



## Aan de oorsprong van de radioamateursatellieten Van Spoetnik tot de Kepleriaanse elementen

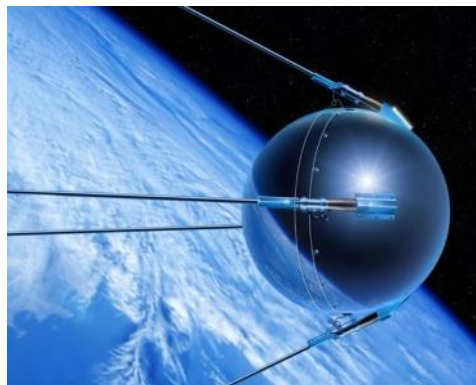
Michel – ON6QO

Op 4 oktober 1957, kort voor middernacht Moskouse tijd, verlaat een metalen bol van 58 centimeter diameter Bajkonoer, in de Kazachse steppe, aan boord van een R-7-raket. Enkele minuten later wordt op 20 en 40 MHz een eenvoudige bieptoon opgevangen door honderden radioamateurs over de hele wereld. Spoetnik 1 is geboren, en daarmee het idee - nog ver weg - dat satellieten op een dag specifiek voor onze dienst zouden kunnen worden ontworpen.

Vooraleer satellietverkeer te doen, is het de moeite waard te begrijpen waar het avontuur vandaan komt. Dit artikel schetst de geschiedenis van de pioniers en stelt de fysische begrippen voor die een kunstmatig object toelaten onophoudelijk boven onze hoofden rond te draaien. Het praktische verkeer in 2026 is het onderwerp van een afzonderlijk artikel, «Satellietverkeer in 2026 - praktische gids voor de beginner».

### 1. Spoetnik 1: de nacht waarin de hemel kantelde

Op 4 oktober 1957 was het kosmodroom van Bajkonoer getuige van de eerste geslaagde lancering van een kunstmatig object in een baan rond de Aarde. De bol, ontworpen door het team van Sergej Koroljov, woog 83 kg en draaide rond onze planeet volgens een elliptische baan die ging van 230 tot 950 km hoogte, met een omlooperperiode van ongeveer 98 minuten. Zijn gepolijste aluminium structuur weerkaatste voldoende licht om hem met het blote oog te kunnen waarnemen vlak voor zonsopgang en vlak na schemering.

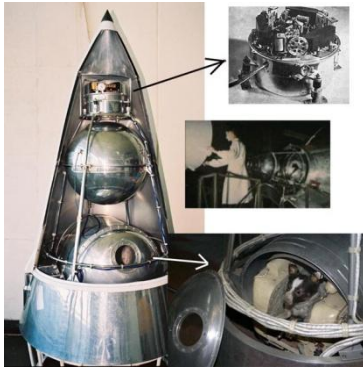


Spoetnik 1

Het genie van het Sovjetontwerp lag minder in de prestatie dan in de eenvoud. Spoetnik 1 had twee zenders aan boord, gevoed door drie zilver-zink batterijen, die gedurende 22 dagen dagelijks het beroemde afwisselende signaal op 20,005 MHz en 40,002 MHz zouden produceren - frequenties zorgvuldig gekozen om overal op de planeet ontvangen te kunnen worden door radioamateurs met klassieke HF-ontvangers.

Op zijn manier was Spoetnik het eerste radiopropagandaprogramma op planetaire schaal: het volstond te luisteren om te begrijpen dat er iets veranderd was.

Minder dan een maand later, op 3 november 1957, droeg Spoetnik 2 de hond Laika. Ditmaal woog de satelliet 508 kg; hij was slechts zeven uur operationeel voordat het thermische systeem faalde - Laika zou de lancering niet overleven. Op 15 mei 1958, na een eerste mislukking op 3 februari, droeg Spoetnik 3 eindelijk een Geigerteller die meehielp om de Van Allen-stralingsgordel in kaart te brengen, enkele maanden eerder aangetoond door de Amerikanen.



