



COMMENT

GÉODÉSIE MONDIALE DES NATIONS UNIES CENTRE D'EXCELLENCE

MODERNISATION DU SYSTÈME DE RÉFÉRENCE
GÉOSPATIALE
ATELIER SUR LE DÉVELOPPEMENT DES CAPACITÉS

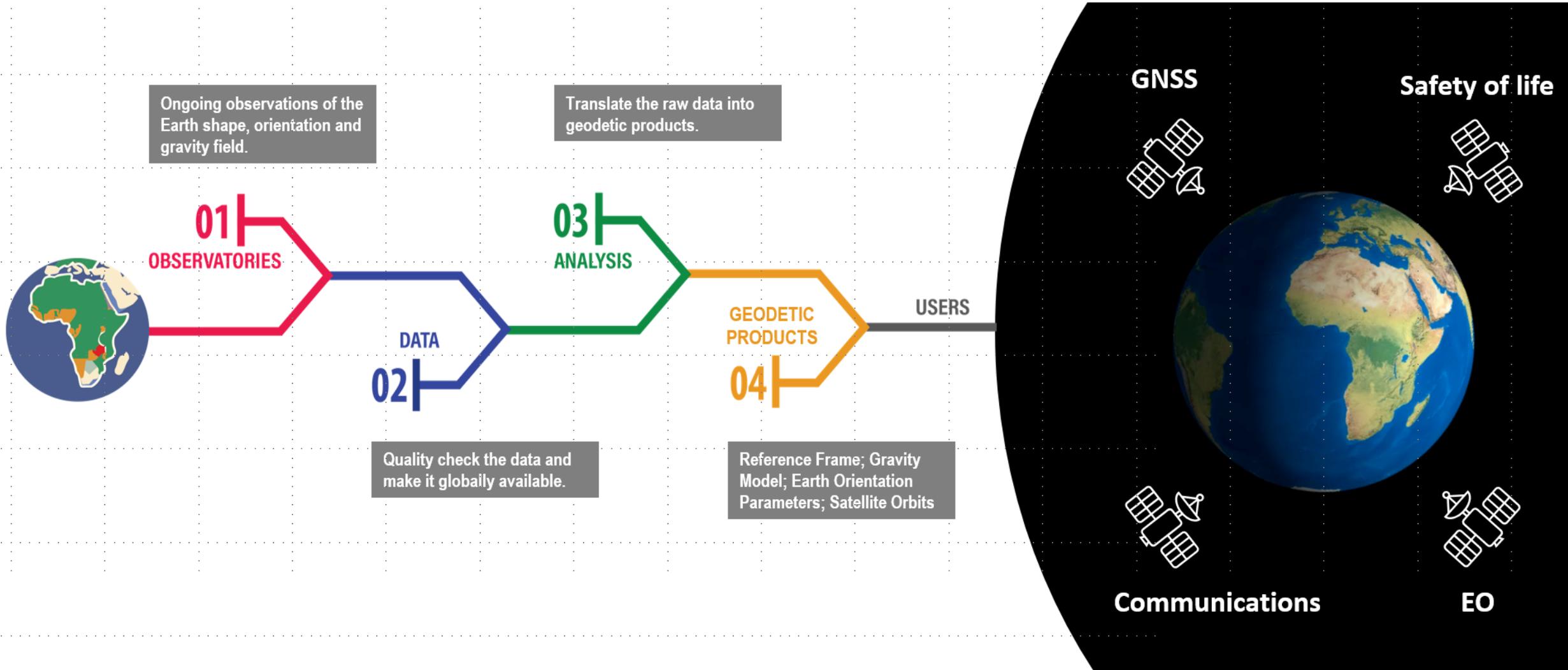
Introduction à l'infrastructure des systèmes de référence
géospatiale

Nicholas Brown
Directeur du bureau, UN-GGCE

1er Jour, 2e Séance [1](#) [2](#) [3](#)

Remerciements : Zuheir Altamimi (FRA) ; Detlef Angerman (TUM) ; Johannes Bouman (ALL) ; Jan Dostal (UN-GGCE) ; Richard Gross (NASA) ; Anna Riddell (AUS) ; Laura Sanchez (TUM) ; Jeffrey Verbeurgt (BEL).

Chaîne logistique mondiale de géodésie



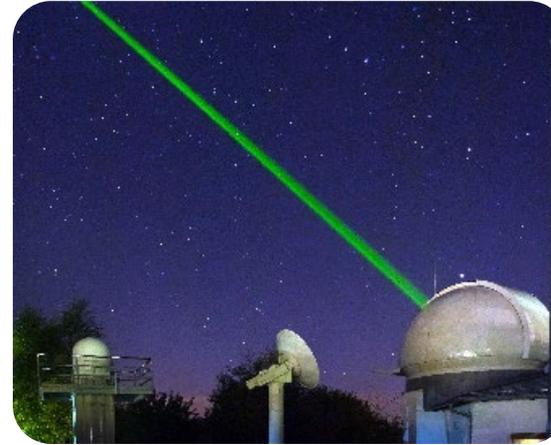
Techniques de géodésie spatiale



VLBI

Interférométrie à très longue base

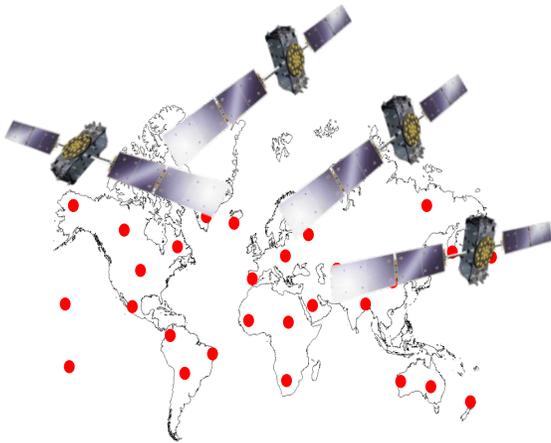
Rotation de la Terre, coordonnées des stations, positions des quasars



SLR

Télémétrie laser par satellite

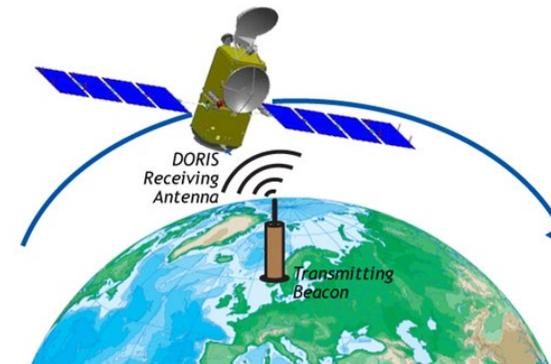
Orbites des satellites, coordonnées des stations, rotation de la Terre, centre de masse de la Terre



GNSS

Systèmes globaux de navigation par satellite (GPS, GLONASS, Galileo, Beidou)

