

AM/FM-GIS Belgium/Luxembourg

Principes van GPS, Permanente Stations en EUREF , Door Dr Carine Bruyninx, Koninklijke Sterrenwacht van België

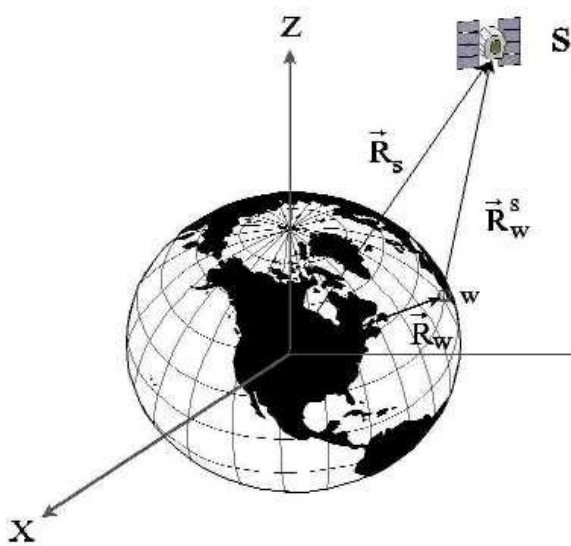
A. WERKINGSPRINCIPE VAN GPS

Basisprincipe van de ruimtegeodesie

Na het lanceren van de eerste artificiële satelliet, Sputnik 1, in 1957, hebben wetenschappers ontdekt dat artificiële satellieten konden gebruikt worden voor positiebepaling. Dit was de oorsprong van de *ruimtegeodesie*.

Het principe van ruimtegeodesie is vrij eenvoudig (zie figuur 1). Veronderstel dat we (punt W) nauwkeurig onze

positie \vec{R}_w kunnen bepalen ten opzichte van een satelliet S, die in de ruimte beweegt. Indien we dan nauwkeurig de baan, en dus de positie \vec{R}_s , van de satelliet kennen, kunnen we hieruit onze positie \vec{R}_w ten opzichte van het centrum van de aarde bepalen. We moeten hiervoor alleen onze positie ten opzichte van de satelliet 'af te trekken' van de positie van de satelliet ten opzichte van het centrum van de aarde:

$$\vec{R}_w^s - \vec{R}_s^s = \vec{R}_w$$


Figuur 1 - Basisprincipe van de ruimtegeodesie

Wat is GPS ?

Het NAVSTAR/GPS systeem (Navigation by Satellite Timing And Ranging/Global Positioning System) werd in de jaren '70 ontworpen door het U.S. Department of Defence (DoD) en het Defence Mapping Agency (DMA). De eerste satelliet werd gelanceerd in 1978.

GPS is opgebouwd uit 3 belangrijke onderdelen. Het *ruimtesegment* omvat satellieten die radiosignalen uitzenden. Het *controlesegment* is opgebouwd uit waarnemingsstations die het correct functioneren van het GPS systeem verzekeren. Passieve ontvangers vormen het *grondsegment* die de satelliet signalen omvormen tot positie en navigatie-informatie. De ruimtelijke spreiding van de satellieten garandeert dat er op elke plaats op aarde en op elk moment minstens 4 satellieten zichtbaar zijn. De baanperiode bedraagt iets minder dan 12 uur. Dat betekent dat eenzelfde satelliet

elke dag op dezelfde plaats 4 minuten vroeger zichtbaar is.

Ondanks het feit dat GPS ontworpen was als een *militair navigatiesysteem*, bewees het reeds snel een potentieel te bezitten voor *geodetische toepassingen*.

Welke signalen zenden de GPS satellieten uit ?

De GPS satellieten werken met een basisfrequentie van 10.23 MHz (f_0). Het eigenlijke signaal (dat door de ontvangers wordt ontvangen en verwerkt) wordt echter uitgezonden op *twee draaggolven* in de L-band. Een eerste draaggolf L_1 heeft een frequentie van 1575.42 MHz ($154 \times f_0$). De tweede draaggolf L_2 heeft een frequentie van 1227.60 MHz ($120 \times f_0$).

