

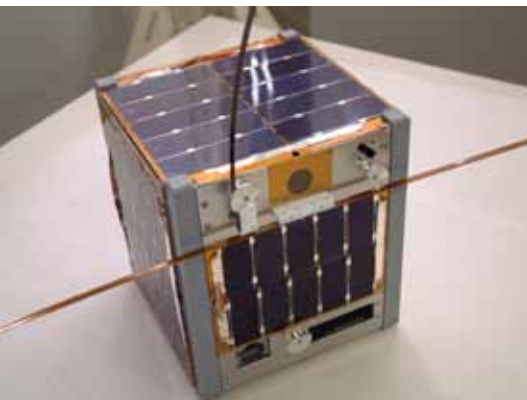
# CubeSats

Silke De Keyser en Johan De Keyser  
(Belgisch Instituut voor Ruimte-Aëronomie)

**H**ET BEGON ALLEMAAL IN 1999 toen Professor Jordi Puig-Suari van de California Polytechnic State University en Professor Bob Twiggs van de Stanford University besloten om een gestandaardiseerd ruimteplatform voor academische satellietprojecten te ontwikkelen. De standaard die ze introduceerden, was een miniatuursatelliet met een volume van één liter (1000 cm<sup>3</sup>), een massa van rond de 1 kilogram, en een vermogen van ruwweg 1 watt. Een dergelijke nanosatelliet bestaat uit onderdelen die vrij in de handel te verkrijgen zijn, en is 10 cm x 10 cm x 10 cm groot. We noemen die afmetingen 1U of '1 unit'. Dergelijke satellietjes worden cubesats genoemd. Je kan ook grotere cubesats bouwen door twee of drie 1U cubesats naast elkaar te plaatsen; respectievelijk 2U en 3U cubesats. Doordat cubesats voldoen aan de CubeSat ontwerpspecificaties van CalPoly en de Stanford University, kunnen ze allemaal met hetzelfde systeem (P-POD, ook ontwikkeld door CalPoly) gelanceerd en in de ruimte uitgezet worden.

De eerste lancering vond plaats op

Een typische 1U cubesat. Foto: *University of Tokyo*.



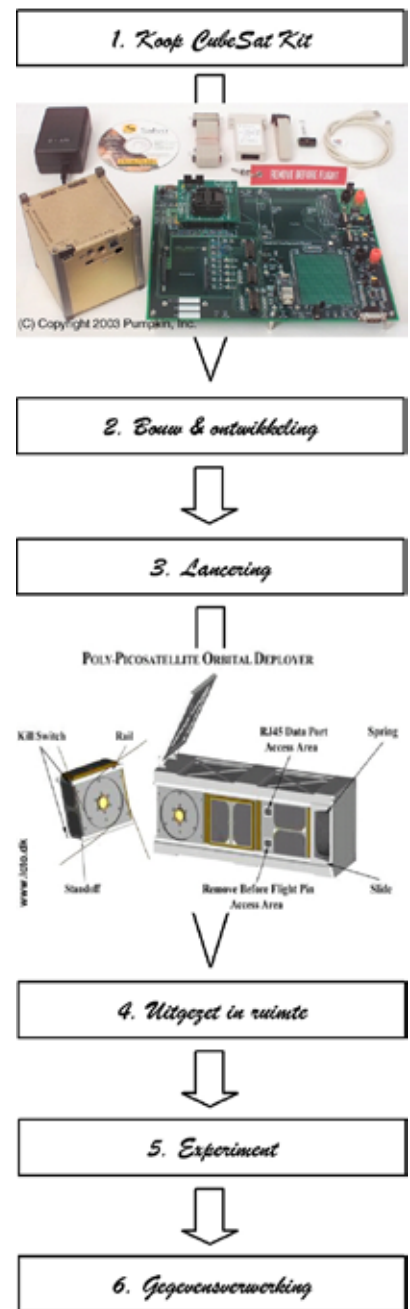
30 juni 2003. De miniatuursatellieten bevatten meestal slechts één of twee wetenschappelijke instrumenten als nuttige lading omwille van de massaan- en vermogensbependingen. Cubesats zijn relatief gezien erg goedkoop waardoor ze wereldwijd in het budget van scholen en bedrijven passen en ook door hen ontwikkeld kunnen worden. De verdere ontwikkeling en vooruitgang van cubesats gebeurt dan ook voornamelijk in academische instellingen. Maar ook bedrijven zoals Boeing (die normaal grote satellieten bouwt) en radioamateurs maken cubesats. Ook de NASA en de ESA doen mee met een educatieprogramma: ELaNa of Educational Launch of Nanosatellites (NASA) en SSETI of Student Space Exploration & Technology Initiative (ESA).