Coordonnées des stations, rotation de la Terre, géodynamique



DORIS

Orbitographie Doppler et radiopositionnement intégrés par satellite

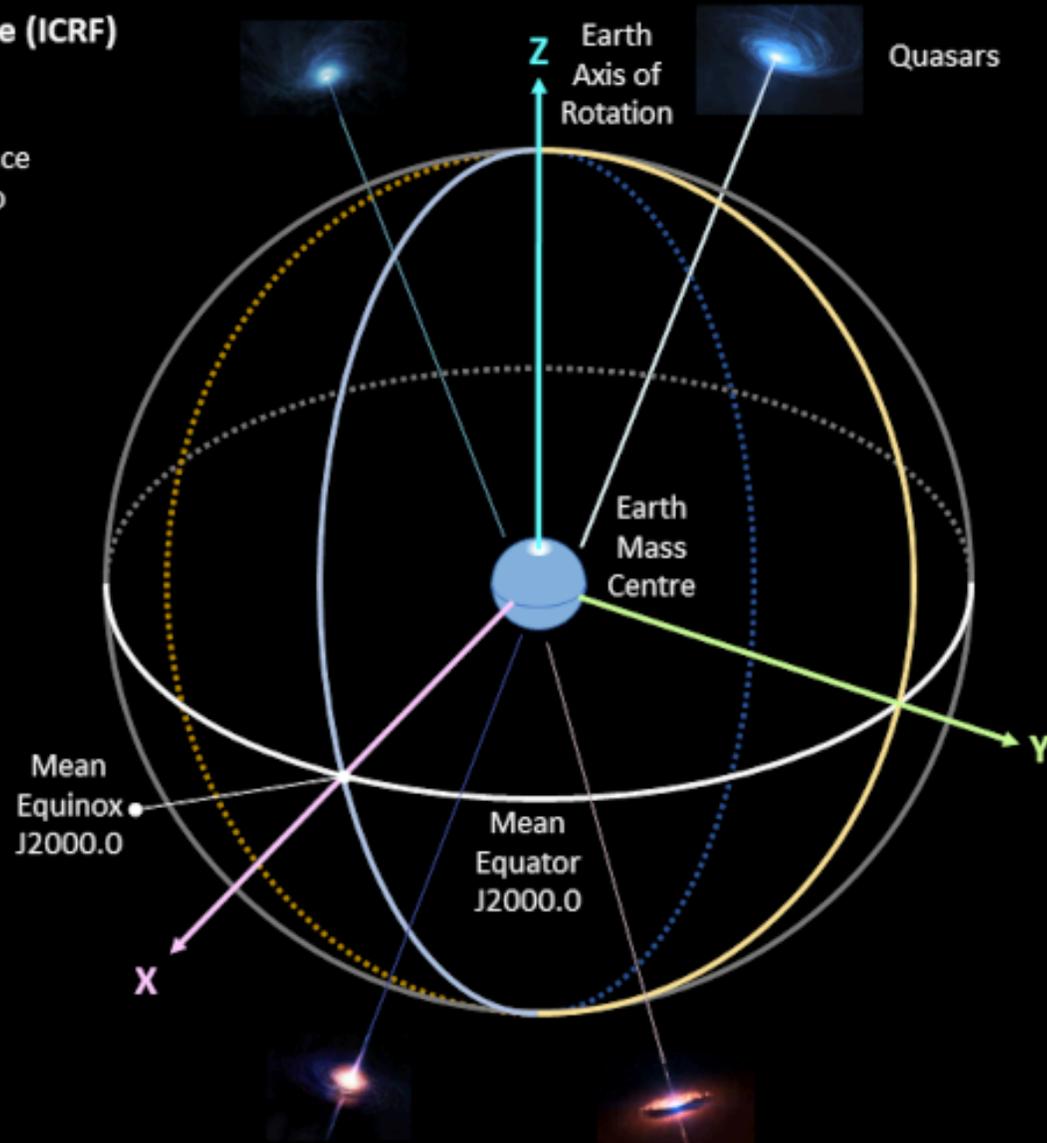
Orbites des satellites, coordonnées des stations, rotation de la Terre, champ de gravité

Cadre de référence céleste international (International Celestial Reference Frame ou ICRF)

International Celestial Reference Frame (ICRF)

The International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS) was created in 1988 to establish and maintain a Celestial Reference Frame, the ICRF. The ICRF is defined by the position of significant celestial objects. Perhaps the most important of these are the so called radio-loud quasars. These are super massive black holes at the centre of galaxies that radiate huge amounts of energy. A quasar typically emits radiation with a unique signature - a pattern across the radiation spectrum. These quasars, to all intents and purposes, appear as fixed points in the sky and thus as fixed reference points in the ICRF.

J2000.0 is a standard Julian equinox and epoch - January 1, 2000 at 12:00 UT.



Cadre de référence terrestre international (ITRF)

International Terrestrial Reference Frame (ITRF)

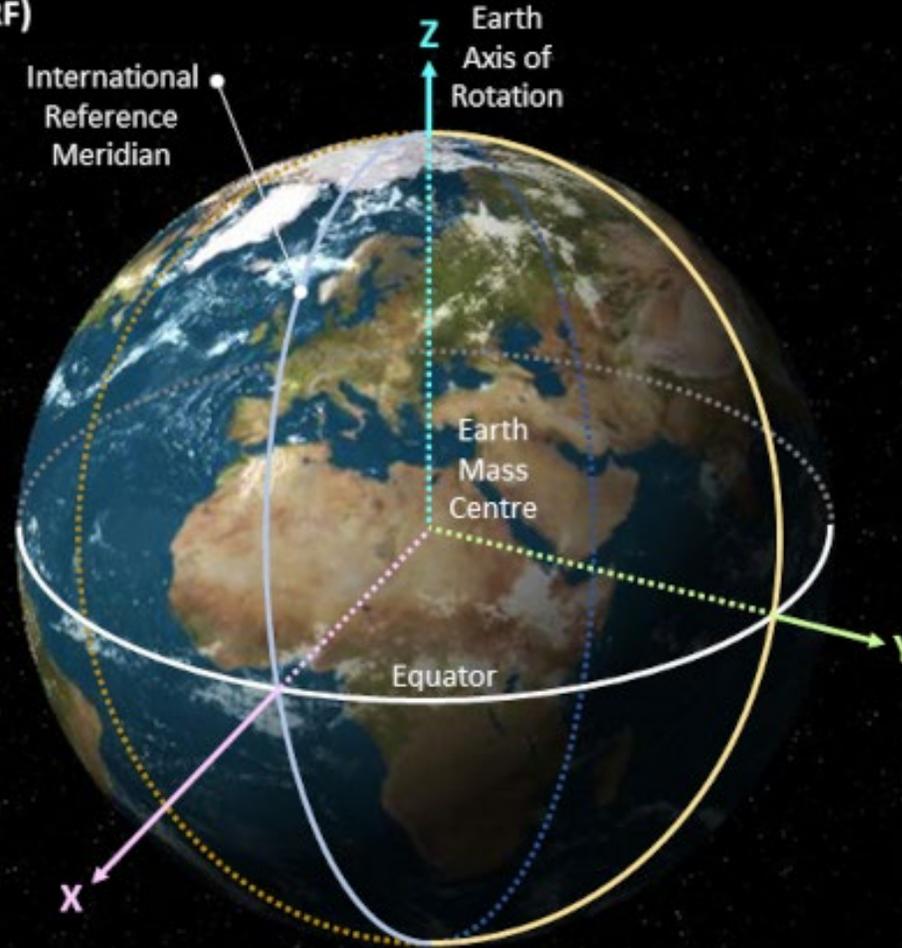
The IERS also maintains the Terrestrial Reference Frame, the ITRF. The ITRF is based on three axes, X, Y and Z with the origin placed at the Earth's centre of mass. The ITRF rotates with and as the Earth rotates across a day. A position in X, Y and Z coordinates can be converted to geographical coordinates (Longitude, Latitude and Height) using a geodetic datum such as WGS84 (world) or GDA2020 (Australia).

Curiously the Earth is not a perfect sphere. It's radius is bigger at the equator than it is at the poles. It also has lumpy gravity. If you ran an altimeter over Earth and plotted out all the points of equal gravity, the picture would look a bit like a potato. This gravity potato is called the geoid.



IERS iers.org
Rupert W Brown December 2021

The relationship between the ICRF and ITRF is defined by Earth Orientation Parameters (EOP).



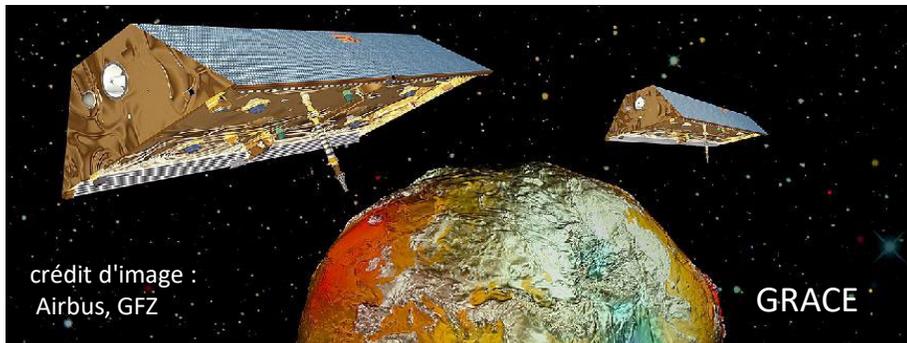
The International Reference Meridian runs approximately 100 m to the west of the original Greenwich Mean Meridian