Op deze draaggolven zenden de GPS satellieten verschillende *gecodeerde PRN (Pseudo Random Noise) signalen* uit. Het eerste signaal is de zogenaamde C/A (Course Acquisition) code of Standard Positioning Service (SPS). Het is een binaire code, die zich elke milliseconde herhaalt. Elke GPS satelliet heeft zijn eigen unieke SPS code waaraan hij kan herkend worden.

Een tweede code is de P-code, of de Precise Positioning Service (PPS). De code bestaat uit een reeks binaire getallen, die zich om de 267 dagen herhalen. Aan elke satelliet wordt hierbij een uniek segment toegekend dat één week lang is.

De eerste draaggolf L_1 wordt gemoduleerd door de C/A-code en de P-code (of de gecodeerde Y-code). De tweede draaggolf L_2 bevat enkel de P-code of de Y-code. Daarenboven bevat het volledige signaal, dat de satellieten uitzenden, nog informatie over de baan van de satelliet, de toestand van de ionosfeer, de synchronisatiefout van de satellietklok en de algemene 'gezondheidstoestand' van de satelliet. Dit navigatiebericht wordt uitgestuurd door elke satelliet.

De ontvanger vangt het signaal van een aantal satellieten op, en gebruikt het gedecodeerde signaal voor de onmiddellijke bepaling van de positie.

Hoe bekomt men een positie met GPS ?

Een GPS ontvanger kan twee soorten metingen uitvoeren: de zogenaamde *codemeting* en de *fasemeting*. Beide metingen laten toe de afstand te bepalen tussen het ontvangtoestel en de satelliet op het moment dat hij het signaal uitzond. Dankzij de ruimtelijke spreiding van de GPS satellieten kan men op elk moment en op elke plaats gelijktijdig zijn afstand tot 4 satellieten bepalen. Een eerste waarneming zal toelaten de klok van het ontvangtoestel te synchroniseren met de GPS-tijd, zodat de gemeten voortplantingstijd van de signalen gezuiverd wordt van de synchronisatiefouten. De drie overblijvende waarnemingen zullen de 3-dimensionele positie (X,Y,Z) (of φ, λ, h) van het ontvangtoestel bepalen.

1. Metingen op de binaire codes

Bij de codemeting vergelijkt de ontvanger een duplicaat van de uitgezonden code (die wordt gegenereerd binnen in de ontvanger) met de ontvangen code. Uit het tijdsverschil tussen de intern gegenereerde code en de ontvangen code volgt dan de afstand tussen de ontvanger en de satelliet. Men vermenigvuldigt hiervoor gewoon het tijdsverschil met de lichtsnelheid.

In ideale omstandigheden is het gemeten tijdsverschil exact gelijk aan het verschil tussen het tijdstip van ontvangst van het signaal en het tijdstip van uitzenden door de satelliet. Omdat de klokken van de ontvanger en van de satelliet echter nooit exact synchroon lopen, sluipt er een kleine fout in de codemeting. Men noemt daarom een dergelijke meting van de afstand een 'pseudo-codemeting'. Bij gebruik van de C/A code is de nauwkeurigheid van de meting (niet van de positie!) 3 meter, bij gebruik van de P- code bedraagt de nauwkeurigheid 30 cm.

Directe code metingen naar 4 satellieten laten altijd toe een *onmiddellijke positie* te berekenen.

2. Metingen op de draaggolven

De meer geperfectioneerde ontvangstapparatuur bezit de capaciteit om na het uitvoeren van de codemeting, de binaire code van het gemoduleerde signaal af te halen om zo de oorspronkelijke draaggolven te herconstrueren. Dit veronderstelt natuurlijk dat de structuur van de binaire code gekend is binnen in de ontvanger.

Bij de fasemeting meet men het verschil in fase tussen de ontvangen draaggolf (L_1 en/of L_2) en een intern gegenereerde golf in de ontvanger. De nauwkeurigheid van deze fasemeting is beter dan 2 mm.

De allereerste fasemeting naar elke satelliet bevat slechts het fractionele deel van de fase. Dit betekent dat de ontvanger niet in staat is om het aantal nuldoorgangen dat hem van de satelliet scheidt bij deze eerste metingen te tellen. Eenmaal de eerste meting gebeurd is, en de ontvanger zonder onderbreking naar de satelliet kan blijven meten, dan zal hij de fase cumulatief meten. Het onbekende aantal nuldoorgangen bij de initiële meting wordt in vakterm *de initiële meerduidigheid* genoemd en ze is van natuur een geheel getal. Typisch voor de fasemetingen is dat elke keer wanneer het contact tussen de satelliet en het ontvangtoestel onderbroken wordt, er een nieuwe onbekende initiële meerduidigheid ontstaat. Dit fenomeen noemt men *cycle slips* en het uit zich door gehele sprongen in de fasemeting.