## Hoe bouw en lanceer je een cubesat?

Om een cubesat te bouwen heb je eerst en vooral een CubeSat Kit nodig. Dit is een pakket dat alle onderdelen bevat zoals het chassis, de elektronica en software om met de bouw en ontwikkeling van een eigen cubesat te starten.

Vervolgens kun je beginnen met de bouw van de cubesat. Je moet niet enkel je eigen minisatelliet ontwerpen, maar ook programmeren. Bovendien moet er een grondstation gebouwd worden en moet je programma's schrijven die de informatie die de satelliet levert, kunnen verwerken.

Dankzij hun kleine omvang en dito massa kunnen cubesats heel gemakkelijk in de ruimte worden gebracht met bestaande technologieën en lanceermiddelen. Meestal gaat het om 'piggyback' lanceringen: de cubesat reist mee als extraatje met de lancering van



De inhoud van een CubeSat Kit (P/N 711-00227). Foto's: *Pumpkin Inc.* en *Aalborg Universitet*.

een grotere satelliet. Dat kost niet veel, maar het zijn de noden van de grotere satelliet die de baan bepalen. De cubesat reist mee in een 'deployer'. Dat is een doos met op de bodem een veer. De cubesat wordt in de doos geduwd, waarbij de veer onder spanning komt te staan. De doos wordt afgesloten met een deksel dat wordt vergrendeld. In de ruimte wordt het deksel ontgrendeld en de veer duwt de cubesat aan een lage snelheid naar buiten.

Eens een cubesat in haar baan is terechtgekomen, kan ze aan haar experiment beginnen. De meeste cubesats bevinden zich in een lage baan. De metingen of resultaten die verkregen worden, stuurt de cubesat door naar het grondstation op Aarde. In het grondstation worden de gegevens verwerkt of doorgestuurd naar de plaats waar de verwerking moet gebeuren.

### **Wat kan zo een cubesat werkelijk doen?**

De grootste beperking van een cubesat is de energievoorziening. Doorgaans zijn de zijkanalen van de cubesat bedekt met zonnecellen. Een kleine satelliet betekent dus ook dat het buitenoppervlak klein is, zodat er niet veel stroom opgewekt kan worden; een gemiddelde van 1 watt is haalbaar. Meer vermogen kan worden verkregen door uitvouwbare zonnepanelen te voorzien. Tevens moet men batterijen voorzien om de periodes te overbruggen gedurende dewelke de satelliet zich in de aardenschaduw bevindt. En tenslotte is het zo dat het doorsturen van de gegevens naar de Aarde relatief veel energie vraagt. Dat neemt meestal slechts een beperkte fractie van de tijd in beslag.

Voor een aantal toepassingen is het nodig de oriëntatie van de satelliet te kunnen controleren. Indien dit niet al te nauwkeurig moet en men verlangt een min of meer stabiele oriëntatie, dan kan men meestal volstaan met magnetotorquers die gebruikmaken van het magneetveld van de Aarde. Voor een meer precieze oriëntatie, of voor een regelmatige heroriëntatie van

de satelliet, heeft men reactiewielen nodig. Dergelijke geminiaturiseerde systemen zijn tegenwoordig reeds commercieel te verkrijgen, maar die nemen een hap uit het vermogensbudget. In de praktijk worden zij dan ook enkel gebruikt in 2U of 3U cubesats.

Een cubesat kan eventueel zelfs bestuurd worden met behulp van een ionenmotor. Een mogelijke toepassing is het uit haar baan halen van de minisatelliet door ze naar de atmosfeer te drijven waar ze zal opbranden en zo geen gevaarlijk afval meer vormt voor nieuwe satellieten. Daarnaast kan de ionenmotor ook gewoon de baan van een cubesat veranderen waardoor haar bereik en onderzoeksgebied groter worden.

### **Waarvoor worden cubesats gebruikt?**

#### **Onderwijs**

Een eerste doel van cubesats is eenvoudigweg ruimteonderzoek voor academische instellingen mogelijk maken. Zo kunnen studenten zich beter voorbereiden op een loopbaan na hun studies. Universiteiten kunnen met het cubesatproject zelf een minisatelliet bouwen dankzij de relatief lage kosten, terwijl de studenten technologieën en instrumenten uitvoerig kunnen testen in een baan om de Aarde en 'hands on' ervaring opdoen. Het is dan ook niet verwonderlijk dat cubesats wel eens de naam 'studentensatelliet' krijgen.

