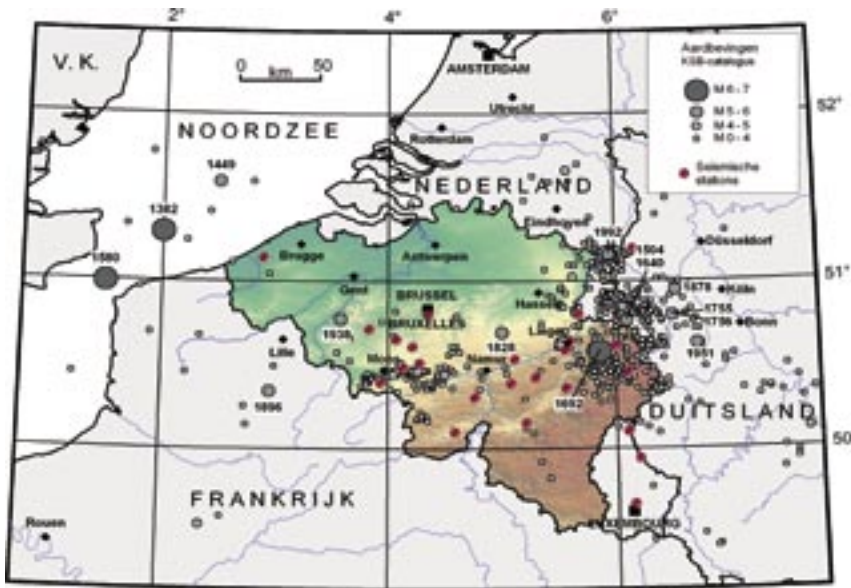
Meer dan 90% van de seismische activiteit in de wereld gebeurt aan de rand van grote lithosferische platen die de aarde bedekken. Toch is er ook een niet te verwaarlozen seismische activiteit in bepaalde gebieden op relatief grote afstand van deze plaatranden. Deze streken worden vanuit tektonisch standpunt vaak als “stabiel” beschouwd en er bestaan in het algemeen geen preventieve maatregelen tegen mogelijke grote aardbevingen die er zich zouden kunnen voordoen. Dat heeft dramatische gevolgen wanneer er werkelijk een dergelijke grote beving plaatsvindt. Onderzoekers staan voor een grote uitdaging om de grootte van deze “zeldzame” aardbevingen in te schatten en na te gaan

waar en met welke frequentie ze zich kunnen voordoen. De afgelopen jaren hebben onderzoekers van de afdeling seismologie van de Koninklijke Sterrenwacht van België methoden ontwikkeld die dit soort vragen moeten helpen beantwoorden voor het noordwesten van Europa en voor andere zogenaamde *intraplaatzones* in de wereld.

© J.Wouters, Le Soir, 1983

De huidige seismische activiteit: het Belgisch seismisch netwerk

Het noordwesten van Europa, van de Rijnvallei tot het zuiden van de Noordzee, wordt gekenmerkt door een zwakke seismische activiteit in vergelijking met de glo-



Seismische activiteit in België en grensgebieden sinds het jaar 1300 (catalogus van de Koninklijke Sterrenwacht van België). Bij aardbevingen met een gemeten of geraamde magnitude groter dan 5.0 is het jaartal aangegeven.

bale seismische activiteit. Nochtans krijgt de bevolking er bijna jaarlijks met aardbevingen te maken. Niet zelden hebben die aanzienlijke schade als gevolg. Dat was het geval in de streek van Luik op 8 november 1983 en rond Roermond in Nederland op 13 april 1992.

In Luik werden meer dan 16 000 huizen getroffen in een straal van drie kilometer rond het epicentrum. Meer dan 700 families moesten elders een onderkomen zoeken. Dat een dergelijke, eerder zwakke aardbeving (magnitude $M = 4.7$) toch zoveel schade kon berokkenen, had te maken met het feit dat ze zich vrij dicht bij het aardoppervlak voerde in een dichtbevolkte regio. Bovendien zijn bakstenen constructies, typisch voor oude industriegebieden in het noordwesten van Europa, redelijk kwetsbaar. De meest zichtbare schade was dan ook het gevolg van vallende schoorstenen (zie foto p. 23). Ook andere delen van gebouwen zoals natuurstenen frontons of schoorsteenkappen vielen naar beneden. Talrijke daken en voor de huizen

geparkeerde voertuigen werden op die manier beschadigd. Indien de aardbeving zich overdag had voorgedaan waren er wellicht veel dodelijke slachtoffers geweest.