Techniques de géodésie



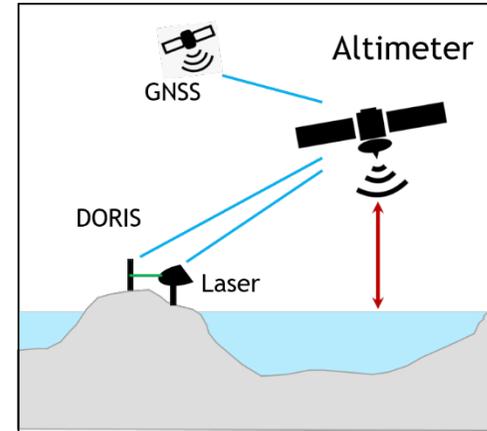
Gravimétrie

Forme de la Terre
Champ de gravité
Valeur zéro pour la hauteur
Transport de masse
Cycle de l'eau
Surveillance du climat



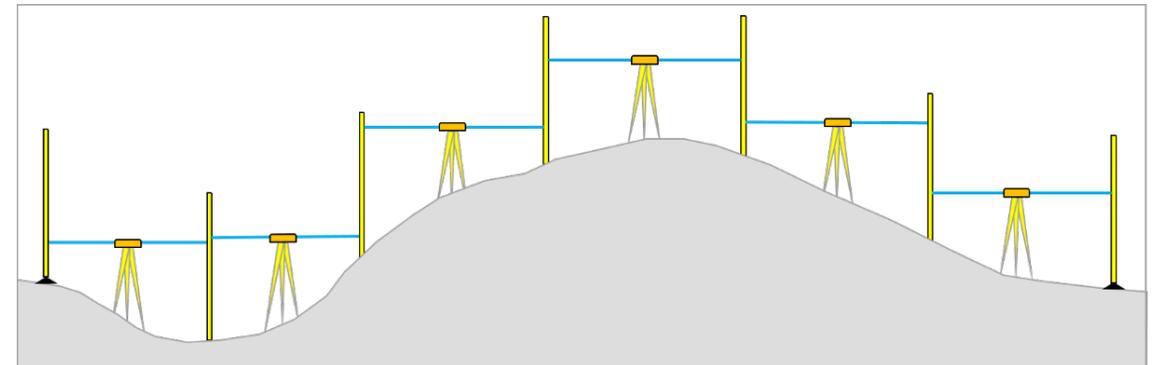
crédit d'image :
Airbus, GFZ

GRACE



Nivellement, Altimétrie, Marégraphes

Système de référence vertical
Composante hauteur
Niveau de la mer

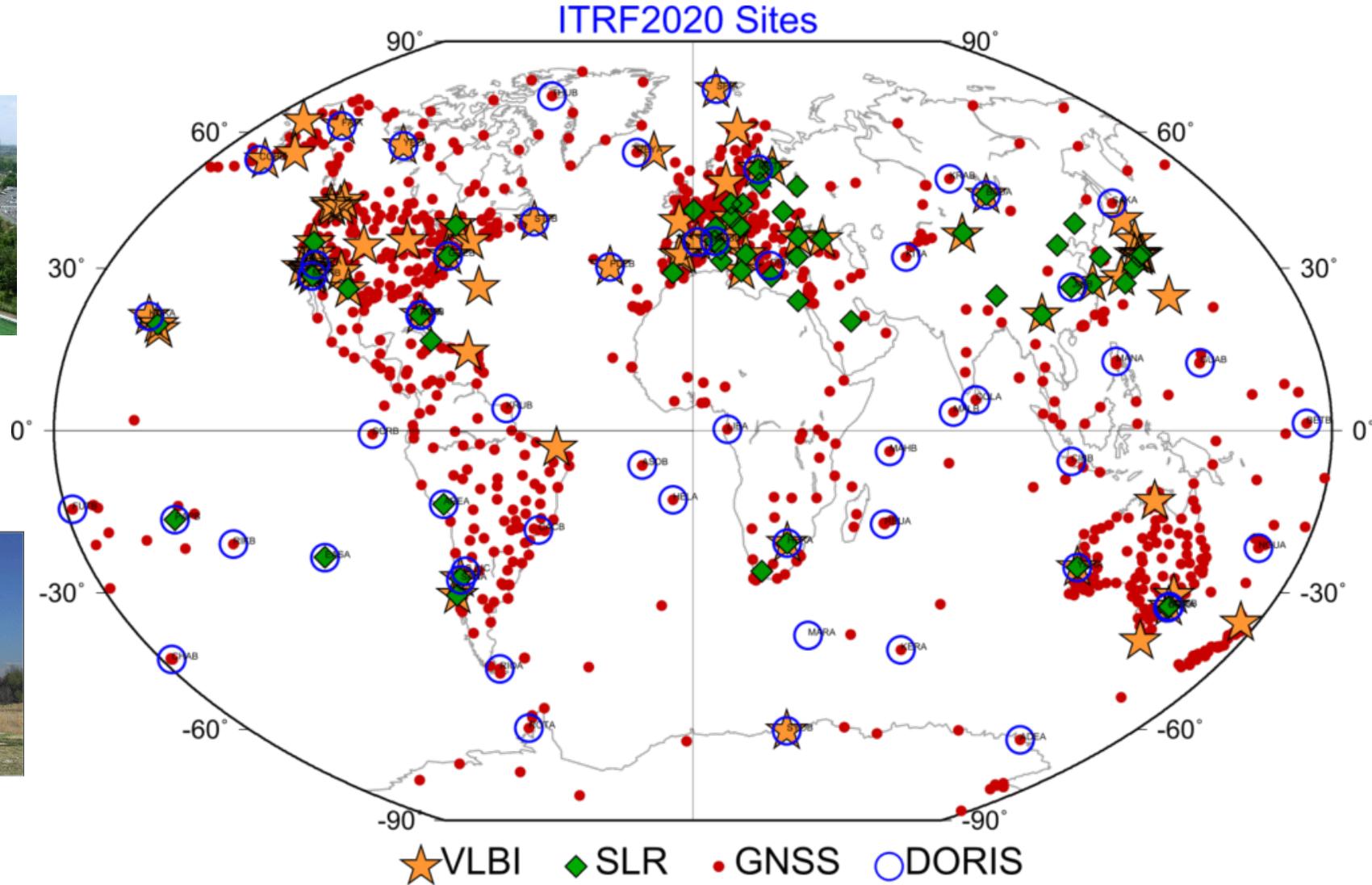


Techniques d'observation de l'ITRF

★ VLBI



◆ SLR



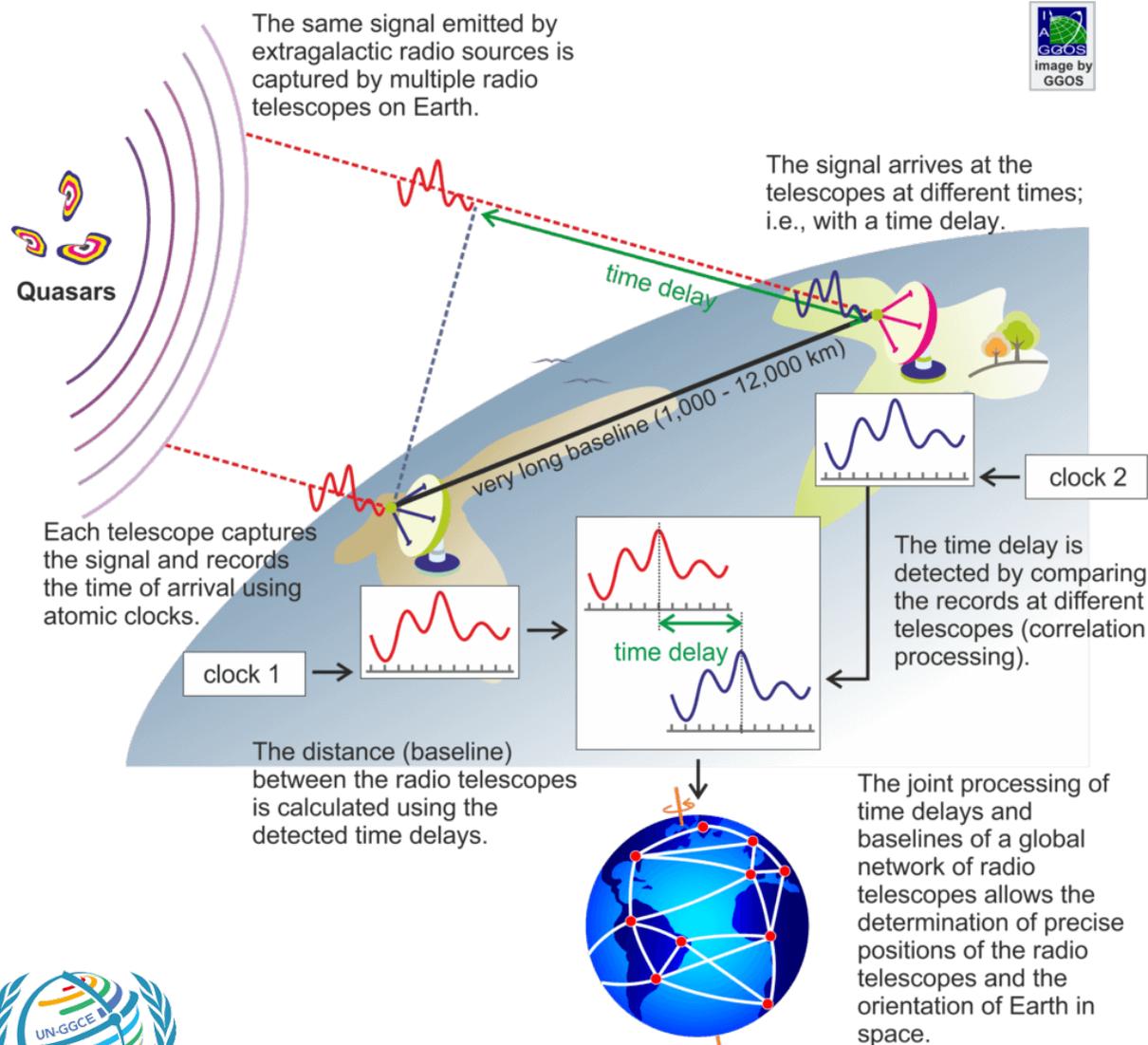
● GNSS



○ DORIS



Interférométrie à très longue base (VLBI)



Enregistrement du rayonnement électromagnétique d'objets très éloignés dans l'espace (quasars) dans la gamme des micro-ondes

Méthode interférométrique : au moins deux télescopes sont nécessaires, les exigences les plus élevées en matière de temps (horloges atomiques requises).

