

# Smurfen op de Koninklijke Sterrenwacht van België



Figuur 1: 1980-1981: De oceaantijden.

Michel Van Camp, Bernard Ducarme,  
Michel van Ruymbekke, Pascale Defraigne,  
Marc Hendrickx, Wim Van der Putten,  
Rodrigo Alvarez en Kris Vanneste

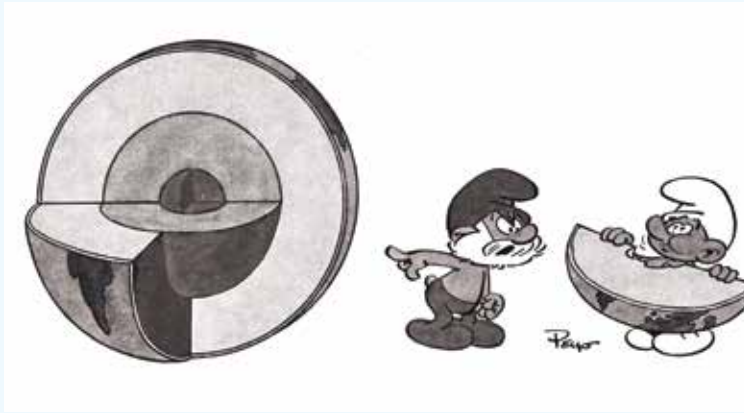
Paul Melchior (1925-2004), voormalig directeur van de Koninklijke Sterrenwacht van België, was een vriend van strip-tekenaar en scenarioschrijver Pierre Culliford (1928-1992), beter bekend onder de naam Peyo. Zijn persoonlijke relatie met Peyo leidde tot een origineel initiatief. Samen besloten ze de figuren van de Smurfen te gebruiken om het geodynamisch onderzoek van de Sterrenwacht te illustreren. Zo vrolijkten de kleine blauwe mannetjes vanaf 1966 niet minder dan achttien wenskaarten op die geïnspireerd waren door het onderzoek en de instrumenten van de Sterrenwacht.

Deze kaarten vormen een verrassende ontmoeting tussen de imaginaire stripwereld en de echte wereld van het wetenschappelijk onderzoek. Door het vertalen van wat destijds een opmerkelijk wetenschappelijk avontuur was naar de wereld van de Smurfen, gaf Peyo in deze tekeningen een externe, weliswaar gekleurde, visie over hoe het leven en de activiteiten van een onderzoeksgroep in de aardwetenschappen er uitzien.

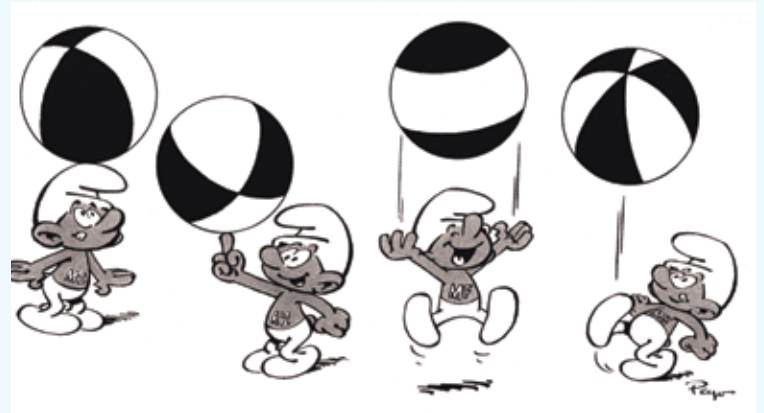
We vinden er alles in terug: instrumenten en hoe ze gebruikt worden, waarnemingsmissies over de hele wereld, theoretisch onderzoek, berekeningen op basis van waarnemingen, publicaties, literatuur en wetenschappelijke controverse, internationale contacten, enz. En dat alles blijft 40 jaar later nog altijd actueel!

Zo hebben de Smurfen grote belangstelling getoond voor de aardwetenschappen en werden ze ijverige leerlingen van de meest geavanceerde theorieën. Ze moesten de kou van het hoge noorden trotseren, maar ze konden ook uitrusten op paradijselijke stranden tijdens hun opdrachten in exotische landen.

