

GEOGRAFISCHE COORDINATEN EN GPS

par/door Pierre Cornélis ON7PC

Vertaling: Luc ON5UK

Deze twee onderwerpen leiden al gauw tot zeer ingewikkelde wiskundige begrippen. We zullen een benadering vanuit die hoek dan ook vermijden. Daarentegen zullen we proberen wat algemene informatie te verschaffen en dat vooral in het kader van het stralingsdossier, waar men spreekt van Lambert-coördinaten en WGS84.

Van militaire strategie tot de wandelkaarten

In tijden van oorlog had de artillerie maar één doel : de vijand raken, en liefst zo juist mogelijk. Daarvoor had men kaarten nodig. Eerst werden de kaarten door de militairen zelf opgesteld. Later namen de geografische instituten die taak over. In ons land publiceert het Nationaal Geografisch Instituut (NGI) de stafkaarten of in meer vreedevolle termen, de topografische kaarten. Ze zijn beschikbaar op de schalen 1/50000, 1/20000 of 1/10000. Tot voor kort waren ze gebaseerd op de coördinaten en de hoogten gemeten op het terrein o.a. met behulp van de "theodoliet" als meetinstrument.

Rond 1915 werkten de Franse militairen met een rooster van 100 x 100 km. Binnen dit vierkant bepaalde men dan de coördinaten X et Y. Dit noemt men de **Lambert-coördinaten** (www.echodelta.net/mbs/fr-principe.php). Op de huidige NGI-kaarten vindt men ze terug in het zwart op de buitenste rand. De eenheid is 1 km. De afstand tussen 150 en 151 komt dus overeen met 1 km. Dit is zeer praktisch voor de trekker die zich niets moet aantrekken van de schaal.

Men kan de zaken echter ook algemener bekijken en een zestigdelige verdeling gebruiken : de omtrek wordt verdeeld in 360°, elke graad in 60 minuten, elke minuut in 60 seconden en de seconden verdeelt men in tienden en hondersten. De referenties zijn de evenaar en de meridiaan van Greenwich.

Zelfs al ligt Greenwich niet zo ver van hier, toch is het systeem niet zo eenvoudig te gebruiken. Topografen gebruiken meestal nabijgelegen referentiepunten en elk land heeft zijn eigen referenties, de grenspalen. Het feit dat elk land werkt met een eigen indeling en referentiesysteem heeft enkele onvolmaaktheden voor gevolg als men alles wenst samen te brengen. Men heeft dan ook internationale akkoorden afgesloten die deze kleine verschillen moeten wegwerken. Zo is er het referentiesysteem European Datum 1950, afgekort **ED50**, en European Datum 1979 of **ED79** waarop de kaarten van het NGI gebaseerd zijn. Er is weinig verschil tussen de twee systemen. In Frankrijk daarentegen gebruikt men de RGF93, wat staat voor "Réseau Géodésique Français" en in de Verenigde Staten het systeem NAD of North America Datum. Het spreekt vanzelf dat het in Indië, Japan of Zuid-Amerika nog anders is. Zelfs de radioamateurs hebben hun eigen indeling opgesteld namelijk de Maidenhead of WW-Locator.

Met de tijd is men ook overgestapt van het idee van een bolvormig aardoppervlak naar de ellipsoïde en nog later naar de geoïde (www.ngi.be/FR/FR2-1-2.shtm).

Om uw GPS correct in te stellen gaat u naar "configuratie" (of Setup). Daar vindt u onder andere het formaat (graden, minuten, seconden) en "Map Datum", d.w.z. het referentiesysteem. Er bestaan een honderdtal "Map datum" referentiesystemen .

Indien nodig er ook nog even aan herinneren dat:

- men spreekt van "lengte" in de richting oost-west en van "breedte" in de richting noord-zuid ;
- een "grote cirkel" een denkbeeldige cirkel is, waarvan het middelpunt samenvalt met het centrum van de aarde;
- 1° op de omtrek van de grote cirkel, ook 1 booggraad genoemd, overeenkomt met 112 km en dat 1 seconde op de omtrek van de grote cirkel (1 boogseconde) gelijk is aan 31 m.