Détermination de la différence exacte de temps de parcours en corrélant les données enregistrées après mesure à l'aide d'un corrélateur.

Calcul des lignes de base entre les stations VLBI

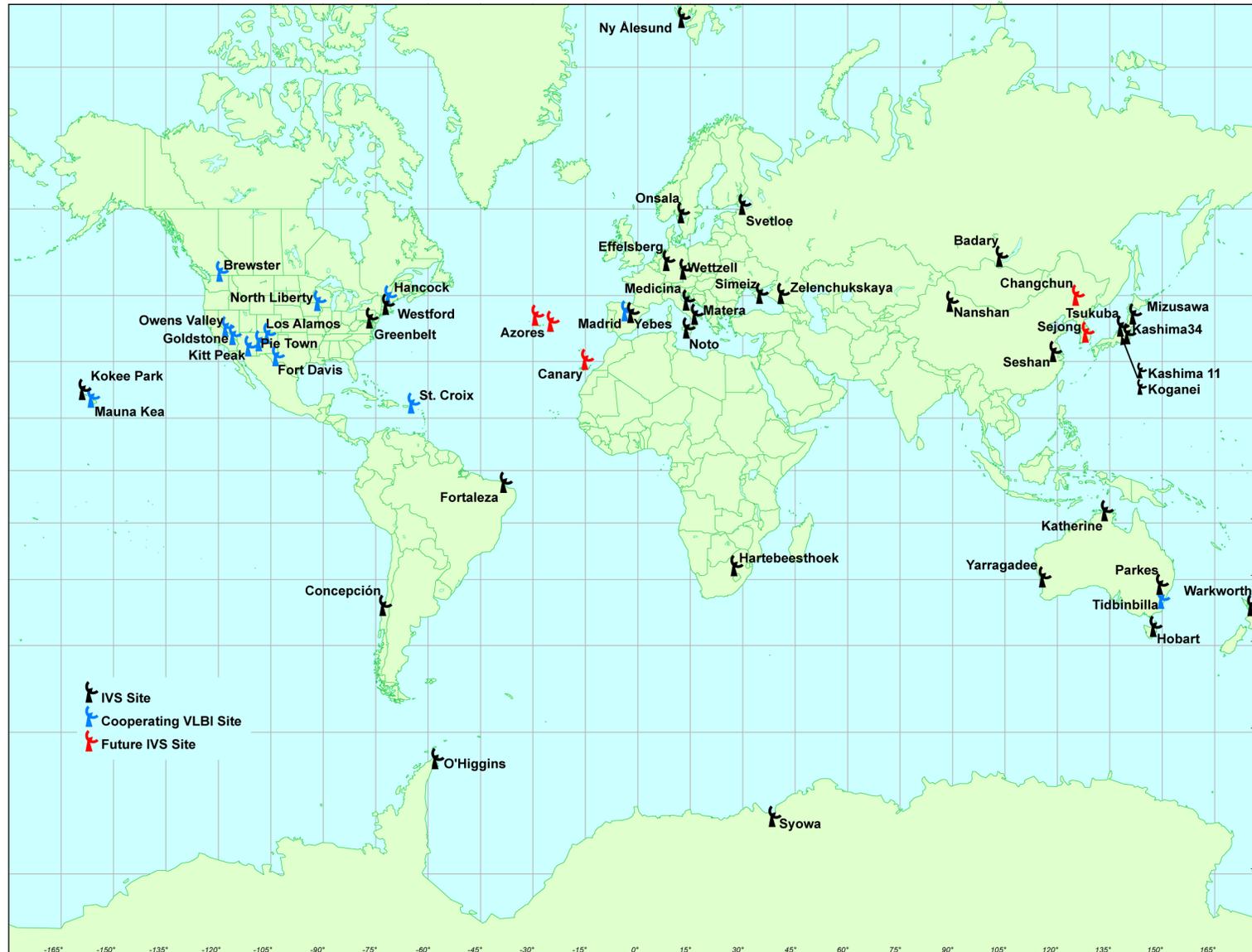
Sur la base des temps enregistrés à différents endroits, il est possible de déterminer **l'orientation** de la Terre, sa **vitesse** de rotation et la **distance entre les antennes** (qui peuvent être séparées de plusieurs milliers de kilomètres) avec une précision millimétrique.

<https://ggos.org/item/vlbi> (créé par Laura Sanchez)

PLUS
FORTS.
ENSEMBLE



Service international VLBI pour la géodésie et l'astrométrie



(source :

Radiotélescopes exploités par BKG

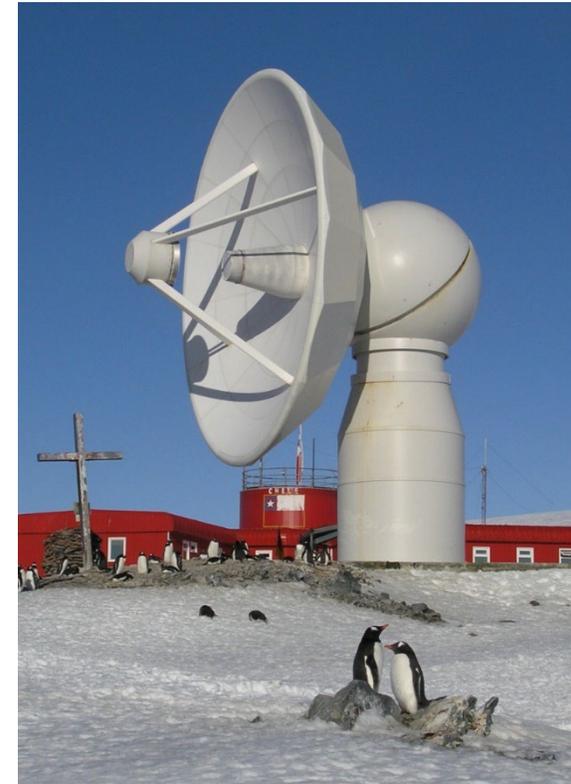
20 m RTW (Wetzell)



13 m TWIN-Teleskope (Wetzell)