Het aardwetenschappelijk onderzoeksprogramma van Paul Melchior werd in 1956 duidelijk gedefinieerd: opzetten van een netwerk van permanente stations voor het registreren van aardgetijden en onderzoek naar de indirecte effecten van oceaantijden op de metingen. Om dit te verwezenlijken moesten nieuwe ultragevoelige instrumenten en nieuwe analysemethoden ontwikkeld worden, mede mogelijk gemaakt door de snelle ontwikkeling van de computer. Het is dit avontuur dat hierna wordt verteld.



Figuur 2: 1966-1967: Het binnenste van de aarde, samengesteld uit een vaste binnenkern, een vloeibare buitenkern en een vaste mantel.



Figuur 3: 1967-1968: Verschillende vervormingen van de aarde gerelateerd aan verschillende getijdengolven. (golven M2, K1, Mf en M3).

### Het fenomeen van de getijden

De getijdenkrachten zijn het gevolg van het gecombineerde effect van de aantrekkingskracht van de maan en de zon op de aarde en van de relatieve bewegingen van deze hemellichamen in hun banen. De oceaantijden (Figuur 1) zijn het bekendste fenomeen dat door deze krachten wordt veroorzaakt. Aan de kusten van onze streken heeft de dominante getijdengolf een periode van 12 uur en 25 minuten. Om deze reden verschuiven de tijdstippen van eb en vloed elke dag met 50 minuten.

### Het effect op de aarde: de aardgetijden

Aangezien de aarde elastisch is (Figuur 2), vervormen dezelfde krachten ook de aardbol, wat resulteert in een verticale verplaatsing van het aardoppervlak die 50 centimeter kan bedragen: dit zijn de terrestrische of aardgetijden. In Figuur 3 amuseren de Smurfs zich met enkele vervormingsmodellen geleend van wetenschappers. Deze modellen vertegenwoordigen de verschillende getijdengolven, die verschillen in hun periodiciteit (lange periode, 1 dag, halve dag, 1/3e dag) en in de manier waarop ze het aardoppervlak vervormen. We zien op de afbeelding:

- De langperiodieke vervormingen: verschillende golven, vrij bescheiden in amplitude en met perioden gerelateerd aan de orbitale beweging van de maan en de zon; hierbij ook *Mf*, veroorzaakt door de maan, met een periode van 13,66 dagen;
- De dagelijkse vervormingen: verschillende golven met perioden van ongeveer een dag; de belangrijkste hiervan is *K1*, veroorzaakt door de rotatie van de aarde om haar as ten opzichte van de sterren. De periode ervan komt overeen met de lengte van de siderische dag ofwel 23 u 56 min;
- Halfdagelijkse vervormingen: verschillende golven met perioden rond een halve dag; de belangrijkste hiervan is *M2*, die het gevolg is van de combinatie van de rotatie van de aarde om haar as en de beweging van de maan in haar baan. De periode van 12 uur en 25 minuten is ook deze die de oceaantijden domineert in onze streken;
- De minder bekende, zwakkere 'ter-diurnale' vervormingen die driemaal per dag optreden: deze worden aangeduid als *M3* en zijn toe te schrijven aan onregelmatigheden in de beweging van de maan in haar baan om de aarde.



Figuur 4: 1973-1974: Installatie van een relatieve gravimeter in Bangkok.



Figuur 5: 1976-1977: Installatie van een relatieve gravimeter in Polynesië.

Het is de combinatie van al deze golven die de complexe en regelmatige beweging van de grond onder onze voeten veroorzaakt.

Aardgetijden worden op hun beurt ook verstoord door de oceaantijden. De bewegingen van de oceanen produceren namelijk zwaartekrachtvariatiën die te wijten zijn aan de aantrekkingskracht van de verplaatste watermassa's en aan het doorbuigen van de aardkorst onder hun gewicht. Dit effect kan belangrijk zijn. Ter hoogte van de landtong van Cornwall bijvoorbeeld, veroorzaakt het getij in het Kanaal tweemaal per dag een beweging van de aardkorst met 10 cm, bovenop de vervorming van enkele tientallen centimeters die zonder de aanwezigheid van de oceaan zou optreden. Omdat de effecten van oceaantijden en aardgetijden gesuperponeerd zijn, worden numerieke modellen toegepast om de effecten van de oceaantijden in metingen van de aardgetijden (Figuur 1) te corrigeren.