De onbekende initiële meerduidigheden (één voor elke nieuwe satellietdoorgang) en de cycle slips moeten respectievelijk tijdens het verwerken van de gegevens bepaald en gecorrigeerd te worden. De meest efficiënte methode hiervoor maakt gebruik van een tweede GPS ontvanger. Indien men niet over een directe communicatielijn beschikt tussen de twee

ontvangers, dan kan deze methode *niet tot een onmiddellijke positie leiden*. Meer hierover in het paragraaf over de relatieve plaatsbepaling.

Opzettelijke beperking van de nauwkeurigheid

Oorspronkelijk werd het GPS opgezet als voornamelijk een militair navigatiesysteem. Het viel dan ook onder de verantwoordelijkheid van het Amerikaanse ministerie van defensie en voldoet aan de Amerikaanse nationale veiligheidsnormen. Reeds bij de ontwikkeling van GPS werd echter voorzien dat het systeem zou kunnen gebruikt worden door niet- militaire gebruikers, zij het met een beperkte nauwkeurigheid.

Aankankelijk werd enkel de Standard Positioning Service ter beschikking gesteld van de niet- militaire gebruikers. Daardoor was de nauwkeurigheid (voor directe positiebepalingen) beperkt tot ongeveer 20 à 100 meter. Rond 1989-1990 werd echter de eerste commerciële GPS apparatuur ontwikkeld die ook de P-code kon ontvangen. Hierdoor werden meer nauwkeurige metingen mogelijk, en werd het GPS systeem bruikbaar voor nauwkeurige navigatietoepassingen. De gestage toename van de nauwkeurigheid van de ontvangers noopte uiteindelijk het Amerikaanse ministerie van defensie tot het versleutelen van de P-code tot de geheime Y-code. Deze techniek, die men *Anti-Spoofing (AS)* noemt, zorgt sinds januari '94 ervoor dat alleen geselecteerde (militaire) gebruikers in staat zijn om uit de Y-code de nauwkeurig P-code af te leiden. AS heeft ook als bedoeling te verhinderen dat 'vijandelijke mogendheden' de P-code zouden dupliceren en verstoren.

Men dacht oorspronkelijk dat Anti-spoofing zou volstaan om de nauwkeurigheid van het GPS te beperken voor niet-militair gebruik. Al snel bleek al dat uit de C/A-codes alleen posities af te leiden waren (bij directe meting) met een nauwkeurigheid van 20 tot 40 meter. Deze evolutie leidde uiteindelijk tot een nieuwe beperking van de nauwkeurigheid, die men *Selective Availability (SA)* noemde. Dat systeem beperkt de nauwkeurigheid van de satellieten op twee manieren. Vooreerst worden de eferiden (de baangegevens), die de satelliet uitstuurt systematisch verstoord. Anderzijds introduceert men een kleine (onbekende) fout in de klok van de satelliet.

Afgezien van enkele onderbrekingen, is 'Selective Availability' actief geweest op alle Block II satellieten sinds april 1990. Tot nu toe werden alleen de satellietklokken verstoord. Niemand weet in hoeverre het Department of Defence ook de eferiden zal verstoren. Deze opzettelijke storingen zijn vooral *hinderlijk voor toepassingen 'in reële tijd' (zoals navigatie)*, dus wanneer men de positie ogenblikkelijk wenst te kennen. Als met het GPS gebruikt voor geodetische toepassingen, kan men de metingen op een grondige manier verwerken en zo de invloed van de 'Selective Availability' verminderen. Recente ontwikkelingen van nieuwe ontvangers, zoals de zogenaamde 'narrow correlator' laten ook toe om de nauwkeurigheid van de Standard Positioning Service (de C/A-code) sterk te verbeteren wanneer het signaal gestoord is.