**6 m Radioteleskop AGGO
(La Plata)**



9 m Radioteleskop O'Higgins

Crédit d'image : BKG

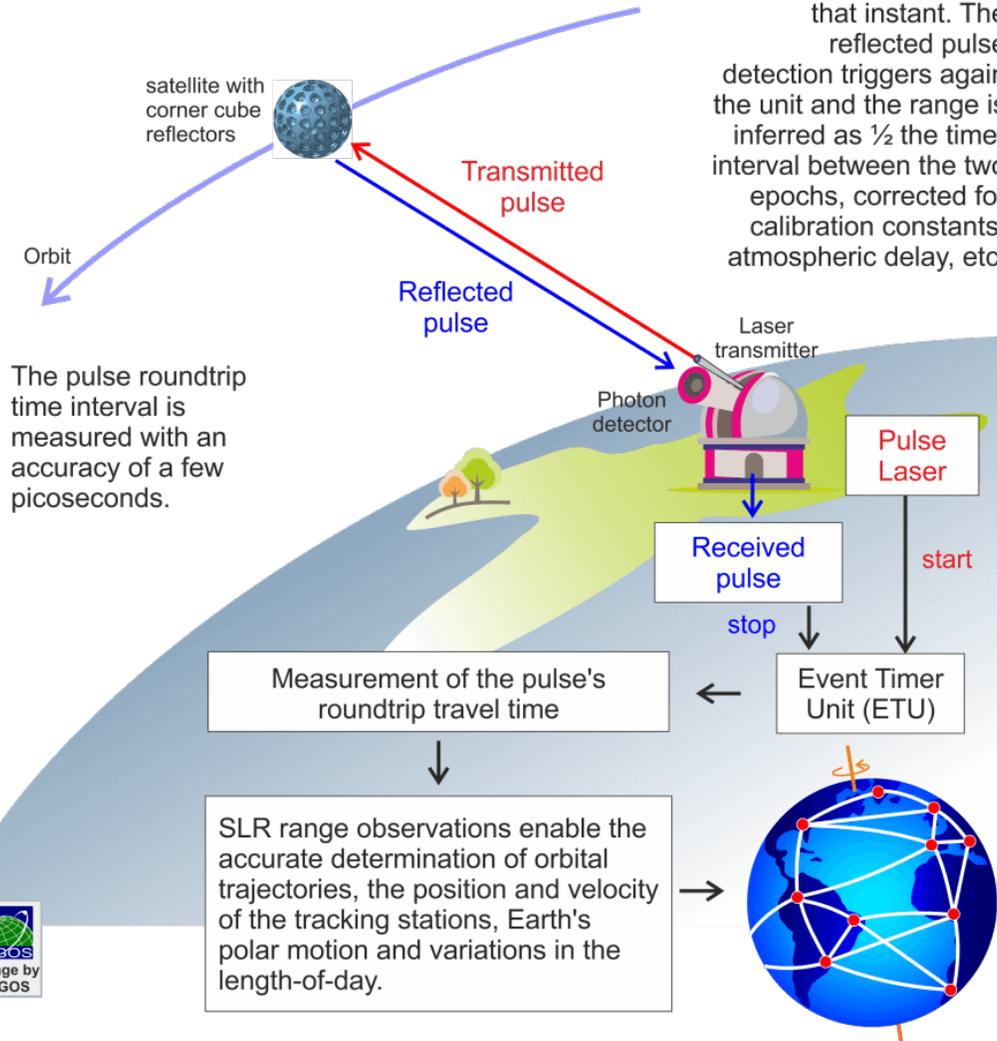


**PLUS
FORTS.
ENSEMBLE**

Télémétrie laser par satellite (SLR/LLR)

Earthbound observatories emit ultra-short laser pulses towards retroreflector arrays on satellites or the moon surface, which reflect the pulses back towards their origin.

The emission of the pulse triggers an Event Timer Unit that records the precise epoch of that instant. The reflected pulse detection triggers again the unit and the range is inferred as $\frac{1}{2}$ the time-interval between the two epochs, corrected for calibration constants, atmospheric delay, etc.



Les opérateurs de télémétrie laser par satellite tirent des lasers depuis des observatoires au sol vers des satellites et mesurent le temps de retour de la lumière laser.

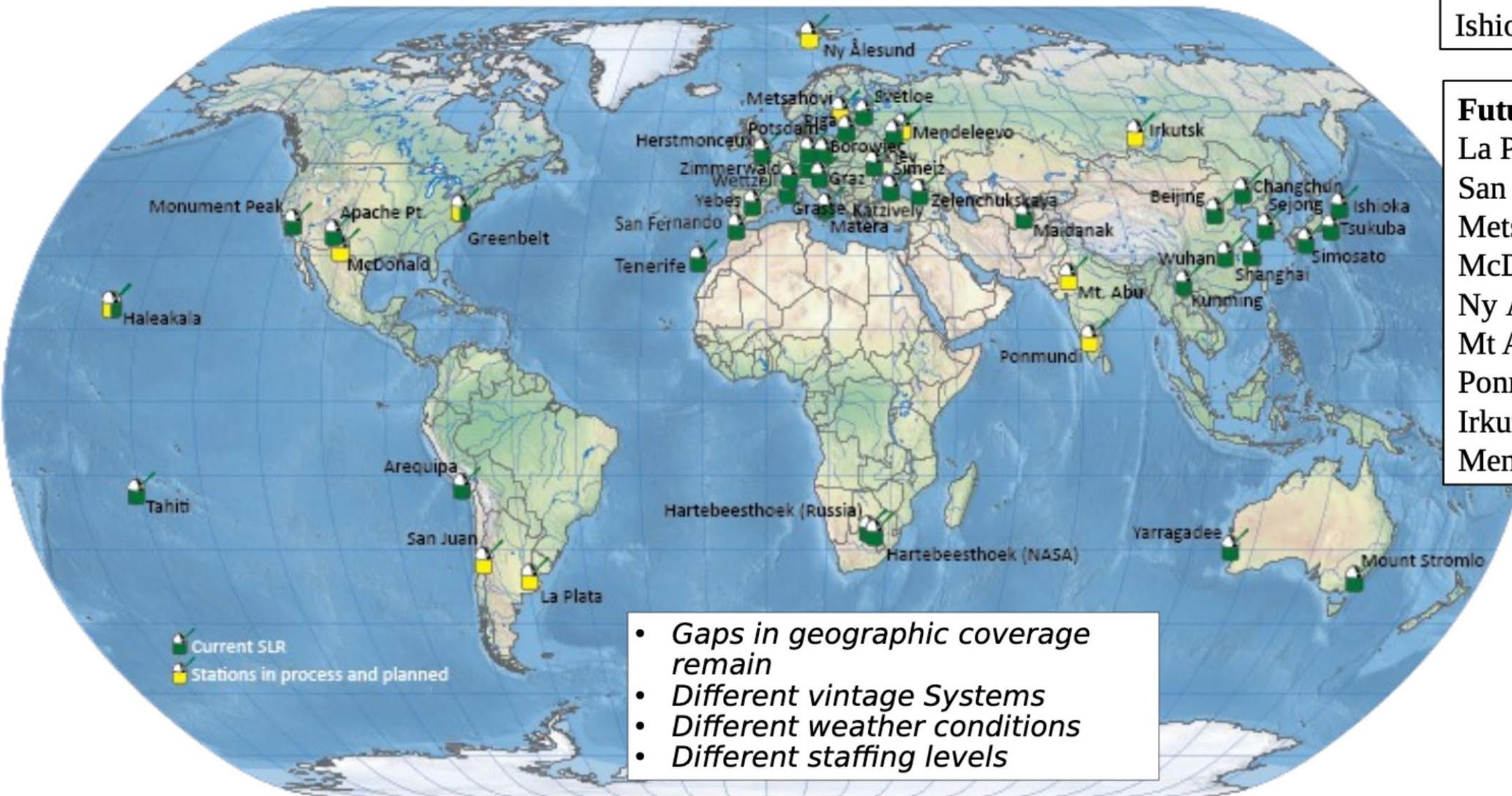
Grâce à ce décalage, les géodésiens peuvent suivre les orbites des satellites avec une précision de l'ordre du centimètre.

Pour certaines applications satellitaires, il est important de savoir précisément où se trouvait un satellite lorsqu'il a émis un signal afin de garantir la précision et la fiabilité (par exemple, GNSS).

La télémétrie laser par satellite est également utilisée pour définir le diamètre de la Terre, l'intensité du champ de gravité, le centre de masse de la Terre (le point autour duquel les satellites sont en orbite) et le centre du cadre de référence des coordonnées globales.