Aan de basis van de lage kost ligt de standaardisering. Vooreerst wou men de infrastructuur van de satelliet vereenvoudigen wat het mogelijk maakt om een satelliet te ontwerpen en te ontwikkelen aan een lage prijs. Ten tweede ging men de interface tussen de deployer en de satelliet standaardiseren. Ten derde kwam er een standaardisering van deployers op lanceer-raketten, wat een snelle uitwisseling van satellieten en het gebruik van lanceerkansen op een korte termijn mogelijk maakt. Een andere fundamentele reden voor de lage kost ligt in het aanvaarden van risico: doorgaans worden er gewone commerciële componenten gebruikt in plaats van pro-



**Twee studenten bereiden hun cubesat van één kilogram voor op een lancering van de Dnepr in 2006. Foto: [www.CubeSat.org](http://www.CubeSat.org).**

ducten die speciaal voor gebruik in de ruimte gekwalificeerd zijn. En zo kan je ook handwerk door studenten laten lanceren...

#### **Wetenschap**

Samen met de educatieve functie blijft wetenschappelijk onderzoek één van de hoofddoelen van cubesats. De Swisscube cubesat verzamelt beeldmateriaal van het airglow fenomeen. Omwille van de beperkingen qua elektrisch vermogen is de hoeveelheid informatie die naar de grond geseind kan worden relatief klein: 1 beeldje per dag. Andere wetenschappelijke cubesats bevatten bijvoorbeeld een sensor voor deeltjesstraling, een sensor die de dichtheid van het plasma rondom de satelliet meet, een GPS ontvanger om informatie over de onderliggende ionosfeer te verzamelen of om de mate van afremming door de hoge atmosfeer te kunnen evalueren, een fotometer om bliksems te detecteren... Het ontwikkelen van kleine, zuinige, en lichte wetenschappelijke instrumenten, die toch nuttige resultaten produceren, is niet vanzelfsprekend.

#### **Technologie**

Cubesats spelen een belangrijke rol bij het testen van nieuwe geminiaturiseerde technologieën en systemen die men dan later op de meer klassieke satellieten kan plaatsen. Op deze manier kan men vrij goed-



Een illustratie van hoe een 'System F6' cluster van kleine satellieten zou samenwerken om dezelfde mogelijkheden te bieden als één enkele grote satelliet. Foto: DARPA en *parabolicarc.com*.

koop testen of de technologie 'ruimtebestendig' is.

Zo kan bijvoorbeeld gemakkelijk getest worden wat de invloed is van kosmische straling op elektronische componenten die gefabriceerd werden met een specifieke technologie. Ook met de levensduur van kabels en zonnepanelen wordt geëxperimenteerd. Andere technologieën omvatten een geminiaturiseerde AIS ontvanger om AIS-data (positie, identificatie) van schepen te ontvangen, miniatuur reactiewielen, ionenmotor, spectrografen voor de analyse van zon- en sterocculaties, magnetometers, ster-sensors, ...

### Defensie

Hoe kan het ook anders dan dat deze minisatellietjes in het oog springen bij militairen? Net zoals vele andere toepassingen van de ruimtevaart, worden cubesats ook gebruikt in de landsverdediging.

Zo probeert men netwerken met clusters van tientallen cubesats te ontwikkelen. Deze samenwerkende satellieten zijn gemakkelijk te vervangen. Een voorbeeld van zo een programma is 'System F6' (Future, Fast, Flexible, Fractionated, Free-Flying Spacecraft),

waarvan het doel is om een cluster van satellieten te vormen die door een draadloos netwerk verbonden zijn, wat hen toelaat autonoom opdrachten uit te voeren zoals het opslaan van gegevens en navigatie-informatie, terwijl ze – indien er een satelliet uitvalt – opdrachten kunnen doorgeven. Zo'n netwerk is een moeilijk doelwit voor vijanden.

Een ander project probeert een manier te vinden om een 1 watt laserstraal naar een soldaat op de grond te sturen. Deze kan het signaal met een eenvoudige telescoop en fotodetector ontvangen. De laserstraal raakt verspreid over die afstand, maar de fotonen bereiken de telescoop wel. Op deze manier heb je een onverbreekbare optische communicatieverbinding die bovendien vrijwel niet te detecteren valt.