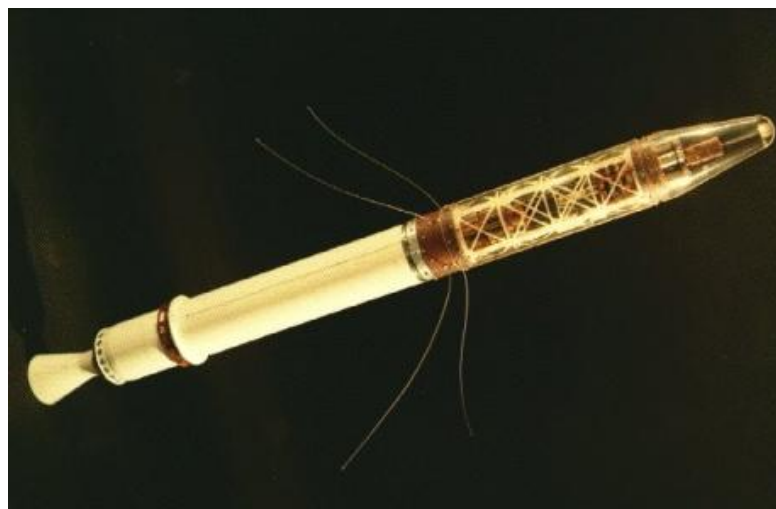
Spoetnik 2



Spoetnik 3

## 2. Explorer 1: het Amerikaanse antwoord

Op 1 februari 1958 lanceerden de Verenigde Staten vanuit Cape Canaveral Explorer 1, een eerste antwoord op de Sovjetvoorsprong. Met zijn 13,97 kg, waarvan 8,3 kg wetenschappelijke instrumenten aan boord - batterijen inbegrepen -, is de satelliet een dwerg vergeleken met zijn Sovjetneven. Zijn baan is meer langgerekt: perigeum op 358 km, apogeum op 2.550 km, omlooperperiode van 114,8 minuten. De baken zendt op 108 MHz, een frequentie die snel waardevolle informatie zal opleveren: het is Explorer 1 die het bestaan zal bevestigen van de stralingsgordels die James Van Allen vermoedde.



Explorer 1

Het verschil tussen Spoetnik en Explorer is meer dan een detail van hoogte of massa: het is de hele geest van een tijdperk. Waar de Sovjet-Spoetnik het massa-effect en de politieke demonstratie zocht, zocht Explorer wetenschappelijke gegevens. Radioamateurs zullen in beide benaderingen hun gading vinden - de eerste democratiseerde het luisteren naar de hemel, de tweede prikkelde de technische nieuwsgierigheid.

### 3. OSCAR 1: geboorte van de radioamateursatelliet

Het is op 12 december 1961, vanaf de luchtmachtbasis van Vandenberg in Californië, dat de ware voorvader van al onze huidige satellieten verschijnt: OSCAR 1, gelanceerd als passagier van een Discoverer XXXVI. Het acroniem OSCAR voor **O**rbiting **S**atellite **C**arrying **A**mateur **R**adio - zou zijn naam geven aan de hele reeks.

Voor het eerst hadden radioamateurs hun eigen satelliet ontworpen, gebouwd en laten lanceren. De cijfers zijn bescheiden: 900 gram, een unieke CW-baken van 140 mW die «HI HI» uitzond op 144,983 MHz, een levensduur in baan van 22 dagen. Maar de impact is enorm: meer dan 600 luisterrapporten bereiken AMSAT (Radio Amateur Satellite Corporation) vanuit 28 landen.



Oscar 1

Doorheen de decennia zullen 92 OSCAR-satellieten volgen, sommige eenvoudige bakens, andere voorzien van geavanceerde transponders. Tot vandaag geldt de OSCAR-nummering: een satelliet krijgt zijn nummer wanneer hij in dienst wordt gesteld en erkend door AMSAT-NA. AO-7 (1974), QO-100 (2018), IO-117 (2022) zijn er rechtstreekse erfgenamen van.

#### 4. RS-10/11 en RS-12/13: de Sovjet gouden eeuw

Voor veel oudgedienden waren de echte beginjaren die van de Radio Sputnik RS-10/11 en RS-12/13, in dienst in de jaren 1980 en 1990. Hun principe was van een elegante eenvoud: uplink in VHF (145 MHz), downlink op 10 meter (29 MHz). Mode A, zoals men het noemde, liet bescheiden uitgeruste stations - een eenvoudige kwartgolfantenne in VHF, een decametrische dipool - toe QSO's te maken in SSB of CW via satelliet. Veel operatoren zagen hun logboek aanzwellen met honderden satelliet-QSO's dankzij deze generatie.



RS3



RS10

Het was de tijd waarin men de Kepleriaanse elementen handmatig moest invoeren in een programma zoals InstantTrack om de volgende overgangen boven Ronse of Brussel te berekenen. Deze elementen kwamen aan via AMSAT-bulletin of via BBS-packet, in de vorm van twee mysterieuze regels (TLE, Two-Line Elements). De komst van internet, van de Celestrak-servers en later van de AMSAT live status zal de situatie radicaal veranderen.