B. 5 MM NAUWKEURIGHEID TOT 100 M NAUWKEURIGHEID ?

GPS laat toe zijn positie binnen een breed gamma van nauwkeurigheden te bepalen. De bekomen nauwkeurigheid hangt van verschillende factoren af :

- Meet onze ontvangstapparatuur : codes of codes en fases ?
- Worden onze metingen verwerkt binnen het "point-positioning" concept of doet men aan relatieve positiebepaling ?
- Hoe geperfectioneerd zijn de modellen (en programma's) die de metingen te verwerken ?

Drie observatietechnieken kunnen onderscheiden worden:

- het point positioning concept (één ontvanger)

- het basislijn concept (relatieve waarnemingen door 2 ontvangers)

- het multistation concept (drie of meer ontvangers opereren gelijktijdig)

De keuze van het optimale observatieconcept hangt af van de doelstellingen van de meting, de te bereiken nauwkeurigheid, het aantal en type beschikbare ontvangers en de logistieke condities. Een veralgemeende classificatie is daarom onmogelijk. Indien we echter enkel de nauwkeurigheidsvereisten bekijken, dan kunnen we de toepassingsgebieden gegeven in Tabel 1 onderscheiden.

Met één enkele ontvanger kan dankzij de code metingen voortdurend de *absolute positie* bepaald worden (navigatie) met een

nauwkeurigheid gaande van 10 à 15 m (zonder SA met PPS) tot 20 à 100 m (met SA en SPS). Zelfs na verschillende observatiedagen zal de absolute nauwkeurigheid *niet beter zijn dan ± 3 tot 5 m*. Dit betekent dat enkel de toepassingen in groep A kunnen gerealiseerd worden met één ontvanger.

Bij absolute positiebepaling wordt verondersteld dat de metingen van slechts één GPS ontvanger gebruikt worden om zijn geocentrische positie in een aardvast referentiestelsel te bekomen. Welke het referentiestelsel is waarin deze positie bepaald wordt, hangt volledig af van het referentiestelsel waarin de positie van de satelliet gekend is. Bij het bepalen van een ogenblikkelijke positie, maakt men meestal gebruik van het navigatiebericht dat gemoduleerd is op de uitgezonden draaggolven. Dit navigatiebericht drukt de positie van de satellieten uit in het World Geodetic System 84 (WGS84). Bijgevolg zal de ontvanger zijn positie ook in het WGS84 geven. Vermits verscheidene ontvangers de transformatieformules tussen WGS84 en andere referentiesystemen ingebouwd hebben, worden soms eerst deze transformaties door gevoerd. Gezien het globale toepassingsgebied van de transformatieformules is hun nauwkeurigheid beperkt (verschillende m).

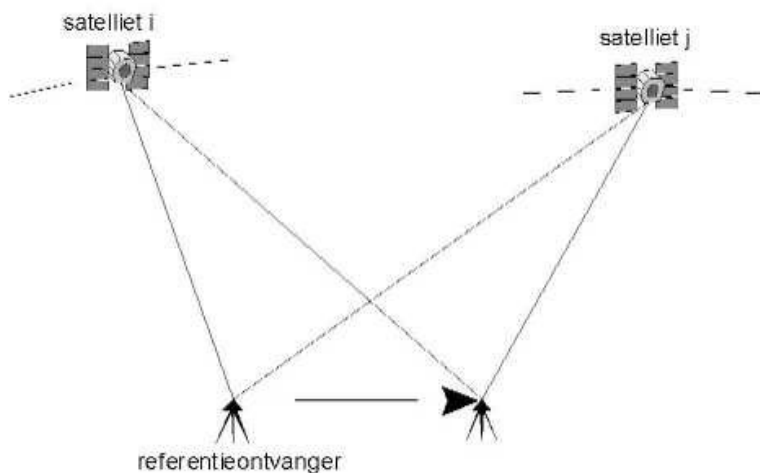
Het basislijn concept en het multistation concept zijn *relatieve observatietechnieken*. Deze techniek wordt geïllustreerd in Figuur 2 en kan toegepast worden voor zowel mobiele als statische toepassingen. De sterkte van de relatieve techniek ligt erin dat een deel van de fouten in nabije stations sterk gecorreleerd zijn en daarom verdwijnen wanneer het verschil tussen de gelijktijdige metingen gevormd wordt. Dit is voornamelijk het geval voor de fouten in de satellietbanen en klokken en de modellatiefouten van de atmosfeer.