### De aardgetijden meten

Getijdenkrachten wijzigen de vorm van de aarde, maar brengen ook variaties van de zwaartekracht  $g$  teweeg. In het station Ukkel, bijvoorbeeld, is  $g$  gelijk aan  $9,81117xxxx \text{ m/s}^2$ ; de decimalen  $xxxx$  variëren in de tijd door de getijdenkrachten. Deze variaties hebben een grootteorde van  $0.0000025 \text{ m/s}^2$ , d.w.z. dat wanneer een massa van één ton wordt gewogen bij het maximum en bij het minimum van een gravimetrisch getij, het gewicht ervan met slechts 0,25 gram varieert. Toestellen om de zwaartekracht of de variaties ervan te meten worden gravimeters genoemd. De meeste gravimeters bestaan uit een veer waaraan een massa bevestigd is die beweegt in functie van de zwaartekrachtvariatiën (Figuren 4 en 5). De beste veergravimeters meten zwaartekrachtveranderingen met een relatieve nauwkeurigheid van enkele miljardsten van  $g$ . Sinds de jaren tachtig wordt met supergeleidende gravimeters, gebaseerd op een supergeleidende bol die zweeft in het magnetisch veld van twee supergeleidende magneten, een veel betere nauwkeurigheid en stabiliteit bereikt (Figuur 6).

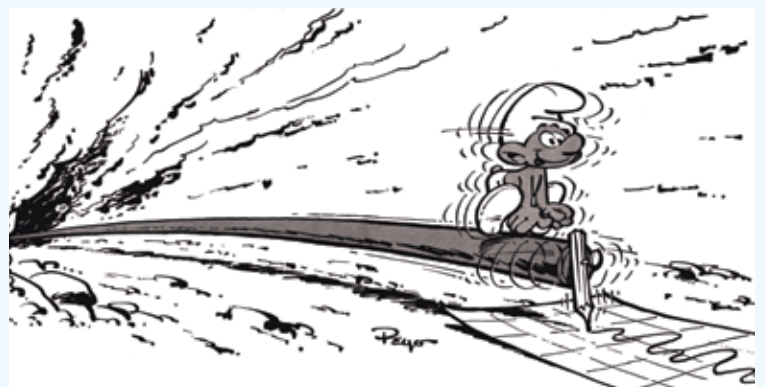
Daarnaast resulteren de vervormingen van de aardbol ook in kanteling (of hellingsverandering), uitrekking en inkrimping van de grond. Hellingsveranderingen worden gemeten met clinometers. Het is met een clinometer ontwikkeld door Jean Verbaandert en Paul Melchior dat de Smurfen de hellingsveranderingen van de ondergrond in een kolenmijn op Spitsbergen in het hoge noorden zijn gaan meten (Figuur 7).



Figuur 9: 1974-1975: Verticale extensometer.