#### 5. Waarom Newton en Kepler ons nog steeds aanbelangen

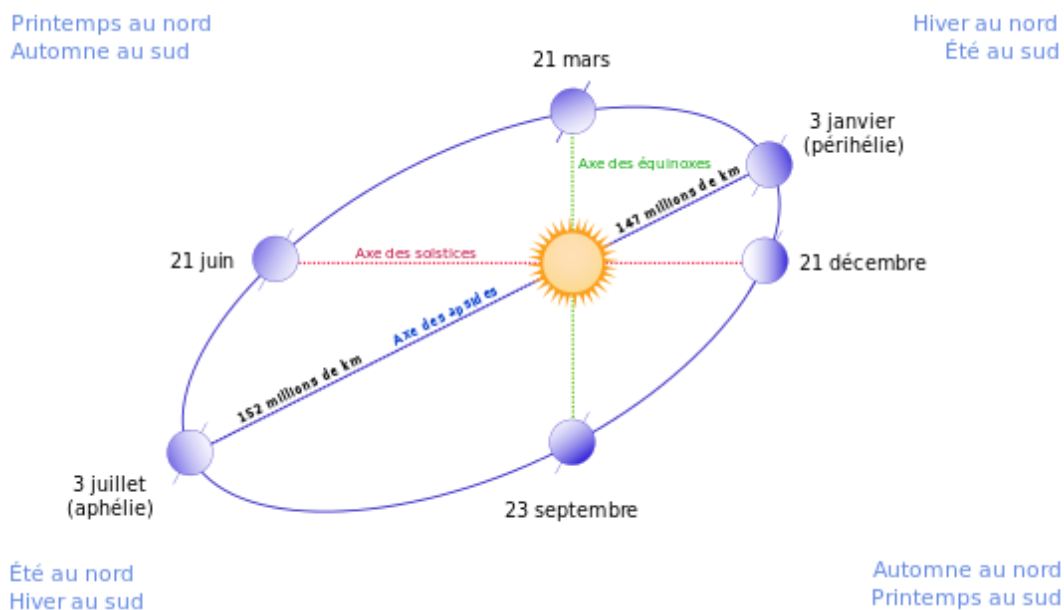
Een satelliet, of die nu natuurlijk is zoals de Maan of kunstmatig zoals onze OSCARs, gehoorzaamt aan dezelfde universele wetten. Deze wetten werden in twee stappen geformuleerd. Johannes Kepler (1571-1630) ontdekte empirisch, op basis van de nauwgezette waarnemingen van Tycho Brahe, de drie wiskundige verbanden die de beweging van de planeten beheersen. Isaac Newton (1643-1727) toonde vervolgens aan dat deze verbanden voortvloeiden uit een dieper principe: de wet van de universele zwaartekracht.

Deze wet vat zich samen in één zin, die men moet kennen: twee willekeurige lichamen trekken elkaar aan recht evenredig met het product van hun massa's en omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand tussen hun zwaartepunten. Het is deze wet die onze voeten op de grond houdt, die de getijden produceert, die de Maan rond de Aarde houdt - en die AO-7 belet om eenenvijftig jaar na zijn lancering in de ruimte te verdwijnen.

Voor een satelliet in een stabiele baan is het evenwicht subtiel: zijn voortbewegingssnelheid geeft hem een baan die de Aarde «voortdurend mist», precies in het tempo waarin de zwaartekracht hem naar ons toe trekt. Als hij trager was, zou hij neerstorten; sneller, dan zou hij ontsnappen. Deze evenwichtssnelheid hangt af van de hoogte - ongeveer 28.000 km/u in een lage baan (LEO, rond 400 km), iets minder dan 11.000 km/u in een geostationaire baan (GEO, op 36.000 km).