Categorie	Vereiste relatieve nauwk.	Corresp.nauwk. (m), afstand afhankelijk
A: Exploratie geofysica Geografische Informatie Systemen (GIS)	$1 \cdot 10^{-4}$	1 .. 50
B: Topografische kaarten Kleinschalige bouwkunde	$1 \cdot 10^{-5}$	0.2 ... 1
C: Kadaster Civiele bouwkunde	$5 \dots 1 \cdot 10^{-6}$	0.01 ... 0.2
D: Geodesie Hoog nauwkeurige civiele bouwkunde Controle netwerken	$5 \cdot 10^{-7} \dots 1 \cdot 10^{-6}$	$\leq 0.01 \dots 0.05$
E: Geodynamica Monitoring met hoogste nauwkeurigheidsvereisten	$1 \cdot 10^{-7}$	0.002 ... 0.02

Tabel 1 - GPS nauwkeurigheidsklassen

Deze modellatiefouten hebben ongeveer dezelfde grootte orde als de meetruis van de codes namelijk 1 à 10 m. Bijgevolg kan men bij navigatietoepassingen een relatieve nauwkeurigheid van ± 2 à 3 m bekomen dankzij code metingen gecombineerd met correcties afkomstig van een referentiestation met gekende positie (differentiële GPS \Rightarrow DGPS). Bij een statische ontvanger kan de extreem lage meetruis van de fasemetingen die 3 à 4 grootte ordes kleiner is dan de modellatiefouten, slechts positief aangewend worden indien de modellatiefouten kunnen geëlimineerd worden door relatieve metingen. Een enorme verbetering in nauwkeurigheid kan bekomen worden indien fasemetingen op een relatieve manier gebruikt worden in vergelijking met het gewone point positioning concept. De relatieve technieken zijn buitengewoon efficiënt indien de afstand tussen de ontvangers klein is zodat de modellatiefouten meer gecorreleerd zijn. Een relatieve nauwkeurigheid **van 2 à 3 mm in de horizontale component en 6 mm in de verticale component** is momenteel de uiterste nauwkeurigheid die met de

relatieve technieken, toegepast op de fase-metingen, kan bekomen worden.



.Figuur 2 - Het concept van relatieve observatie.

De satellietposities en de positie van de referentie ontvanger dienen in éénzelfde referentiesysteem uitgedrukt te worden

C. INTERNATIONALE REFERENTIESYSTEMEN

Het beste globale referentiestelsel dat beschikbaar was op het einde van de jaren '80, was het door het IERS (International Earth Rotation Service) berekende realisatie van het **International Terrestrial Reference System (ITRS)**.

De gedetailleerde definitie van het ITRS is terug te vinden op de volgende webpage : <http://hpiers.obspm/webiers/general/syframes/itrsf/ITRS.html>.

Opeenvolgende realisaties van het IERS werden elk jaar opnieuw berekend, gebaseerd op de gecombineerde VLBI/SLR/LLR posities en snelheden. De hierbij horende referentiestelsels (=set van coördinaten en snelheden voor welbepaalde stations) werden successief ITRF88, ITRF89, ..., **ITRFxx**, .. genaamd.

De eerste permanente GPS stations werden geïnstalleerd in de directe omgeving van de VLBI/SLR stations zodat hun positie via klassieke topografie in het ITRFxx kon bepaald worden. Door het vasthouden van de posities van deze GPS stations werd het omgekeerde basisprincipe van de ruimtegeodesie toegepast en werden nauwkeurige satellietbanen berekend (de *precise orbits*) in dezelfde referentie als de vastgehouden stationsposities : het ITRFxx.

In een tweede stap werd, door gebruik te maken van het "basislijn concept" of het "multistation concept" werden, posities van nieuwe permanente GPS stations berekend in het ITRFxx. Dankzij de beschikbare precieze satellietbanen waren de posities van de referentiestations en de satellieten in eenzelfde referentiesystemen gegeven. Dit verzekerde de nodige homogeniteit.