De aardbeving in Luik deed de autoriteiten inzien dat het belangrijk was de seismische activiteit in onze streken goed in de gaten te houden. Het seismisch waarnemingsnetwerk dat de Koninklijke Sterrenwacht geleidelijk aan ontwikkelde, bestaat momenteel uit 40 seismische stations (zie illustratie) die continu trillingen in de bodem meten. Het doel van dit netwerk is om permanent de seismische activiteit in onze streken te registreren. Meestal gaat het om talloze zwakke bevingen, die niet worden gevoeld, maar wel gedetecteerd en precies gelokaliseerd moeten worden. Deze waarnemingen vormen een belangrijke basis voor wetenschappelijk onderzoek van aardbevingen in onze regio. Door analyse van de seismische signalen kan men nagaan welke trillingen door aardbevingen worden veroorzaakt. Daaruit kan snel alle mogelijke informatie worden gehaald over de seismische gebeurtenissen die in België worden gevoeld. Zo kan men vlug en doeltreffend hulp sturen indien er zich in de toekomst vernietigende aardbevingen zouden voordoen. De instrumenten registreren overigens niet alleen aardbevingen, maar bijvoorbeeld ook de val van meteorieten of micro-seismische trillingen van meteorologische oorsprong. En ze meten ook menselijke activiteit zoals explosies in steengroeven of bij het graven van een kanaal of "geïnduceerde" aardbevingen.

Sporen van grote aardbevingen van het verleden in de topografie en de geologie

De meeste aardbevingen met een magnitude van meer dan 5.0 in onze streken gebeurden over het algemeen op verschillende plaatsen (zie illustratie). Er is een grote kans dat de volgende belangrijke schok zich zal voordoen op een plaats die tot nu toe vanuit seismisch standpunt als weinig actief wordt beschouwd. Deze opmerking

Aardbevingen in het verleden

De moderne seismische netwerken zijn relatief recent. Het grootste deel van de informatie in verband met seismische activiteit moet dus uit historische archieven worden gehaald. Maar spijtig genoeg bestonden de meeste Europese catalogi van vóór 1980 uit weinig kritische compilaties van historische bronnen. De betrokkenheid van professionele historici bij dit soort onderzoek heeft geleid tot meer kwalitatieve en betrouwbare kennis van de seismische activiteit in bepaalde regio's van Europa. Dankzij onderzoek van de Koninklijke Sterrenwacht van België heeft men nu een beter idee van de seismische activiteit in onze streken. De illustratie hierboven toont de epicentra van aardbevingen in onze streken sinds de 14de eeuw. Voor de belangrijkste aardbevingen werd bovendien specifiek onderzoek verricht om hun magnitude en impact

beter in te schatten. Zo wijzen bijvoorbeeld talrijke historische documenten over de aardbeving van 18 september 1692 erop dat het om een uitzonderlijk grote aardschok ging (zie illustratie hiernaast). Ze lieten ook toe het epicentrum te lokaliseren in het noorden van de Belgische Ardennen, waar grote ravage werd aangericht. De kaart toont dat er ook schade was over een uitgestrekt gebied van Kent in Engeland tot het Rijnland en tot het centrum van de Champagnestreek. Hoewel Engeland aan de rand van de zone ligt waarin de aardbeving werd waargenomen, is de aardbeving van 1692 één van de grootste die er ooit is gevoeld. De magnitude van de beving wordt geschat tussen 6.0 en 6.5, door de omvang van de zone waar de schok werd gevoeld en van het gebied met schade te vergelijken met deze bij recente aardbevingen. Onderzoek samen

illustreert dat de gekende seismische activiteit niet representatief is voor de seismische activiteit op lange termijn en niet volstaat om ons volledige informatie te leveren over de mogelijke plaatsen waar grote aardbevingen zich in de toekomst zullen voordoen. Voor onderzoek van de seismische activiteit in een bepaalde regio op langere termijn hebben we een zo lang mogelijk tijdsperspectief nodig. Een aardbeving is in feite een plotse en catastrofale gebeurtenis die zich voordoet langs een breuklijn of in een bepaald gebied en die het resultaat is van een lang geologisch proces. Omdat de breuk als gevolg van een grote aardbeving tot aan het aardoppervlak kan reiken laat ze in het algemeen – maar niet altijd – sporen na in de geologie en de morfologie van het landschap. Daarnaast kunnen de amplitude en de duur van sterke bodemtrillingen tijdens een aardbeving vervormingen van losse bodemlagen tot gevolg hebben (liquefactie, aardverschuivingen...). Op die manier kunnen geologen er sporen van terugvinden en ze interpreteren. Dit is de doelstelling van wetenschappelijke onderzoeksdomeinen zoals aardbevingsgeologie en paleoseismologie.