### Hoe staat het met CubeSats in België?

Ook in België wordt met cubesats gewerkt. De Universiteit de Liège en de Hogeschool van de Provincie Luik werken samen aan de OUFTI-1. 'Oufiti' is een typisch Luikse uitdrukking van verbazing, maar in dit geval is het een acroniem voor Orbital Utility For Telecommunications Innovation. Naast het educatieve aspect is het doel van het Luikse team het uittesten van nieuwe technologieën op het vlak van communicatie, namelijk het D-STAR systeem; D-STAR staat voor Digital Smart Technologies for Amateur Radio. Het onderzoek wordt uitgevoerd door de masterstudenten toegepaste wetenschappen van de Universiteit de Liège onder begeleiding van professoren Gaetan Kerschen en Jacques Verly. De studenten schrijven hun eindwerk over hun onderzoek en de ontwikkeling van OUFTI-1. OUFTI zal in principe midden 2012 gelanceerd worden. De verwachte levensduur van OUFTI-1 bedraagt ongeveer één jaar.

Intussen zijn er meerdere Belgische partners geïnteresseerd in het QB50 project dat wordt gecoördineerd door het von Karman-Instituut in Sint-Genesius-Rode. Dit is een project dat ondersteund wordt door de Europese

Unie. Dit project bestaat uit twee fasen. Een eerste fase bestaat uit de 'precursor-missie' (lancering in 2013), en daarna volgt de 'hoofdmissie'. Beide bestaan uit een lancering waarbij de nuttige lading enkel cubesats omvat; de lanceerraket is telkens een Shtil raket, een omgebouwde Russische ballistische raket. De precursor-missie mikt op een polaire baan op ongeveer 500 km hoogte. Eén van de cubesats aan boord wordt ontwikkeld in een samenwerking van het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aëronomie met de Koninklijke Sterrenwacht van België. De hoofdmissie beoogt het lanceren in 2014 van zowat 50 cubesats (wellicht 2U cubesats) die een gemeenschappelijk stel instrumenten dragen. De baan is initieel slechts een 300 km hoog. Afhankelijk van de dichtheid van de hoge atmosfeer (en die wordt beïnvloed door de zonneactiviteit) is de levensduur hooguit een drietal maanden. Het von Karman-Instituut zelf voorziet een speciale cubesat. De bedoeling van de missie bestaat in hoofdzaak uit het onderzoeken van de dichtheid in de hoge atmosfeer, de variabiliteit ervan, en het effect ervan op de terugkeer van satellieten.

### Besluit

Het is in elk geval wel duidelijk dat cubesats een aantal voordelen hebben! Hun succes zit in hun kleine omvang en eenvoud. Hierdoor zijn ze relatief goedkoop: vanaf 50 000 tot 100 000 euro in plaats van de miljoenen die een grote satelliet kost. Voor het onderwijs en voor sommige wetenschappers zijn cubesats dus een goedkope manier om satellieten de ruimte in te krijgen. Bovendien kunnen teams van wetenschappers zich dankzij de standaardisering focussen op het ontwerp van hun wetenschappelijke instrumenten die specifiek voor hun cubesat zijn; ze hoeven niet meer vanaf nul de hele satelliet te bouwen. Studenten ontwikkelen de nodige kennis en vaardigheden die ze nodig hebben in de industrie na hun afstuderen door 'hands on' werk. Daartegenover staat dan wel het feit dat de cubesats zo klein zijn dat ze

maar één of twee wetenschappelijke instrumenten kunnen dragen en maar een beperkte hoeveelheid informatie naar de grond kunnen sturen.

Onderwijs is hét sleutelwoord dat we moeten onthouden bij dit onderwerp. Het aantal geslaagde missies is groot als je bedenkt dat de cubesats voornamelijk door onervaren studenten gemaakt worden met als doel een leuk projectwerk te kunnen uitvoeren. En dat het vaak het eerste ruimtetuig is van hun onderwijsinstelling!

### Bronvermelding

- Oufiti project: <http://www.leodium.ulg.ac.be/cmsms/>
- QB50 project: <https://www.qb50.eu/>
- Swisscube project: <http://swisscube.epfl.ch/>
- Wikipedia, CubeSat: <http://en.wikipedia.org/wiki/CubeSat>
- CubeSat, <http://www.cubesat.org/index.php/about-us>
- Christiaens Kris, CubeSats: studenten toegang geven tot de ruimte: <http://www.spacepage.belcubesats-studenten-toegang-geven-tot-de-ruimte>