De op deze manier berekende posities van de permanente GPS stations worden sinds 1991 geïncorporeerd in de jaarlijkse realisaties van het ITRS. De meest recente realisatie (ITRF96) is nu gebaseerd op een breed gamma van technieken zoals VLBI, GPS, DORIS, SLR,

Ook het **World Geodetic Reference System 84 (WGS84)** is een referentiesysteem in de ware zin van het woord. De oorspronkelijke realisatie van het WGS84 was louter gebaseerd op posities berekend aan de hand van metingen naar het DOPPLER satellietensysteem. Vermits deze posities een nauwkeurigheid hadden die niet beter was dan 1 m, waren ook de punten van het WGS84 onderling beperkt tot deze nauwkeurigheid. Over de laatste 15 jaren is de kwaliteit van de opeenvolgende realisaties van het WGS84 enorm verbeterd. De eerste stap naar een betere consistentie tussen het WGS84 en het ITRS had plaats in 1993, wanneer het complete WGS84 netwerk werd herberekend ten opzichte van 8 GPS stations met vastgehouden ITRF91 posities. Deze realisatie van het WGS84 was gekend onder de naam **WGS84(G730)**, waarbij de "G" aanduidde dat het op GPS was gebaseerd en 730 is het nummer van de GPS week (2 januari 1994) dat aanduidt vanaf wanneer deze coördinaten officieel geïmplementeerd werden. In 1994, werd hetzelfde proces nog eens herhaald om zo tot de huidige realisatie van het WGS84 te komen, nl. **WGS84(G873)**. Deze realisatie is consistent met het ITRF94 tot op 5 cm na. Bijgevolg is er voor vele toepassingen praktisch gezien geen verschil tussen coördinaten gegeven in WGS84 of ITRS.

De **IAG subcommissie EUREF** is begaan met alle types van netwerken (horizontaal, vertikaal en driedimensionaal) en alle geografische projecten die hiermee verband houden op het Europese grondgebied.

In 1987, besloten EUREF en CERCO (Comité Européen des responsables de la Cartographie Officielle) om een nieuw Europees geodetisch referentiesysteem te ontwikkelen dat gebaseerd was op GPS. Dit referentiesysteem moest aan de volgende vereisten voldoen :

- geocentrische referentie bruikbaar voor alle geodetische en geodynamische projecten over de volledige Europese continentale plaat
- precieze referentie die nauw aansluit bij het WGS84 en die zowel voor geodesie als alle soorten navigatie (land, zee, lucht) kan gebruikt worden
- een referentie die gebruikt kan worden voor multinationale Digitale Cartografische Datasets.

De oudere projecten (zoals ED50 en ED87) die tot doel hadden een Europees Terrestrisch referentiesysteem uit te bouwen, voldeden niet aan deze bovenvermelde vereisten. WGS84 was (op dat moment) niet nauwkeurig genoeg vermits het toen bijna uitsluitend op Doppler metingen was gebaseerd. CERCO en EUREF besloten daarom om het nieuwe Europese referentiesysteem op het ITRF89 te baseren.

De officiële definitie van het nieuwe European Terrestrial Reference System luidt als volgt :

« The IAG Subcomission for the European Reference Frame

recognising the availability of the International Terrestrial Reference System (ITRS) which has been established by the International Earth Rotation Service (IERS) which is accepted worldwide and which uses SLR, LLR and VLBI observations and

nothing that in such a system station positions in Europe have a common motion of the order of one centimeter per year

recommends that the system to be adopted by EUREF will be coincident with ITRS at the Epoch 1989.0 and fixed to the stable part of the Eurasian Plate and will be known as European Terrestrial Reference System 89 (ETRS 89) and

accepts that this geocentric system will coincid with the World Geodetic System 84 (WGS 84) at the one meter level and that, for most applications, the coordinates will have no time variation.»

The GRS80 ellipsoid is adopted in conjunction with ETRS89.

De praktische realisatie van het ETRS89 kwam in 1989 als volgt tot stand : de ITRF posities van 35 Europese VLBI en SLR stations in Europa werden berekend voor het tijdstip 1989. Deze posities werden gedefinieerd als de basis set coördinaten die het nieuwe European Terrestrial Reference Frame bepalen. Op deze wijze is de eerste realisatie van het ETRS89 gekend onder de naam ETRF89 dat, op het tijdstip 1989,0, een onderdeel was van het globale ITRF89.