De meeste kwantitatieve waarnemingen in verband met actieve breuken en hun relatie met seismische activiteit zijn afkomstig uit gebieden van de aarde met een belangrijke seismische activiteit. In deze gebieden gebeuren grote aardbevingen langs actieve breuklijnen met gemiddelde tussenperiodes van enkele tientallen tot enkele honderden jaren, en bewegen de breuken met een gemiddelde snelheid van enkele millimeters tot enkele centimeters per jaar. Op die manier veranderen ze de morfologie van het landschap en doen ze, gezien op geologische tijdschalen, grote structuren ontstaan. In intraplaatzones zoals het noordwesten van Europa, zijn grote aardbevingen veel zeldzamer. We vinden opeenvolgende bevingen niet noodzakelijk in het landschap terug. Verschijnselen als erosie en afzetting doen kleine breukverplaatsingen immers weer teniet. Toch scheidt in de streek van Bree in Belgisch Limburg de *Feldbiss*-breuklijn van het noordwes-

ten naar het zuidoosten het Kempens Plateau van de Roerdalslenk (pagina 26). Deze vrij rechtlijnige steilrand is 10 kilometer lang en heeft een hoogteverschil van 15 tot 20 meter. Sinds een honderdtal jaar beschouwen Belgische geologen dit als de morfologische uitdrukking van een breukzone met een relatief recente activiteit. De 350 000 tot 700 000 jaar geleden afgezette sedimenten van de Maas en de Rijn hebben er immers een verticale verplaatsing van 35 tot 40 meter ondergaan. De breuk maakt deel uit van een groot netwerk van breuken die de Roerdalslenk begrenzen met een totale lengte van ongeveer 300 kilometer. Hoewel de seismische activiteit in de Roerdalslenk in verband werd gebracht met deze breuken, werden de steilranden in de morfologie van het landschap tot voor kort beschouwd als het resultaat van ofwel continue, "a-seismische" (niet gepaard met aardbevingen) bewegingen, ofwel eenvoudigweg als het gevolg van differentiële erosie aan weerskanten van de breuk. Men beschouwde grote aardbevingen en de permanente coseismische verplaatsingen aan het oppervlak die er het gevolg van zijn, als zeer onwaarschijnlijk.

In 1996 startte de Koninklijke Sterrenwacht van België gedetailleerd onderzoek van de breuk van Bree. De KSB wilde op zoek gaan naar aanwijzingen van eventuele grote aardbevingen in een geologisch recent verleden. Het onderzoek werd gefinancierd door de Europese projecten *PALEOSIS* (1998-2000) en *SAFE* (2001-2004) en door de acties ter aanmoediging van wetenschappelijk onderzoek in de federale wetenschappelijke instellingen van het Federaal Wetenschapsbeleid. Het gaat om een combinatie van nauwkeurig morfologisch onderzoek op het terrein, gebaseerd op topografische gegevens (digitale hoogtemodellen) en luchtfoto's, met geofysische prospectie van de ondergrond (seismische reflectie, elektrische tomografie, grondradar...). Zo kan men de plaats van de meest recente tektonische vervorming bepalen in relatie met de morfologie. Wanneer die correct is bepaald, worden er ook sleuven gegraven dwars over de breukzone. De paleoseismolo-

Vergelijking van de verbreiding van de schade veroorzaakt door de aardbevingen van 18 september 1692 en 13 april 1992. De kaart toont de grenzen van de zones met intensiteit groter dan V (sterke schok met enkele lichte schadegevalen), VI (algemene lichte schade tot zware schade) voor beide aardbevingen. Elk punt op de kaart stemt overeen met een lokaliteit waarvoor we over getuigenissen beschikken uit de tijd van de aardbeving van 1692. Op basis van de geografische uitbreiding van deze zones kunnen we de magnitude van deze aardbeving ramen op 6 1/4. Het gebied waarin schade werd veroorzaakt is duidelijk veel groter dan bij de aardbeving van Roermond in 1992 die een magnitude van 5.4 had.