Service international de télémétrie laser

Current and Planned ILRS Network



New Stations (2023-2024)

Yebees, Spain
Ishioka, Japan

Future Stations (2024-2027)

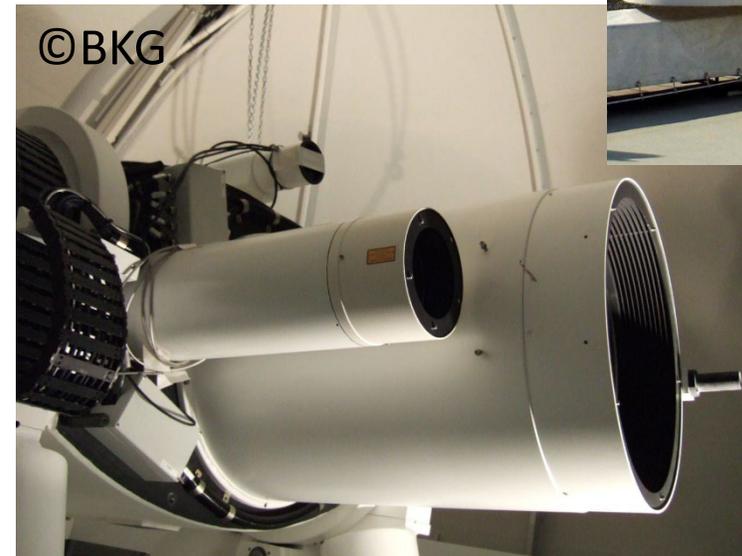
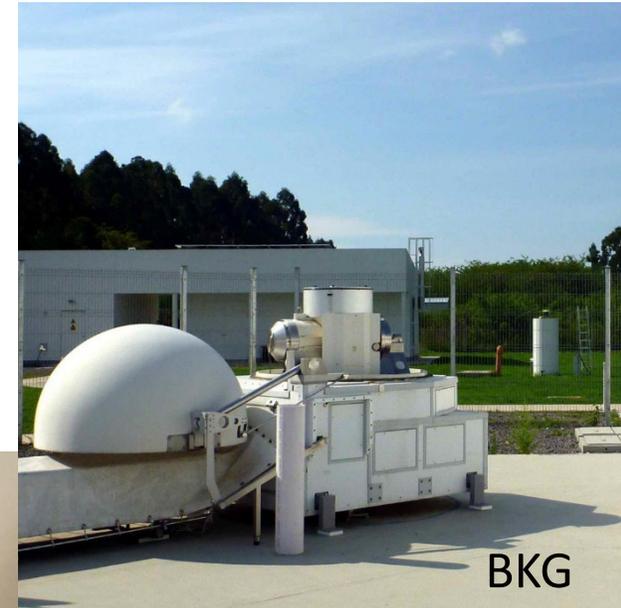
La Plata, Argentina
San Juan, Argentina
Metsähovi, Finland
McDonald, TX, USA
Ny Ålesund, Norway
Mt Abu, India
Ponmudi, India
Irkutsk (Tochka), Russia
Mendeleevo (Tochka), Russia

- Gaps in geographic coverage remain
- Different vintage Systems
- Different weather conditions
- Different staffing levels

Systemes de télémétrie laser de BKG



**AGGO-SLR (La Plata),
50 cm Teleskop, monostatisch**



**SOSW (Wetzell)
50 cm Empfangsteleskop
16 cm Sendeteleskop**

WLRS (Wetzell), 75 cm Teleskop, monostatisch



**PLUS
FORTS.
ENSEMBLE**

Systèmes globaux de navigation par satellite

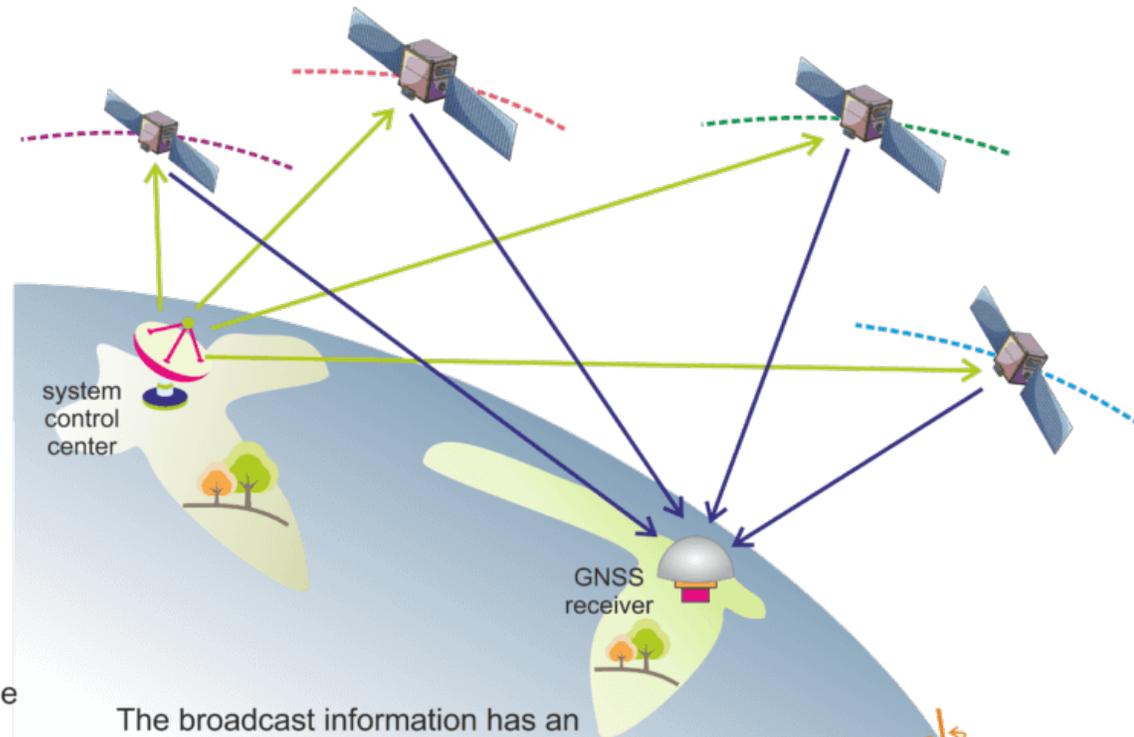
(1) The system operator calculates satellite orbits and clock synchronization using ground stations with known coordinates.

(2) The operator loads the calculated orbits and satellite clock corrections to the satellites.

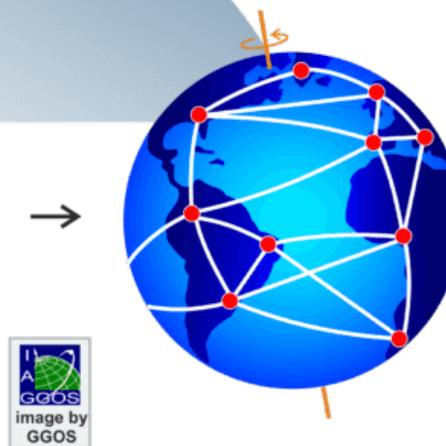
(3) Orbits and clock corrections are broadcast together with a very stable time stamp from an atomic clock, so that a receiver can continuously determine the time when the signal was broadcast.

(4) The difference between the time of arrival and the time of transmission gives the travel-time of the signal, which, multiplied by the speed of light, provides the distance (or range) satellite - receiver.