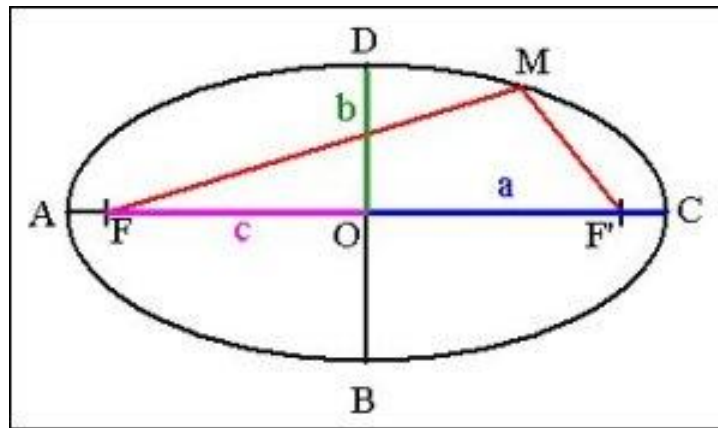
## 6. De drie wetten van Kepler

Eerste wet - elke planeet beschrijft een ellips waarvan de Zon één van de brandpunten bezet. Voor onze kunstmatige satellieten is het de Aarde die dit brandpunt bezet. De baan kan zeer dicht bij een cirkel liggen (cirkelvormige baan, zoals die van het Internationaal Ruimtestation op ongeveer 400 km constante hoogte) of zeer langgerekt zijn (elliptische baan, zoals die van OSCAR 13 was met een perigeum op 1.500 km en een apogeum op 36.000 km).



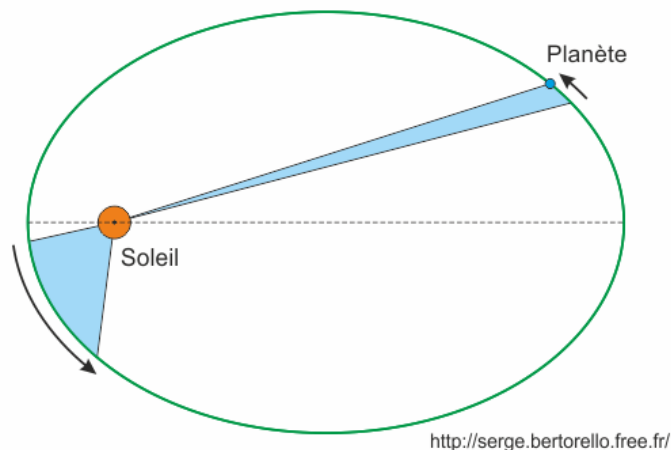
Positie van de aarde en de zon

De excentriciteit van een baan wordt berekend met de formule  $e = c / a$ , waarbij  $c$  de afstand is tussen het middelpunt van de ellips en een van de brandpunten, en  $a$  de lengte van de halve grote as. Voor een perfecte cirkel is  $c = 0$  en dus  $e = 0$ . Voor de baan van de Aarde rond de Zon, met een grote as van 299 miljoen km (152 + 147 miljoen km), bedraagt de excentriciteit amper 0,0068 - vrijwel een cirkel dus. Aan het andere uiterste kan een zeer langgerekte ellips een excentriciteit van 0,7 of meer bereiken.



Meetkundige voorstelling van de eerste wet

Tweede wet - de voerstraal van de planeet beschrijft gelijke oppervlakken in gelijke tijden. Dat lijkt abstract, maar de praktische gevolgtrekking is essentieel voor de radioamateur: de snelheid van de satelliet varieert langs zijn baan. In het apogeum, het verste punt, beweegt hij traag en blijft hij lang zichtbaar. In het perigeum, het dichtste punt, scheert hij voorbij en passeert in enkele minuten. Voor elliptische satellieten zoals OSCAR 13 dat was, gaf men dus de voorkeur aan verkeer in het apogeum: lange doorgangen van meerdere uren, antennes die nauwelijks nog hoefden mee te draaien.



Meetkundige voorstelling van de eerste wet

Derde wet - het kwadraat van de omlooperperiode van een planeet is evenredig met de derde macht van de halve grote as van haar baan. In moderne notatie:  $T^2 = k \times a^3$ , waarbij k een constante is die enkel afhangt van de massa van het centrale lichaam. Het is deze wet die toelaat, met uitsluitend de kennis van de periode van een satelliet, zijn gemiddelde hoogte af te leiden.

## 7. Praktische verificatie: is $T^2 / SMA^3$ werkelijk constant?

Om na te gaan of dit alles werkt, nemen we drie welbekende satellieten met zeer verschillende banen: RS-10 (lage cirkelvormige baan), RS-15 (middelhoge cirkelvormige baan) en OSCAR 13 (zeer elliptische baan). Voor elk berekenen we vanuit de Mean Motion (aantal omwentelingen per dag) de periode T in minuten, en zetten we dan het kwadraat van de periode tegenover de derde macht van de halve grote as (Semi-Major Axis).