We zitten dus met 2 coördinatensystemen :

- de Lambert-coördinaten gebaseerd op vierkanten met zijden van x km die lineair verdeeld zijn ;
- en de coördinaten ED50 of ED79 gebaseerd op een verdeling in hoeken.

En om geen jaloersheid te wekken: GPS-systemen gebruiken het World Geodetic System 1984 of **WGS84** (www.wgs84.com/). Dit is ook een zestigdelig systeem. Daar een GPS beschikt over krachtige rekenprocessoren behoort een omzetting naar ED50 of ED79 tot de mogelijkheden. Voor een punt te Brussel bijvoorbeeld bedraagt het verschil tussen ED50 en WGS84 ongeveer 3 sec in breedte en 4 sec in lengte, of zowat 130 m.

Voor vele toepassingen heeft dit weinig belang. Is men op zoek naar het centrum van een stad, een monument, een jachthaven, een brug of een mast... dan zal men die gemakkelijk waarnemen vanop 130 m! Maar in de artillerie is meer precisie vereist om een strategische brug te treffen. Hetzelfde is waar als je in een punt de totale invloed van de stralingsvelden van meerdere zendantennes wil berekenen. Dan is een veel grotere nauwkeurigheid vereist dan 130 m.

De e-kartografie heeft dit alles ook sterk veranderd. Eerst en vooral werden alle NGI-kaarten gedigitaliseerd en herwerkt. De gedigitaliseerde kaarten zijn beschikbaar op CD-ROM (www.ign.be). Dank zij de digitalisering van de kaarten en de toename van de nauwkeurigheid stoppen de Lambert-coördinaten niet bij een kilometer maar bij een meter! Zo komt het dat België op de x-as waarden heeft van 22.000 tot 295.000 en op de y-as van 21.000 tot 245.000!

Met een satelliet werden de hoogten van het aardoppervlak gemeten. Al die gegevens zijn publiek beschikbaar. Daar het om een internationale aangelegenheid gaat worden WGS84-coördinaten gebruikt (srtm.usgs.gov). Het gaat om "brute" gegevens. Men moet ze dus bewerken met een bestaand programma (bijvoorbeeld: www.cplus.org/rmw/english1.html) of zelf een programma schrijven.

In het algemeen spreekt men van Geographic Information Systems of GIS. Er bestaat een website van de Vlaamse Gemeenschap (www.gisvlaanderen.be/gis) waar men onder andere een stratenatlas van Vlaanderen kan vinden met de Lambert-coördinaten. Hetzelfde is voorzien voor het Waals gewest (environnement.wallonie.be/cartosig/index.asp) maar voorlopig zonder stratenatlas.

Op een aantal websites vindt men programma's voor de omzetting van de coördinaten in de verschillende systemen (ondermeer www.winnepenninckx.com).

Hoe werkt een GPS?

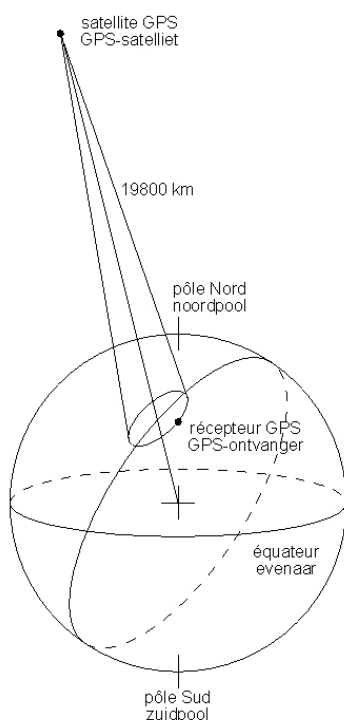


Fig. 1

We gaan hier niet uitleggen wat je kan terugvinden in de handleiding van uw GPS, maar we proberen het principe van de fysische werking te verklaren.

Stel u een zender voor die als datum en uur bijvoorbeeld 25 augustus 2005 18h00m00.000s uitzendt. Als een ontvanger die informatie ontvangt registreert hij eveneens zijn datum en tijdstip, bijvoorbeeld 25 augustus 2005 18h00m00.066s.