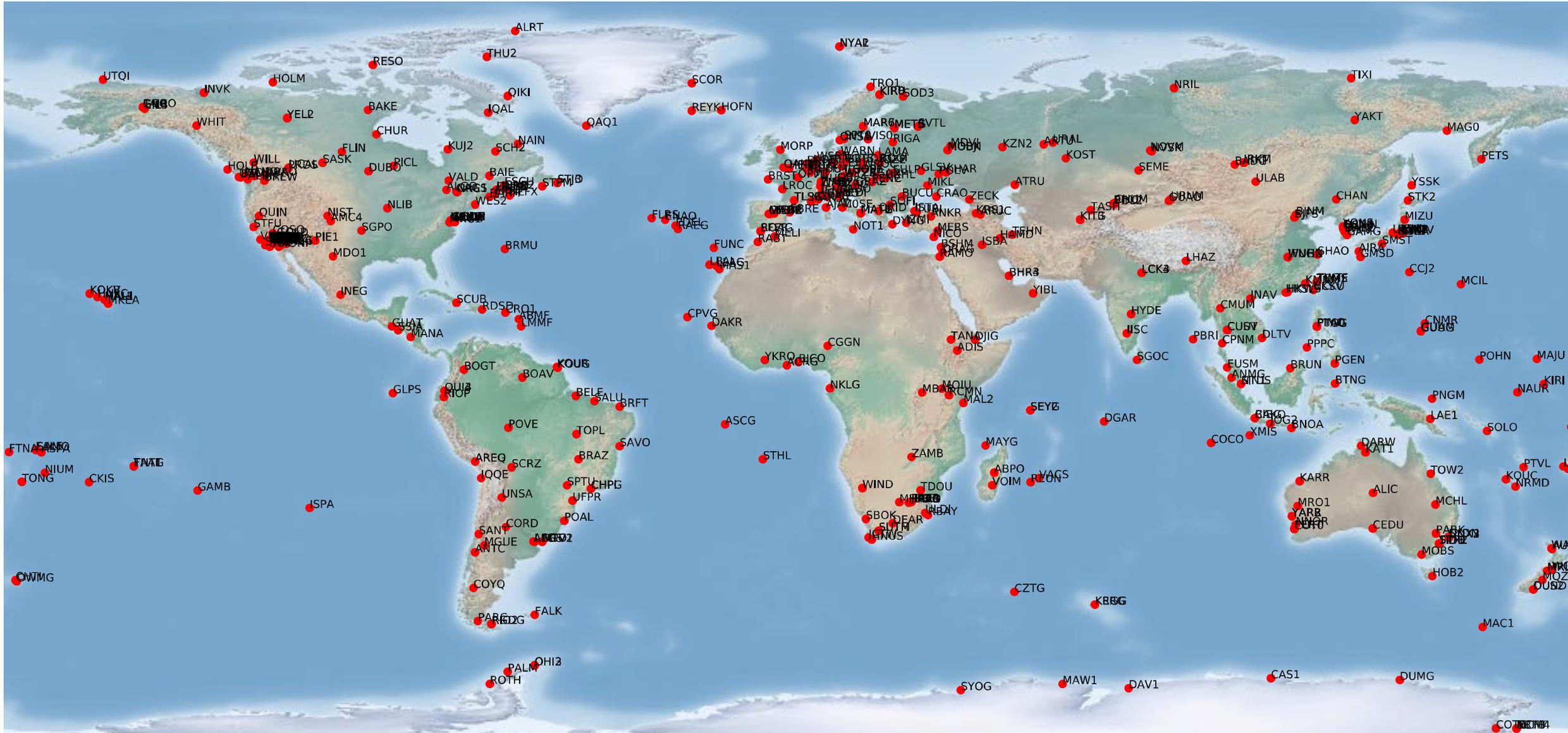
(5) With information about the ranges to four satellites and the location of the satellite when the signal was sent, the receiver can compute its own three-dimensional position.



The broadcast information has an accuracy of about one metre and is usually employed for navigation applications. For the precise observation of the Earth, geodesists calculate orbits and clock corrections with a very much higher accuracy (in the centimetre and picosecond ranges). This requires the simultaneous determination of station positions, satellite orbits and Earth orientation parameters in a single consistent calculation.

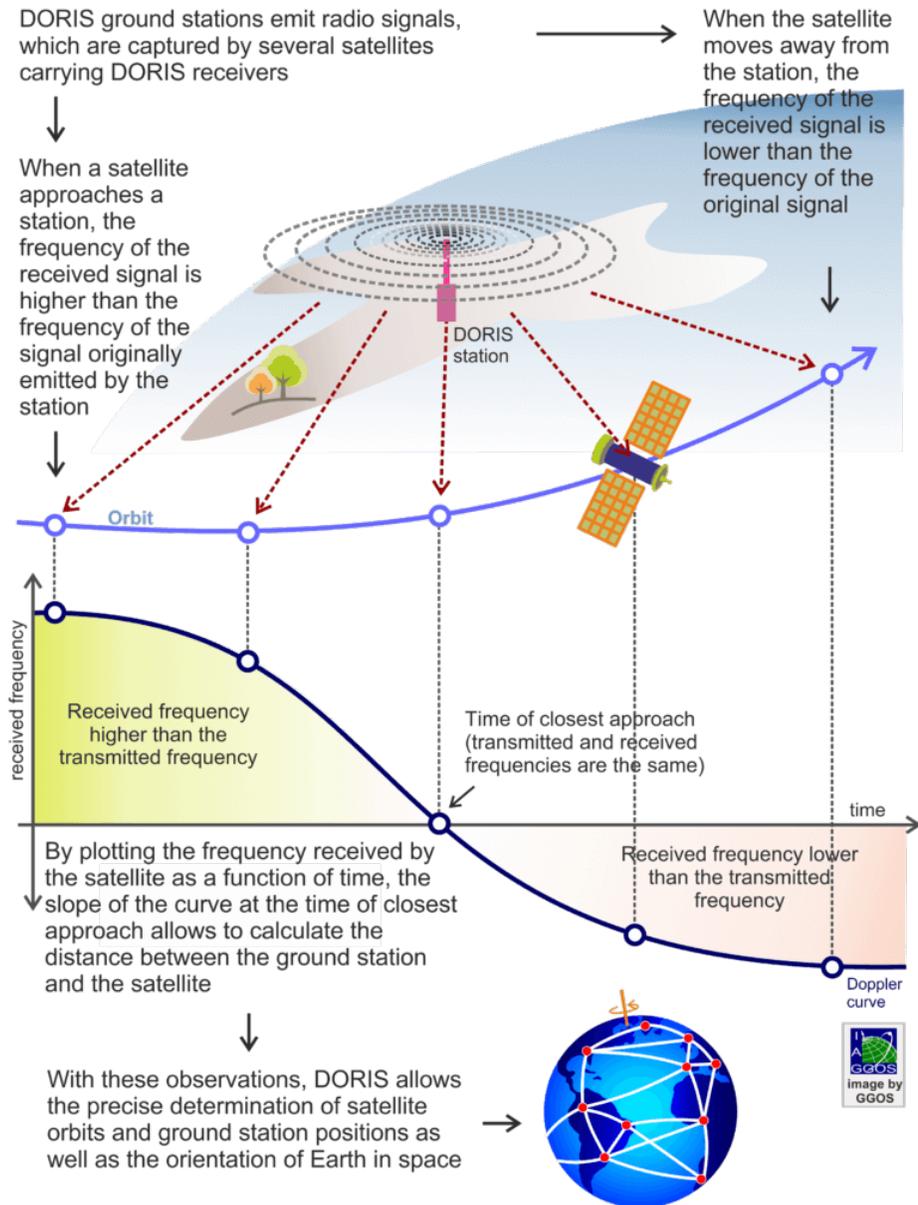


Service GNSS international



(source : igs.org)

Orbitographie Doppler et radiopositionnement intégrés par satellite (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite ou DORIS)



- DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite) est un système satellitaire français utilisé pour aider à déterminer et à surveiller les orbites des satellites et pour le positionnement.
- Le principe de DORIS est similaire à celui du GNSS, mais inversé.
- Les balises radio actives au sol émettent un signal qui est détecté par les satellites récepteurs.
- Il se produit un décalage de fréquence du signal, causé par le mouvement du satellite (effet Doppler).
- La diffusion sur 2 fréquences (400 et 2036 MHz) permet de déterminer les délais de propagation des signaux dans l'atmosphère.
- Détermination de l'orbite des satellites d'observation de la Terre
- Détermination de la coordination de la balise à la surface de la Terre
- Colocalisation avec d'autres méthodes spatiales et contribution au GGRF

<https://ggos.org/item/doris> (créé par Laura Sanchez)