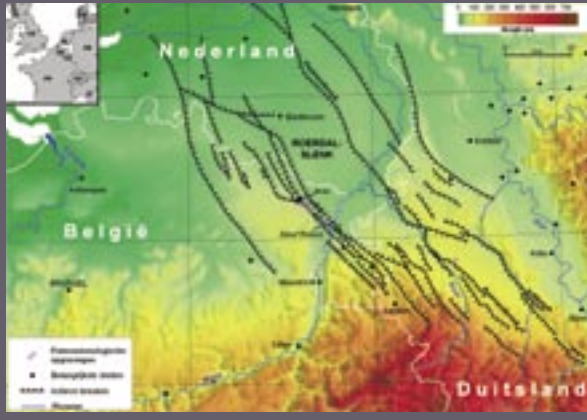
met onze Engelse en Franse collega's toont aan dat er nog twee andere even belangrijke aardschokken zijn geweest op 21 mei 1382 in het zuiden van de Noordzee en op 6 april 1580 in het Nauw van Calais.

Deze drie aardbevingen waren veel belangrijker dan de bescheiden bevingen met slechts plaatselijke schade die we tijdens de 20ste eeuw hebben meegemaakt. Terwijl de aardbevingen van Luik in 1983 en van Roermond in 1992 in totaal voor ongeveer 200 miljoen euro schade zorgden, schatten Europese verzekeraars de financiële gevolgen van een aardbeving van magnitude 6.0 tot 6.5 in een stad als Keulen tussen 15 en 100 miljard euro.



Studie van actieve breuken in Belgisch Limburg.

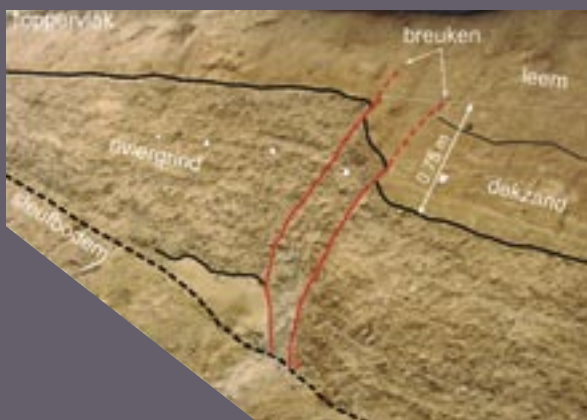
(a) Ligging van Kwartaire breuken omheen de Roerdalslenk in het grensgebied België – Duitsland – Nederland, en van de opgravingen in het kader van het paleoseismologisch onderzoek van de Koninklijke Sterrenwacht van België;



(b) De steilrand van Bree ten zuidoosten van de stad Bree. Deze is geleidelijk ontstaan door opeenvolgende grote aardbevingen tijdens de voorbije 350 000 jaar;



(c) Wand van een sleuf gegraven over de Geleenbreuk te Rotem. De verplaatsing (inzakking) van de geologische lagen is het resultaat van de laatste grote aardbeving die zich hier ongeveer 3000 jaar geleden heeft voorgedaan.



Wat is de magnitude van deze grote aardbevingen? De magnitude is een getal waarmee seismische gebeurtenissen kunnen gerangschikt worden volgens de energie uitgestraald onder de vorm van seismische golven binnenin en aan het oppervlak van de aarde. De laatste veertig jaar hebben seismologen aangetoond dat er hierbij een verband is met de afmetingen van het breukvlak dat in beweging komt bij de beving, en met de gemiddelde verplaatsing langs dit breukvlak. Normaal gezien bepaalt men de magnitude op basis van seismogrammen, geregistreerd door een aantal seismische stations. Omdat bij grote aardbevingen de breuk waarneembaar is aan het aardoppervlak, kan men de magnitude ervan ook bepalen vanuit geologische waarnemingen op het terrein (of) vanuit geodetische metingen van de vervormingen van het aardoppervlak, waarmee men de lengte van de breuk en de bijhorende verplaatsing kan evalueren.

gische analyse van een sleuf is gebaseerd op de waarneming en meting van eventuele breukverplaatsingen en (of) vervorming van sedimentaire lagen, die verband houden met een grote aardbeving. Uit de datering van de opeenvolgende geologische afzettingen kan men bovendien een onder- en bovengrens afleiden voor het tijdstip waarop de verschillende schokken zich hebben voorgedaan. Dat gebeurt door het meest recent vervormde en het oudste onveranderde niveau te dateren.