- AMSAT, CubeSat Information, <http://www.amsat.org/amsat-new/satellites/cubesats.php>
- McLeary P., Cubesats Tapped For Orbital Networks: [http://www.aviationweek.com/law/generic/story\\_channel.jsp?channel=defense&id=news/dti/2011/09/01/DT\\_09\\_01\\_2011\\_p24-356408.xml&headline=Cubesats%20Tapped%20For%20Orbital%20Networks](http://www.aviationweek.com/law/generic/story_channel.jsp?channel=defense&id=news/dti/2011/09/01/DT_09_01_2011_p24-356408.xml&headline=Cubesats%20Tapped%20For%20Orbital%20Networks)
- Encyclopedia Astronautica, CubeSat: <http://www.astronautix.com/craft/cubesat.htm>

## Een nieuwe, bijzondere Belgische planetoïde

Op 6 februari 2005 werd te Ukkel een lichtwakke planetoïde (magnitude 19 of 20) ontdekt, die de voorlopige aanduiding 2005 CZ36 kreeg. Het object bevond zich in de Leeuw, nabij de ster  $\epsilon$  (Epsilon) Leonis. Onlangs kreeg deze planetoïde het definitieve nummer 314082 (Minor Planet Circular 78200, van 7 februari 2012).

Een deel van de baan bevindt zich binnen de baan van de Aarde. Maar niet alleen gaat het om een planetoïde van het Apollo-type, het is ook een zogenaamde 'Potential Hazardous Asteroid' (PHA), want het object nadert de baan van de Aarde tot slechts 0.0150 AE (2.2 miljoen kilometer). In het perihelium staat de planetoïde op 0.944 AE van de Zon, maar het aphelium ligt op 3.52 AE, vrijwel halfweg tussen de banen van Mars en Jupiter.

In de figuur zijn de banen van de vier binnenste planeten getekend (van binnen naar buiten: de banen van Mercurius, Venus, de Aarde en Mars), alsook de zeer excentrische baan van de planetoïde 314082. Het deel van de baan dat ten noorden van het vlak van de aardbaan ligt, is als een volle lijn getekend; het deel in streepjeslijn bevindt zich ten zuiden ('onder') dit vlak. De stippellijn die door de Zon gaat, is de knopenlijn van de baan van de planetoïde, de snijlijn van zijn baanvlak met het vlak van de aardbaan, de ecliptica.  $K$  is de klimmende knoop,  $D$  de dalende knoop. We zien dat de dalende knoop zich dicht bij de baan van de Aarde bevindt; het is hier dat de planetoïde de aardbaan dicht nadert. Het pijltje rechts van de Zon geeft de richting aan van het lentepunt (lengte  $0^\circ$ ).

De baan van de planetoïde is vrij stabiel, tenminste gedurende de periode 1900-2100. Tijdens deze

periode zijn er geen zeer dichte naderingen tot de Aarde. De berekening leert ons dat tussen 1900 en 2100 de drie dichtste naderingen tot de Aarde de volgende zijn: 0.045 AE (6.7 miljoen km) op 13 juli 1908, 0.072 AE (10.7 miljoen km) op 9 juli 1975, en 0.062 AE (9.3 miljoen km) op 21 juli 2072. Die dichte naderingen hebben alle in juli plaats, wat begrijpelijk is: het is in die periode van het jaar dat de Aarde nabij de dalende knoop  $D$  van de baan van de planetoïde komt.

De helling van de baan van de planetoïde 314082 op het vlak van de ecliptica bedraagt  $16^\circ$ . De omlooptijd is 1220 dagen (3.34 jaar). De absolute helderheid is  $H = 17.5$ . Indien we voor het albedo (het lichtweerkatsend vermogen) 10% aannemen, dan volgt daaruit voor de planetoïde een diameter van 1.3 kilometer.

Op het moment van de ontdekking, 6 februari 2005, stond de planetoïde op 1.04 AE van de Aarde. Het object werd dus niet tijdens een dichte nadering ontdekt. De ontdekkers waren Eric Elst en Henri Debehogne, maar dit gebeurde met medewerking van Peter De Cat en Thierry Pauwels. Deze laatste deelde ons mee: "De ontdekking zou onmogelijk geweest zijn zonder de medewerking van alle waarnemers van asteroïden die toen in Ukkel actief waren, dit zijn dus ook nog Peter De Cat en ikzelf."

Planetoïde nummer 314082 is niet de eerste PHA die te Ukkel is ontdekt. De planetoïde 2101 Adonis, ontdekt te Ukkel door Eugène Delporte in 1936 en pas in 1977 teruggevonden door Charles Kowal, kan ons naderen tot op 0.0119 AE, dit is 1.77 miljoen kilometer.

**Jean Meeus**