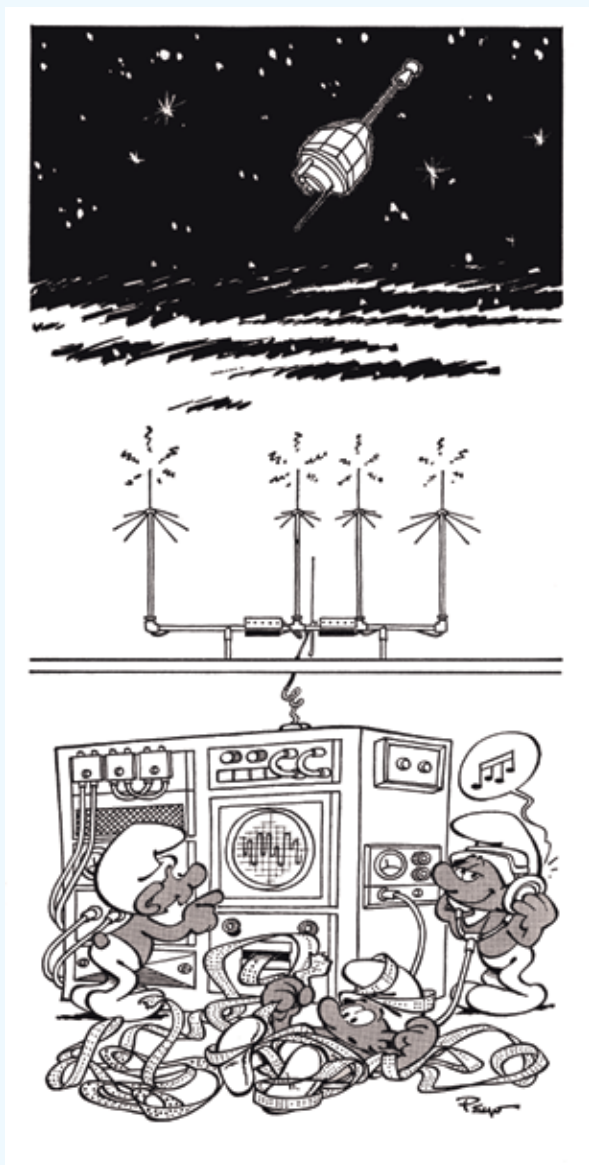


Figuur 7: 1969-1970: Installatie van een clinometer op Spitsbergen.



Figuur 8: 1971-1972: Horizontale extensometer.





Figuur 11: 1972-1973: Installatie te Ukkel van een TRANSIT-ontvangststation, voorloper van het GPS-systeem.

Uitrekking resulteert in relatieve veranderingen van de afstand tussen twee nabijgelegen punten in de aardkorst die meestal niet groter zijn dan ongeveer 0,001 mm per 20 m. Deze worden gemeten met behulp van extensometers over basislengten van enkele tientallen meters. De Smurven hebben verschillende soorten extensometers ontwikkeld om de horizontale en verticale rekkingen van de aarde te meten (Figuren 8 en 9). Deze instrumenten moeten beschermd worden tegen temperatuurschommelingen. Daarom worden ze opgesteld achter in ondergrondse galerijen van minstens 100 m lang en op een diepte van minstens 50 m onder het aardoppervlak.

### Metingen over de hele wereld

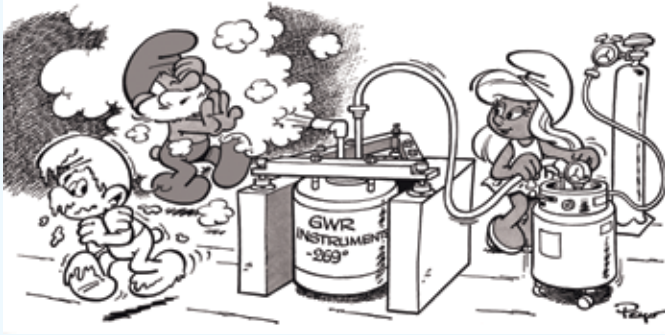
Tussen 1973 en 1992 ondernamen Paul Melchior en zijn team de uitbouw van een wereldwijd netwerk van tijdelijke stations waar de getijdenparameters met precisie zouden worden gemeten. Ze reisden de wereld af met hun gravimeters en installeerden hun instrumenten op meer dan honderd plaatsen om metingen van de aardgetijden te verzamelen in het kader van een 'mondiaal profiel van gravimetrische getijden' (*Trans World Profile*). Elke keer moest een honderdtal kilogram materiaal worden vervoerd, dat vaak beschermd moest worden tegen transportrisico's, de overdreven nieuwsgierigheid van de douane, de grillen van het lokale klimaat, enz. De keuze van de stations was van het grootste belang: de opstelling moest gebeuren in een kelder of op zijn minst in een rustige ruimte op de begane grond, waarin de temperatuurverschillen zo laag mogelijk waren. Meestal reisde de wetenschapper van de Sterrenwacht alleen. Eénmaal ter plaatse duurde de installatie en de controle van de instrumenten ongeveer een week. Deze tijd werd tevens benut om de personen op te leiden die zouden instaan voor het onderhoud. De gravimeters bleven ter plaatse voor een observatietijd van 6 maanden. Deze enorme inspanning maakte het mogelijk gegevens te verzamelen van 142 observatiepunten (Figuren 4, 5 en 10), op basis waarvan theoretische modellen van de aarde verbeterd konden worden. Dit heeft geleid tot een betere kennis van de aardbol, onder meer over de vorm van de vloeibare buitenkern.



Figuur 10: 1979-1980: Transport per vliegtuig van gravimeters naar China.



Figuur 12: 1975-1976: Installatie van de Siemens-computer in Ukkel.



Figuur 6: 1982-1983: Installatie van een supergeleidende relatieve gravimeter in Ukkel.