Onderzoek van vijf sleuven langs de breuk van Bree wijst erop dat zich de afgelopen 100 000 jaar minstens vijf grote aardbevingen hebben voorgedaan. De meest recente gebeurde waarschijnlijk iets meer dan 3000 jaar geleden en daarbij was er een verticale breukverplaatsing van ongeveer 55 centimeter. Op verschillende plaatsen langs de breuklijn van Bree is als gevolg hiervan nog een kleine breuktrede te zien in het landschap. Het hoogteverschil in de topografie komt perfect overeen met de meest recente verplaatsing die in de verschillende sleuven is teruggevonden. De voorlaatste grote aardbeving bracht breukverplaatsingen teweeg die te vergelijken zijn met de meest recente beving en gebeurde 9600 tot 13 600 jaar geleden. De op twee na laatste beving lijkt groter te zijn geweest met een gemiddelde verticale breukverplaatsing van naar schatting 1,2 meter tussen het Kempens Plateau en de Roerdalslenk. Wanneer die zich voordeed is minder nauwkeurig te bepalen. Het moet tussen 20 000 en 46 000 jaar geleden zijn geweest.

In het geval van de paleo-aardbevingen langs de breuk van Bree suggereert de relatieve verticale verplaatsing tussen het Kempens Plateau en de Roerdalslenk, gemeten in de sleuven, een magnitude van 6.5 ± 0.3 voor de twee meest recente aardbevingen en van 6.7 ± 0.3 voor de beving daarvoor. Indien we ons baseren op de lengte van de breuklijn die bij deze aardbevingen was betrokken – 10 km volgens de lengte van de steilrand zichtbaar in het landschap – wordt de magnitude op 6.3 ± 0.3 geschat. Deze waarde is minimaal. Het is immers niet zeker dat de breukverplaatsing beperkt bleef tot dit deel van de breuklijn tussen het Kempens Plateau en de Roerdalslenk. Met ons huidige onderzoek willen we de breuksegmenten onderzoeken die grenzen aan de breuk van Bree, om hun onderlinge mechanische relaties te bepalen en aldus beter de lengte van de breuken te kunnen evalueren.

Onderzoek van breuken die verantwoordelijk zijn voor de grote aardbevingen van 1928 in het zuiden van Bulgarije

We hebben een krachtige techniek ontwikkeld, waarmee we op unieke wijze de seismische activiteit op lange termijn in minder actieve gebieden kunnen onderzoeken. In het noordwesten van Europa kon tot nog toe geen enkele aan het oppervlak zichtbare breuk in verband worden

gebracht met een gekende historische aardbeving. Alleen in het geval van de aardbeving van 18 september 1692 lijkt een dergelijke relatie waarschijnlijk. Het complex reliëf van het gebied waar het epicentrum van deze beving lag, het noorden van de Belgische Ardennen, bemoeilijkt dit onderzoek. Een fundamenteel probleem is het vinden van valabele wetenschappelijke argumenten, die aantonen dat de aan het oppervlak waargenomen vervormingen in de Roerdalslenk wel degelijk een seismische oorsprong hebben.

Vanuit methodologisch standpunt was het dus belangrijk deze methoden ook te kunnen toepassen in gebieden met een “zwakke activiteit”, waar zich wel recent grote aardbevingen hebben voorgedaan. Daarom hebben we sinds 2000 in samenwerking met de Bulgaarse Academie van Wetenschappen onderzoek uitgevoerd naar de breuken waarlangs twee grote aardbevingen op 14 en 18 april 1928 (respectievelijk $M=6.8$ en $M=7.0$) hebben plaatsgevonden in het zuiden van Bulgarije. Deze bevingen hebben breuktrekken aan het aardoppervlak veroorzaakt over een totale lengte van ongeveer 80 kilometer, met maximale verticale verplaatsingen van ongeveer een halve meter voor de eerste en drie meter voor de tweede. Deze regio is in volle economische ontwikkeling en het is dan ook heel belangrijk dat we kunnen inschatten wanneer hier terug aardbevingen zullen gebeuren. Dit vruchtbaar onderzoek wordt financieel ondersteund via een bilaterale overeenkomst tussen België en Bulgarije.