Omwille van de platentektoniek veranderen de ITRFxx coördinaten van de Europese subset van stations met een snelheid van ongeveer 1,5 cm/jaar. Om dit vermijden werd besloten dat het ETRS89 rond het middelpunt van de aarde mee zou roteren met het stabiele deel van de Europese plaat Een gevolg hiervan is dat de afstand tussen punten gelegen op het stabiele deel van de Europese plaat in het ETRS89 constant zouden zijn. Dit is natuurlijk van groot belang voor praktische toepassingen.

De opeenvolgende realisaties van het ETRS89 zijn gekend onder namen ETRF89, ETRF90, ..., **ETRFxx**. Zoals het geval is voor het ETRF89, worden de realisaties ETRFxx berekend uit de opeenvolgende ITRFxx. Dit gebeurt in twee stappen. In een eerste stap worden ITRFxx coördinaten voor de stations berekend. Dit gebeurt door het multistation concept toe te passen

waarbij de ITRF_{xx} posities van permanente GPS stations vasthoudt en men gebruik maakt van precieze satellietbanen die ook gebaseerd zijn op het ITRF_{xx}. In een tweede stap worden de op deze wijze berekende ITRF_{xx} posities worden getransformeerd in het ETRF_{xx}. Deze transformatieformules die hierbij toegepast worden zijn welgekend en ze kunnen opgevraagd worden via Internet op

<http://lareg.ensg.ign.fr/pub/euref/info/guidelines/REF.FRAME.SPECIFV4>.

D. BESTAANDE PERMANENTE GPS NETWERKEN - GEODESIE EN GEOFYSICA

Het is duidelijk dat permanente GPS stations met nauwkeurige ITRF_{xx} coördinaten kunnen gebruikt worden als referentie voor de opbouw van nationale en internationale coördinatenstelsels. Hierbij is het van groot belang dat de gegevens van deze stations ter beschikking gesteld worden van het grote publiek zodat het basislijn-of multistation concept kan toegepast worden.

Er bestaan verschillende netwerken van permanente GPS stations waarvan de positie gekend is in het ITRF_{xx} en waarvan de gegevens kosteloos ter beschikking worden gesteld. De meeste van deze netwerken beperken zich tot toepassingen die gebruik maken van het ITRF_{xx}. Dit zijn in het algemeen hoog-nauwkeurige toepassingen die gebruik maken van de fasemetingen die via postprocessing technieken verwerkt worden. We schetsen hier enkele van deze netwerken en zullen ons hierbij beperken tot toepassingen waarvoor de data met een vertraging van 24 uur beschikbaar mogen zijn

Wereldwijd - de International GPS Service (IGS)

De internationale wetenschappelijke gemeenschap heeft sinds 1991 een belangrijke inspanning gedaan om internationale standaarden betreffende GPS data acquisitie en data verwerking te ontwikkelen en promoten. Daarnaast werd ook een globaal GPS waarnetingsnetwerk ontplooid en onderhouden. Al deze activiteiten worden gesuperviseerd door de **International GPS Service (IGS)**, die gebaseerd is op een vrijwillige samenwerking tussen multinationale organisaties en instituten

Als onderdeel van deze inspanning, verschaft het IGS nauwkeurige GPS satellietbanen (in het ITRF_{xx}), GPS gegevens en andere GPS data en producten van hoge kwaliteit. Deze zijn on-line beschikbaar in bijna reële tijd. De IGS producten worden via verscheidene data centra kosteloos ter beschikking gesteld van het publiek.

Dankzij een nauwe samenwerking tussen het IGS en het IERS, zijn de coördinaten van alle IGS stations ook gekend in het ITRF_{xx}.

Binnen het IGS worden alle GPS producten uitgewisseld in een vastgelegd formaat : voor de eigenlijke data wordt RINEX (**Receiver Independent Exchange Format**) gebruikt, voor de precieze satellietbanen wordt het SP3 formaat gebruikt. De meeste GPS postprocessing software beschikt (of zou er over moeten beschikken) over een module die de mogelijkheid biedt deze formaten in te lezen. Gedetailleerde informatie over het IGS is terug te vinden via Internet op <http://www.igsb.jpl.nasa.gov/>. Hier kan men ook een volledige beschrijving van de gebruikte standaardformaten, zoals RINEX, SP3 evenals conversieprogramma's terugvinden en downloaden.