Het radiosignaal heeft er dus 66 ms over gedaan om ons te bereiken. M.a.w. de afstand tussen zender en ontvanger bedraagt $300.000 \text{ km/s} \times 66 \text{ ms}$ of 19.800 km.

Maar bekijken we dit nu eens ruimtelijk (**figuur 1**). Een satelliet die deel uitmaakt van het GPS-systeem zendt het tijdstip in digitale vorm naar een GPS-ontvanger op aarde. Daaruit leidt men de afstand af van de satelliet tot de ontvanger (19.800 km). Wij bevinden ons dus op de oppervlakte van een bol met een straal van 19.800 km. Anderzijds bevinden wij ons ook op het aardoppervlak. Men kan dus stellen dat we ons bevinden op de doorsnede van twee boloppervlakten, dus een cirkel op de aarde op 19.800 km van de satelliet.

Deze waarden dienen enkel als voorbeeld maar benaderen de werkelijkheid als je weet dat GPS-satellieten zich op een hoogte van 20.000 km bevinden.

Merk terloops op dat de klok van onze GPS op aarde afgesteld moet zijn op dezelfde referentieklok als de satelliet om juiste berekeningen te kunnen uitvoeren. Noteer ook dat we het hebben over zeer kleine tijdsverschillen. Hier hebben we ons beperkt tot milliseconden maar in de praktijk meet men tot op $0,1 \mu\text{s}$. In dat geval zal de nauwkeurigheid $300.000 \text{ km/s} \times 0,1 \mu\text{s} = 30 \text{ m}$ bedragen.

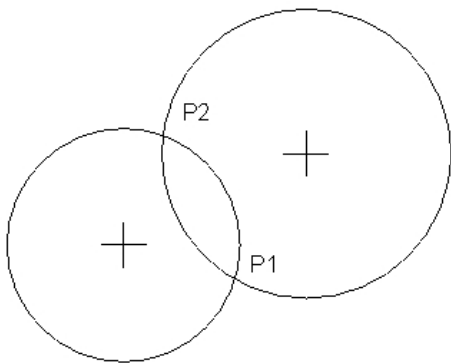
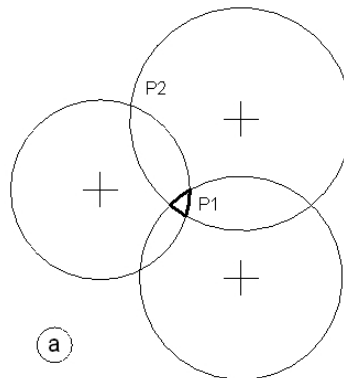
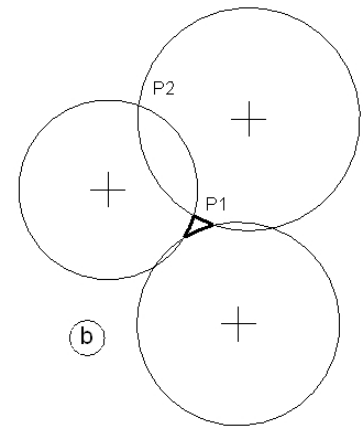


Fig. 2



a



b

Fig. 3

Veronderstel nu een tweede satelliet die op exact dezelfde tijd uitzendt. Op aarde zal men hem ontvangen met een ander tijdsverschil. We zullen ons ook bevinden op een andere cirkel op afstand x van de tweede satelliet. Zie **figuur 2** voor een afbeelding van de cirkels. De twee cirkels hebben 2 snijpunten P1 en P2. Daar er twee oplossingen zijn is de plaatsbepaling onzeker.

Om deze onzekerheid weg te nemen voegen we een derde satelliet toe. We bekommen een derde tijdsverschil en aldus een derde cirkel. We weten nu met zekerheid dat we ons in P1 bevinden. Theoretisch leveren de 3 cirkels slechts 1 punt op.

Zolang de klok van de ontvanger op aarde niet gesynchroniseerd is, is dit echter niet helemaal waar. In plaats van een snijpunt bekommt men een gebied als doorsnede.