© Koninklijke Sterrenwacht van België

### De supergeleidende gravimeter

In 1968 slaagden onderzoekers van de Universiteit van Californië erin om een holle metalen bol met een diameter van 2,5 cm onder extreem stabiele omstandigheden zwevende te houden dankzij supergeleiding. Supergeleiding ontstaat in sommige metalen onder een bepaalde kritische temperatuur dicht bij het absolute nulpunt ( $-273,15^{\circ}\text{C}$  of 0 K). Voor lood bijvoorbeeld bedraagt de kritische temperatuur  $-266^{\circ}\text{C}$  of 7,2 K. De elektrische weerstand daalt dan plotseling tot nul en een elektrische stroom kan dan oneindig lang door een spoel vloeien, zonder enige externe interventie. Zo verkrijgt men dus een perfect stabiel elektromagnetisch veld dat de bol zwevende houdt en waardoor zwaartekrachtmetingen met een ongeëvenaarde precisie mogelijk worden: dit is het principe van de supergeleidende gravimeter. Om dergelijke lage temperaturen te bereiken wordt de sensor, die de spoelen en de bol bevat, ondergedompeld in een vloeibaar heliumbad bij  $-269^{\circ}\text{C}$  of 4,2 K.

De Koninklijke Sterrenwacht van België nam in 1982 een supergeleidende gravimeter in gebruik te Ukkel, destijds één van de eerste twee in Europa. In tegenstelling tot bij de huidige modellen verdampte het vloeibaar helium zeer snel, waardoor de Smurfs het vat met helium regelmatig moesten bijvullen, tot grote ergernis van de Koude Smurf (Figuur 6). Dit instrument bleef in gebruik tot het jaar 2000, maar

in 1995 en 2014 werden apparaten van de nieuwe generatie geïnstalleerd in het ondergronds station van Membach en op de site van de grot van Lorette in Rochefort, waar ze nog steeds actief zijn. Deze tamelijk zware instrumenten meten continu op eenzelfde plaats en worden heel zelden verplaatst. Door de hoge kwaliteit van hun metingen hebben ze echter fundamentele bijdragen geleverd, en doen ze dat nog steeds, aan de wetenschap van het meten en aan de studie van getijden en andere variaties van de zwaartekracht, onder andere veroorzaakt door fluctuaties in grondwatermassa's.

### De start van de ruimtegeodesie

In de jaren zeventig speelde de Sterrenwacht een pioniersrol in de positiebepaling door satellieten. In 1972 ontving de Sterrenwacht namelijk een TRANSIT-ontvangststation, een voorloper van het GPS-systeem, van de Amerikaanse marine. Dit systeem van 'ruimtegeodesie' (meting van de vorm van de aarde met behulp van signalen verstuurd vanuit de ruimte) bood een nauwkeurigheid van 50 cm. Met het GPS-systeem (en de Europese Galileo- en Russische GLO-NASS-systemen) bereikt men tegenwoordig een nauwkeurigheid van minder dan één centimeter. Deze satellietmetingen (Figuur 11) openen een nieuwe weg in de studie van de vervormingen van de aarde.



Figuren 13, 14, 15: 1968-1969, 1981-1982, 1983-1984: Enkele theoretische werken.

### Eerste computer bij de Koninklijke Sterrenwacht van België

Door deze meetcampagnes en deze nieuwe instrumenten was de hoeveelheid waarnemingsgegevens enorm toegenomen. Hierdoor was het nodig om een beroep te doen op de informatica - van toen! - om de gravimetrische registraties te analyseren (Figuur 12) en ze te vergelijken met theoretische modellen. Op initiatief van Paul Melchior werd in 1963 een IBM1620-computer geïnstalleerd op de Koninklijke Sterrenwacht van België. Halverwege de jaren zeventig werd een Siemens-computer geïnstalleerd in een gebouw dat hiervoor speciaal ontworpen was. Dankzij computers kon Paul Melchior vanaf 1980 ook een databank ontwikkelen voor het *Centre International des Marées Terrestres*. Het doel was om alle beschikbare aardgetijdenmetingen van over de hele wereld te groeperen en beschikbaar te maken voor wetenschappers.