Voor RS-10 bedraagt de Mean Motion 13,72 rev/dag, wat een periode geeft van 104,9 minuten (24 u gedeeld door 13,72 geeft 1,75 u, ofwel 60 + 44,9 minuten). De SMA bedraagt 7.369 km. We bekommen  $T^2 / SMA^3 = 104,9^2 / 7.369^3 \approx 11.004 / 400,2 \text{ miljard} \approx 2,7497 \times 10^{-8}$ .

Voor RS-15 bedraagt de Mean Motion 11,28 rev/dag, wat 127,7 minuten geeft voor één baan, met een SMA van 8.401 km. De verhouding  $T^2 / SMA^3$  geeft 16.307 / 592,9 miljard  $\approx 2,7506 \times 10^{-8}$ .

Voor OSCAR 13, die zich op een zeer elliptische Molnyia-baan bevond, bedraagt de Mean Motion slechts 2,10 rev/dag, ofwel een periode van 686,6 minuten (meer dan 11 uur!). De SMA, het gemiddelde van de afstanden tot perigeum en apogeum, bedraagt 25.781 km. De verhouding  $T^2 / SMA^3$  geeft 471.420 / 17.135 miljard  $\approx 2,7512 \times 10^{-8}$ .

QED: de constante is dezelfde tot op 0,1 % na. Drie satellieten met radicaal verschillende banen, en toch een identieke verhouding tussen het kwadraat van de periode en de derde macht van de halve grote as. De wet van Kepler-Newton houdt nog steeds stand, bijna vier eeuwen na haar formulering.

## 8. De Kepleriaanse elementen: de identiteitskaart van een baan

Om de baan van een satelliet volledig te beschrijven, volstaan zeven parameters (zes baan-elementen en een tijdstip), aangevuld met een atmosferische remterm voor lage banen. Deze «Kepleriaanse elementen» - keps voor de ingewijden - worden traditioneel voorgesteld onder de vorm van twee regels (Two-Line Elements, TLE), een formaat ontwikkeld door NASA in de jaren 1960 en nog steeds in gebruik.

De essentiële parameters die men in elke trackingsoftware terugvindt zijn de volgende:

- Epoch time - het referentietijdstip waarop de elementen geldig zijn
- Mean motion - het aantal omwentelingen per dag
- Semi-major axis (SMA) - de halve grote as van de ellips
- Eccentricity - de excentriciteit van de ellips (tussen 0 en 1)
- Inclination - de hoek tussen het baanvlak en de aardse evenaar
- Right Ascension of Ascending Node (RAAN) - de rechte klimming van de stijgende knoop

- Argument of perigee - de hoekpositie van het perigeum op de baan
- Mean anomaly - de hoekpositie van de satelliet op het referentietijdstip

In de heroïsche tijd voerde men deze waarden met de hand in in de trackingsoftware, vanuit AMSAT-bulletins ontvangen via packet of fax. Vandaag downloaden GPredict, SatPC32, Look4Sat en hun concurrenten automatisch de dagelijks bijgewerkte keps van Celestrak of amsat.org. Men kan dus de mechaniek vergeten, maar begrijpen wat erachter schuilgaat blijft nuttig: lijkt één van deze waarden u absurd, dan is de kans groot dat uw voorspellingen het ook zijn.

```
Satellite: RS-10/11
Catalog id 18129
Element set 78
Epoch Year: 95
Epoch Day: 175.70726171
RA of Node: 53.5142 degrees
Inclination: 82.9251 degrees
Eccentricity: 0.0013397
Argument Perigee: 70.1404 degrees
Mean Anomaly: 290.1189 degrees
Mean Motion: 13.72353643 revs/day
Drag: 0.00000037 revs/day/day
Epoch Revolution: 40100
Semimajor axis: 7369.2238 km
Apogee height: 1000.9364 km
Perigee height: 981.1913 km
```

```
Satellite: RS-15
Catalog id 23439
Element set 59
Epoch Year: 95
Epoch Day: 176.21862484
RA of Node: 242.0007 degrees
Inclination: 64.8190 degrees
Eccentricity: 0.0167800
Argument Perigee: 260.6927 degrees
Mean Anomaly: 97.4988 degrees
Mean Motion: 11.27524017 revs/day
Drag: -0.00000039 revs/day/day
Epoch Revolution: 2042
Semimajor axis: 8400.6954 km
Apogee height: 2163.4991 km
Perigee height: 1881.5718 km
```

```
Satellite: OSCAR 13 (AO-13)
Catalog id 19216
Element set 52
Epoch Year: 95
Epoch Day: 178.03039217
RA of Node: 179.4967 degrees
Inclination: 57.5314 degrees
Eccentricity: 0.7302436
Argument Perigee: 12.3499 degrees
Mean Anomaly: 358.6635 degrees
```

```
Mean Motion: 2.09726517 revs/day
Drag: -0.00000376 revs/day/day
Epoch Revolution: 2237
Semimajor axis: 25780.8290 km
Apogee height: 38228.9543 km
Perigee height: 576.3836 km
```