Deze oppervlakte heeft de vorm van een boldriehoek en komt voort uit het feit dat de berekende afstanden niet helemaal correct zijn. In **figuur 3a** zijn de berekende afstanden te groot omdat de gemeten tijdsverschillen te lang zijn of nog omdat de referentieklok van de GPS-ontvanger achter loopt. In het tegengestelde geval van **figuur 3b** loopt de referentieklok van de GPS-ontvanger voor. Met drie satellieten zal het mogelijk zijn de klok van de ontvanger bij te regelen tot wanneer een punt of minstens een kleine driehoek verkregen wordt. Noteer dat de verschillen waarover we spreken van de orde van $0,1$ microseconde zijn.

De GPS-ontvanger werkt dus op basis van de berekening van de afstand tot een satelliet en die berekening is op zijn beurt gebaseerd op de meting van het tijdsverschil tussen de klok van de satelliet en de interne klok van de GPS-ontvanger die zichzelf synchroniseert door opeenvolgende benaderingen van de gegevens die ze ontvangt.

Dit verklaart waarom een GPS minstens 3 satellieten moet vinden voordat hij zijn interne klok kan bijstellen en de positie bepalen. Eenmaal gesynchroniseerd kan de ontvanger een tijdje verder werken op zijn interne klok. Toch zal ze regelmatig opnieuw gesynchroniseerd worden.

Zodra de GPS-ontvanger weet waar hij zich bevindt ten opzichte van de 3 satellieten moet hij deze positie nog overbrengen op een rooster dat lengte en de breedte afbeeldt.

Men kan zich nu goed inbeelden dat de hoogte bepaald kan worden met behulp van een vierde satelliet.

Dit was een vereenvoudigde verklaring want in werkelijkheid zijn de zaken wel wat ingewikkelder. De berekening van de positie ten opzichte van de satelliet vraagt heel wat berekeningen.

Het GPS-systeem in een notendop : 24 satellieten bevinden zich op een hoogte van zowat 20.000 km. Er zijn ook nog eens 3 bijkomende satellieten. De 24 satellieten worden bestuurd vanuit basisstations. Als downlink gebruikt men een frequentie L1 voor burgerlijke toepassingen (1575,42 MHz) en een frequentie L2 voor militaire toepassingen (1227,60 MHz). Een GPS-satelliet geeft niet enkel de datum en het uur maar ook zijn identificatie. Die gegevens behoren tot de groep C/A (Coarse Aquisition), terwijl de groep P (Protected) bestemd is voor de militaire toepassingen. De gemiddelde nauwkeurigheid van een gewone GPS is ongeveer 15 m. De systemen WAAS (Wide Area Augmentation System) en DGPS (Differential GPS) hebben een oplossend vermogen van 3 m.

Vanaf het ogenblik dat men beschikt over de coördinaten van de GPS kan men verder gaan. Door de coördinaten op te geven van een ander punt, "waypoint" genoemd, kan men met de functie GoTo de richting en de snelheid van de GPS bepalen alsook de richting naar het verwijderde punt en de afstand tot dat punt. De GPS kan ook een "route" bepalen aan de hand van meerdere waypoints. Die kan men afbeelden op een wegenkaart of stratenatlas wat natuurlijk heel praktisch is. Voor bijzondere toepassingen kan men gebruik maken van de informatie in het formaat NMEA (www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm) en dat via RS-232 of USB.

Naast de Amerikaanse GPS (tycho.usno.navy.mil/gps.html) is er ook GLONASS (www.glonass-center.ru) en binnenkort eveneens GALILEO (europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/index_en.htm).

Enkele interessante websites

www.gpsworld.com/gpsworld/
gpsinformation.net/
www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/coordsys/coordsys_ftoc.html
www.echodelta.net/mbs/fr-accueil.php
zoologie.umh.ac.be/tc/tcbel.asp
www.topographie.net/html/logiciels.html
www.geod.nrcan.gc.ca/index_f/geodesy_f/geodesy_f.html

Gegevens over GPS-ontvangers vindt men op de sites van Garmin, Magellan, Navman of Trimble.

Pierre Cornélis, ON7PC