Voorzorgen tegen aardbevingen in onze streken

Natuurverschijnselen als aardbevingen zijn in het algemeen meer catastrofaal, naarmate ze zeldzamer zijn en zich meer onverwacht voordoen. Precies omdat ze zeldzaam zijn, bestaan er in het algemeen totaal geen voorzorgsmaatregelen tegen de gevolgen van een dergelijke gebeurtenis. De mega-aardschok van Sumatra-Andaman op 26 december 2004 had onder meer een tsunami als gevolg die alle kuststreken rond de Indische Oceaan dramatisch trof. Het is een typisch voorbeeld van deze onvoorbereidheid. Andere natuurverschijnselen zijn wel voorspelbaar op kortere termijn, maar draaien eveneens uit op rampen door een gebrek aan voorzienigheid, en dat niet alleen in de armste regio's van de wereld. De gevolgen van de orkaan Katrina in september 2005 langs de kust van Louisiana zijn in dit opzicht exemplarisch. Wetenschappers hadden in beide gevallen voorspeld dat deze catastrofes zich de komende jaren of decennia zouden voordoen. Maar ze werden spijtig genoeg niet gehoord.

In België worden de risico's van een aardbeving over het algemeen onderschat. Onderzoek toont aan dat een gebouw in België evenveel kans loopt op schade door een aardbeving als door een brand. Dat deze twee risico's ver-

schillend worden ingeschat komt omdat ze zich op een totaal verschillende manier manifesteren. Branden doen zich regelmatig voor, maand na maand en over het hele grondgebied. Een aardbeving treft in één klap heel veel gebouwen in een welbepaalde streek. Maar globaal gezien is per gebouw (voor normale burgerlijke bouwwerken) het risico even groot. Er is dus geen enkele reden om zich wel zorgen te maken over een eventuele brand, en overstroming of een storm en helemaal geen rekening te houden met de mogelijkheid op een aardbeving. De Europese Commissie heeft een code uitgevaardigd voor “constructies bestand tegen aardbevingen” (de zogenaamde *Eurocode 8*), waarvoor elk land een toepassingsrichtlijn moet bepalen. In België is een dergelijke richtlijn al opgesteld onder leiding van de Universiteit van Luik en ons land beschikt dus over een preventiemiddel voor nieuwe bouwwerken. Maar dat is niet het geval voor bestaande constructies.

Ons onderzoek toont ook aan dat zich in het gebied tussen de Rijnvallei en het zuiden van de Noordzee in het verleden grote aardbevingen hebben voorgedaan, die mogelijk een magnitude tot 7.0 konden bereiken. Ze zijn zeldzaam, gemiddeld één schok met een magnitude van meer dan 6.0 elke 230 jaar, maar ze zullen zeker opnieuw gebeuren. En ze zullen ernstige gevolgen hebben: verlies van mensenlevens en economische schade. Herstellingen en wederopbouw zullen veel geld kosten, er zal werkloosheid zijn in bedrijven die schade hebben opgelopen en productielijnen zullen stilvallen. We moeten deze problematiek beslist ernstig nemen. Weliswaar moeten we niet meteen aan het ergste denken, maar het zou goed zijn na te gaan wat de reële gevolgen zouden kunnen zijn van een dergelijke ramp en welke noodplannen en preventiemaatregelen we kunnen voorzien. De afdeling seismologie van de Koninklijke Sterrenwacht van België is zich van deze problematiek goed bewust en voert op dit vlak onderzoek uit in samenwerking met de Universiteit van Luik, de Polytechnische Faculteit van Bergen en het Hoger Instituut voor de Noodplanning van de Federale Overheidsdienst “Binnenlandse Zaken”.

Thierry Camelbeeck en Kris Vanneste



De seismologische dienst van de Koninklijke Sterrenwacht van België:

www.astro.oma.be/SEISMO/index.html

Hier vindt u de realtime registraties van de seismische stations van Ukkel en Membach, de online database over de seismische activiteit in onze streken, en de individuele vragenlijst die door iedereen beantwoord kan worden wanneer een aardbeving wordt gevoeld in België.

In 1996 startte de Koninklijke Sterrenwacht van België gedetailleerd onderzoek van de breuk van Bree. De KSB wilde op zoek gaan naar aanwijzingen van eventuele grote aardbevingen in een geologisch recent verleden.