### Modellering van de vervormingen van de aarde en zwaartekrachtvariaties

Paul Melchior en zijn hele team hebben veel aandacht besteed aan de ontwikkeling van theoretische modellen van aardgetijden om de waarnemingen te verklaren. Ze moesten lange formules opstellen om de vervormingen van de aarde en de zwaartekrachtvariaties, veroorzaakt door getijdenkrachten van de maan en de zon, te beschrijven. Hierbij moest rekening worden gehouden met de elasticiteit van de aarde, de belasting door oceanen en de aanwezigheid van een vloeibare buitenkern in de aarde. De verschillende mo-

dellen werden vervolgens geconfronteerd met de metingen. Uiteindelijk, na tal van discussies en opeenvolgende verbeteringen, konden Paul Melchior en zijn assistenten aantonen dat hun getijdenmodel overeenkwam met de metingen van de instrumenten met een verschil van minder dan 0,1% (Figuren 13 tot 15).

### Publicatie van de theoretische en experimentele resultaten

Om de verspreiding van resultaten mogelijk te maken binnen de wetenschappelijke wereld, stelde Paul Melchior in 1956 de publicatie voor van een *Bulletin d'information des Marées Terrestres* (BIM), waarvan 150 nummers werden uitgegeven. Voor een betere wetenschappelijke uitwisseling vertaalde Anne-Marie Bary, de vrouw van Paul Melchior, Russisch geschreven artikels van wetenschappers uit het toenmalige Oostblok, die eveneens zeer actief waren op dit domein (Figuur 16), naar het Frans.

Paul Melchior schreef in 1978 ook een verhandeling over de studie van de aardgetijden (*Tides of the Planet Earth*). Deze fundamentele tekst, die alle aspecten van het probleem behandelt, was hét referentiewerk voor een hele generatie onderzoekers. Hij bespreekt in dit werk in het bijzonder de 'Love parameters' (genoemd naar Augustus H.L. Love, 1863-1940), die de vervorming van de aarde onder invloed van de getijden beschrijven (Figuur 17).



Figuur 16: 1970-1971: Vertalingen van artikels van het Russisch naar het Frans.



Figuur 17: 1978-1979: De Love-parameters, waarmee de vervormingen van de aarde beschreven worden.

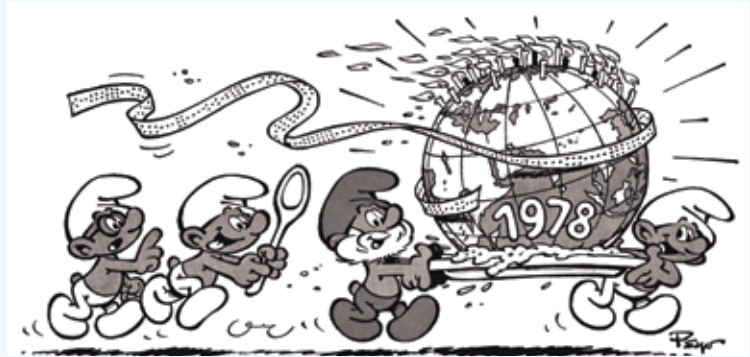


## Het Internationaal Centrum voor Aardgetijden

Paul Melchior maakte gebruik van het momentum van internationale samenwerking dat werd gegenereerd door het Internationaal Geofysisch Jaar (1957-1958). In 1958 richtte hij het 'Internationaal Centrum voor Aardgetijden' (*Centre International des Marées Terrestres*) op, waarvan het hoofdkantoor tot 2008 op de Sterrenwacht bleef en dat een permanente dienst was van de *International Association of Geodesy* (IAG) (Figuur 18).

## Het avontuur gaat verder

Net zoals bij de Smurfen gaat het avontuur verder op de Koninklijke Sterrenwacht van België! Zo beschikt de Sterrenwacht sinds 1996 ook over een absolute gravimeter. Dit is een instrument dat de zwaartekrachtversnelling meet aan de hand van de val van een object in een vacuüm. De absolute gravimeter draagt vandaag bij tot baanbrekend onderzoek in de aardwetenschappen (Figuur 19).



Figuur 18: 1977-1978: Twintigjarig bestaan van het Internationaal Centrum voor Aardgetijden.

### Alle illustraties:



© Papyrus - 2018 - Lic. I.M.P.S. (Brussels) - www.smurf.com

### De auteurs

Koninklijke Sterrenwacht van België: Michel Van Camp, Michel van Ruymbeke, Pascale Defraigne, Marc Hendrickx en Kris Vanneste.

Planetarium: Wim Van der Putten en Rodrigo Alvarez  
Université catholique de Louvain, ELI: Bernard Ducarme



Figuur 19: 2018: De absolute gravimeter. Met dank aan Miguel Diaz Vizoso en IMPS voor de mooie tekening. Foto © K. Vanneste