Europees - het EUREF netwerk

In navolging van het IGS netwerk, besloot EUREF eind '95 binnen Europa de uitbouw van een gelijkaardig netwerk van permanente GPS stations te stimuleren (zie Figuur 3) met als hoofddoel het onderhoud van het ETRS89.

De GPS data van meer dan 80 permanente GPS stations in Europa wordt dagelijks door EUREF kosteloos via Internet ter beschikking gesteld aan het grote publiek. Op de koop toe zijn de coördinaten van deze stations met mm-cm nauwkeurigheid gekend zijn in het ITRF_{xx} en ETRF_{xx}. Het basislijn of multistation concept kan dus toegepast worden om ETRF_{xx}/ITRF_{xx} coördinaten van nieuwe stations te bepalen.

De Sterrenwacht speelt een zeer actieve rol binnen EUREF vermits zij verantwoordelijk is voor de coördinatie en supervisie van alle activiteiten binnen dit netwerk van permanent GPS stations en de daarmee geassocieerde datacentra en analyse centra. Alle informatie betreffende het EUREF netwerk kan opgevraagd worden op <http://www.oma.be/KSB-ORB/EUREF/>.

KSB netwerk

De Koninklijke Sterrenwacht kocht zijn eerste GPS ontvangers aan in 1989. Sindsdien werd het onderzoek op het gebied van GPS steeds uitgebreid.

De Koninklijke Sterrenwacht heeft momenteel 7 permanente GPS stations in werking. De lokatie van deze stations is gegeven in Figuur 4. In Ukkel worden sinds 1989 regelmatig GPS metingen uitgevoerd. Permanente observaties worden uitgevoerd sinds 1993. Sinds november 1993 maakt de GPS ontvanger in Ukkel (BRUSSELS) deel uit van het wereldwijde IGS netwerk. Sinds januari 1996, maken de 3 GPS stations in Dentergem (Prov. West-Vlaanderen tussen Gent en Kortrijk), Waremmes (Prov. Luik, tussen Tienen en Luik) en Dourbes (Prov. Namen, ten zuiden van Phillipeville nabij de Franse grens) deel uit van het permanente EUREF netwerk. Een logisch gevolg hiervan is dat de posities van deze 4 stations met een uiterste nauwkeurigheid gekend zijn in het ITRF_{xx} en het ETRF_{xx}.

Twee stations (Bree en Meeuwen) gelegen in Noord-Limburg hebben tot doel om trage grondverplaatsingen langs een seismische breuklijn (cfr. Aardbeving van Roermond) te meten. Zij doen dit permanent sinds juni 1997.

Een laatste permanent station is gelegen in Membach, tegen de Duitse grens, waar ook een supergeleidende gravimeter permanent informatie verzamelt over de veranderingen in de aantrekkingskracht van de aarde. De bedoeling van deze collocatie is het vergelijken van de hoogtevariëaties afgeleid uit de twee onafhankelijke meetinstrumenten.

Het is duidelijk dat de keuze van de lokalisatie van deze stations enerzijds werd gebaseerd op pure geometrische factoren en anderzijds op mogelijke geofysische toepassingen.

De Koninklijke Sterrenwacht gebruikt de resultaten van de GPS metingen onder andere om de nauwkeurigheid van de dagelijks berekende posities te bepalen, en om de invloed te meten van de ionosfeer van de aarde op de GPS metingen.

Binnen het kader van IGS/EUREF worden de gegevens van de permanente GPS stations in Brussel, Dentergem, Dourbes en Waremmes kosteloos te beschikking gesteld (via Internet) aan het grote publiek met een (IGS) standaard meetinterval van 30 s.

Daarnaast worden ook uurlijkse data files (maximaal 1 uur na observatie beschikbaar) voor Dentergem en Brussel ter beschikking gesteld. Om tegemoet te komen aan de eisen van de Belgische GPS gebruikers werd het meetinterval hier op 10 seconden geïntialiseerd. Ook de gegevens van Membach, Meeuwen en Bree worden via Internet ter beschikking gesteld. Vermits deze stations geen deel uitmaken van internationale netwerken zoals het IGS of EUREF zijn hun coördinaten niet in de officiële realisaties van het ITRS gekend, zoals deze door het IERS berekend wordt.

Alle informatie betreffende het permanent netwerk van de KSB kan opgevraagd worden via <http://www.oma.be//KSB-ORB/D1/GPS/main.html>.