## TLAs

Betekenis van de TLAs uit bovenstaande afbeelding :

RS10 :

Mean Motion : 13,72353643 (rv/day)

24 H / 13,72353643 = 1,74882036583 (tijd van een baan)

60 min + 44,9292219498 (60\*0,74882036583) min = 104,9 min.

S.M.A. 7.369,2238 Km MA => X2 = 14.738,4476 KM ( X 3,14 = 46.278,725464 KM ....OK !)

$T^2 / MA^3 = 104,9^2 = 11.004,01$  en  $MA^3 = 7.369,2238^3 = 400.189.083.987$

$11.004,01 / 400.189.083.987 = 2,7497026881316585 \cdot 10^{-8} = 0,000000027497026881316585$

RS15 :

Mean Motion : 11,27524017 (rv/day)

24 H / 11,27524017 = 2,12855776357 (tijd van een baan)

120 min + 7,7134658142 min (60\*0,12855776357) = 127,7 min.

S.M.A. 8400,6954 Km MA = X2 = 16.801,3908 KM ( X 3,14 = 52.756,367112 KM ....OK !)

$T^2 / MA^3 = 127,7^2 = 16.307,29$  en  $MA^3 = 8.400,6954^3 = 592.851.214.458,5817$   
 $16.307,29 / 592.851.214.458,5817 = 2,7506547346609638 \text{ e-}8 =$   
 $0,000000027506547346609638$

OSCAR 13 :

Mean Motion : 2,09726517 (rv/day)

24 H / 2,09726517 = 11,4434742651 (tijd van een baan)

660 min + 26,608455906 min (60\*0,4434742651) = 686,6 min.

S.M.A. 25.780,8290 Km MA = X2 = 51.561,658 KM ( X 3,14 = 161. 903,60612 KM ....OK !)

$T^2 / MA^3 = 686,6^2 = 471.419,56$  en  $MA^3 = 25.780,8290^3 = 17.135.257.486.242,591$

$471.419,56 / 17.135.257.486.242,591 = 2,7511670622894886 \text{ e-}8$

=0,000000027511670622894886

## 9. En vandaag?

De eerste jaren van de radioamateursatellieten waren die van het ijverig luisteren, van handmatige berekeningen, van CW-decodering. Vijfenzestig jaar na OSCAR 1 is het decor veranderd: een Belgische radioamateur beschikt vandaag over een geostationaire transponder (QO-100), over een tiental satellieten met lineaire transponder, FM-relais in de hemel, een digipeater (GreenCube), regelmatige gelegenheden om het Internationaal Ruimtestation te contacteren. En dat alles vanuit apparatuur tegen een veel bescheidener kostprijs dan in de heroïsche tijd.

Maar voordat men een station opzet, moet men weten welke satellieten echt werken, hoe ze te pakken, en welke valkuilen te vermijden. Dat is het onderwerp van het aanvullende artikel, «Satellietverkeer in 2026 - praktische gids voor de beginner», dat vanaf hier het stokje overneemt, gericht aan de OM die zich concreet afvraagt hoe te beginnen.

## De Kepleriaanse elementen in drie talen

Voor de OMs die internationale documentatie raadplegen, volgt hier de overeenkomst van de essentiële termen in de drie talen van de club.

English	Français	Nederlands
Epoch time	Époque	Tijdstip
Mean motion	Mouvement moyen	Gemiddelde beweging
Semi-Major Axis (SMA)	Demi-grand axe	Halve grote as
Mean Anomaly	Anomalie moyenne	Gemiddelde anomalie
Right Ascension of Ascending Node	Ascension droite du nœud ascendant	Rechte klimming van de stijgende knoop
Argument of perigee	Argument du périhélie	Argument van het perigeum
Eccentricity	Excentricité	Uitrekking
Inclination	Inclinaison	Inclinatie
Epoch revolution	Nombre de révolutions	Aantal omlopen
Decay rate	Terme de freinage	Weerstandsfactor