Gravimétrie

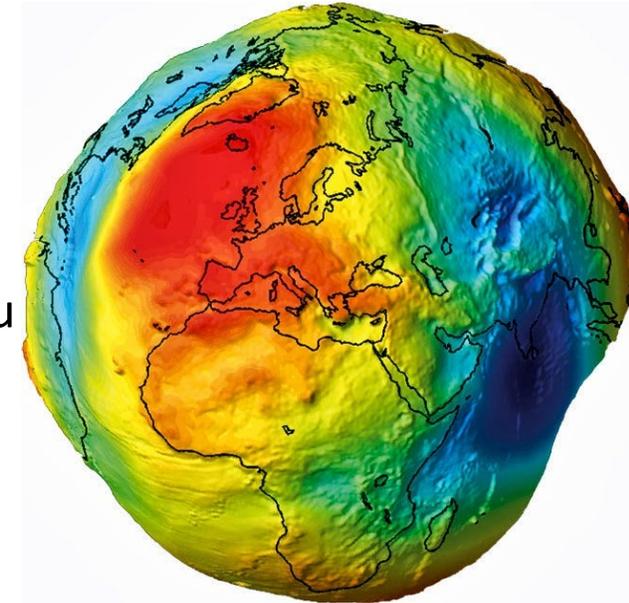
Principe

- Les instruments de gravimétrie observent l'accélération gravitationnelle
- Deux types de gravimètres différents :
 - Absolu, par exemple gravimètre à chute libre
 - Relatif, par exemple gravimètre à ressort ou supraconducteur,
- Types de mesures :
 - Terrestre
 - Aéroportée
 - Satellite



Crédit : Micro G Lacoste

Gravimètre à chute libre



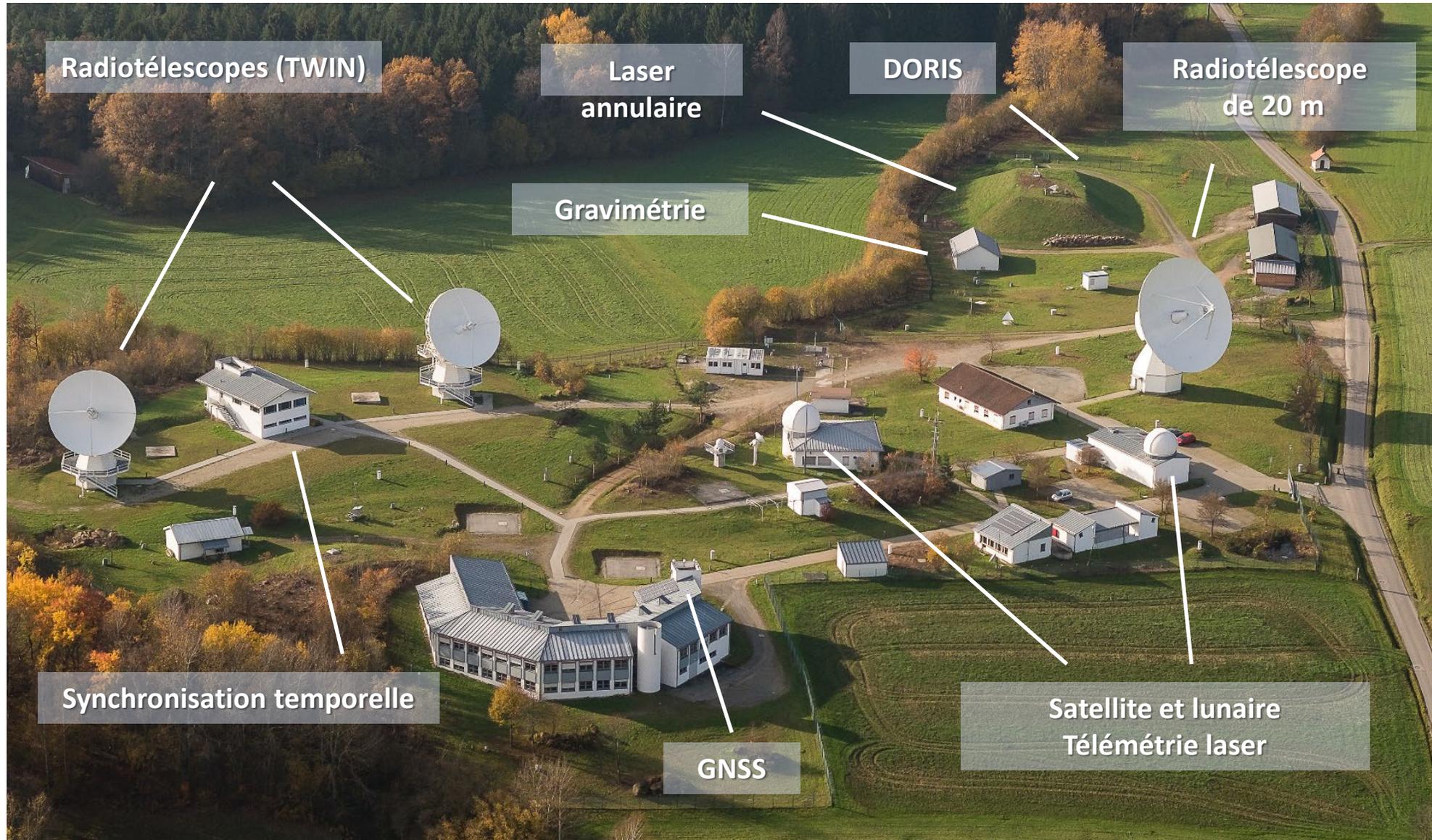
Géoïde, la forme physique de la Terre

Objectif

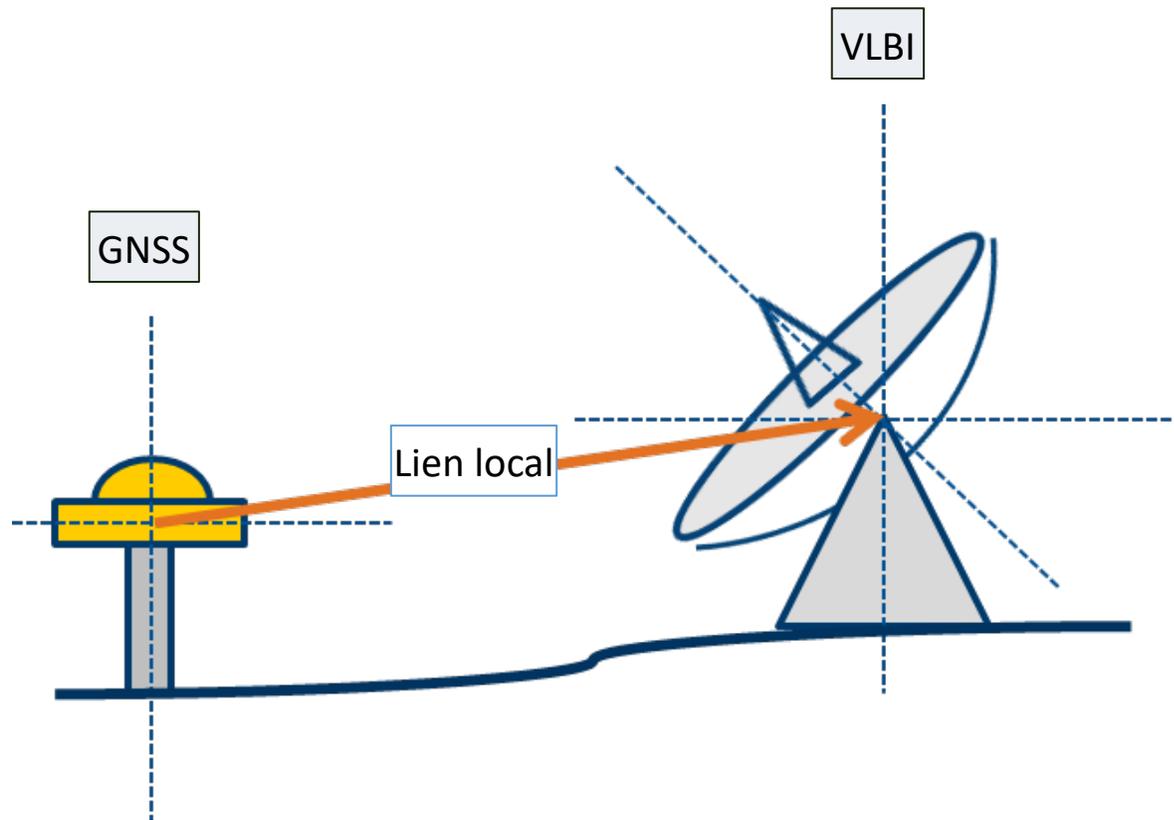
- Détermination de la forme physique de la Terre définie par la surface équipotentielle de gravitation
- Détermination du centre de masse de la Terre
- Suivi de la dynamique géophysique



Observatoire géodésique de Wettzell, Allemagne



Intégration des techniques spatiales



Observatoire géodésique de Wettzell

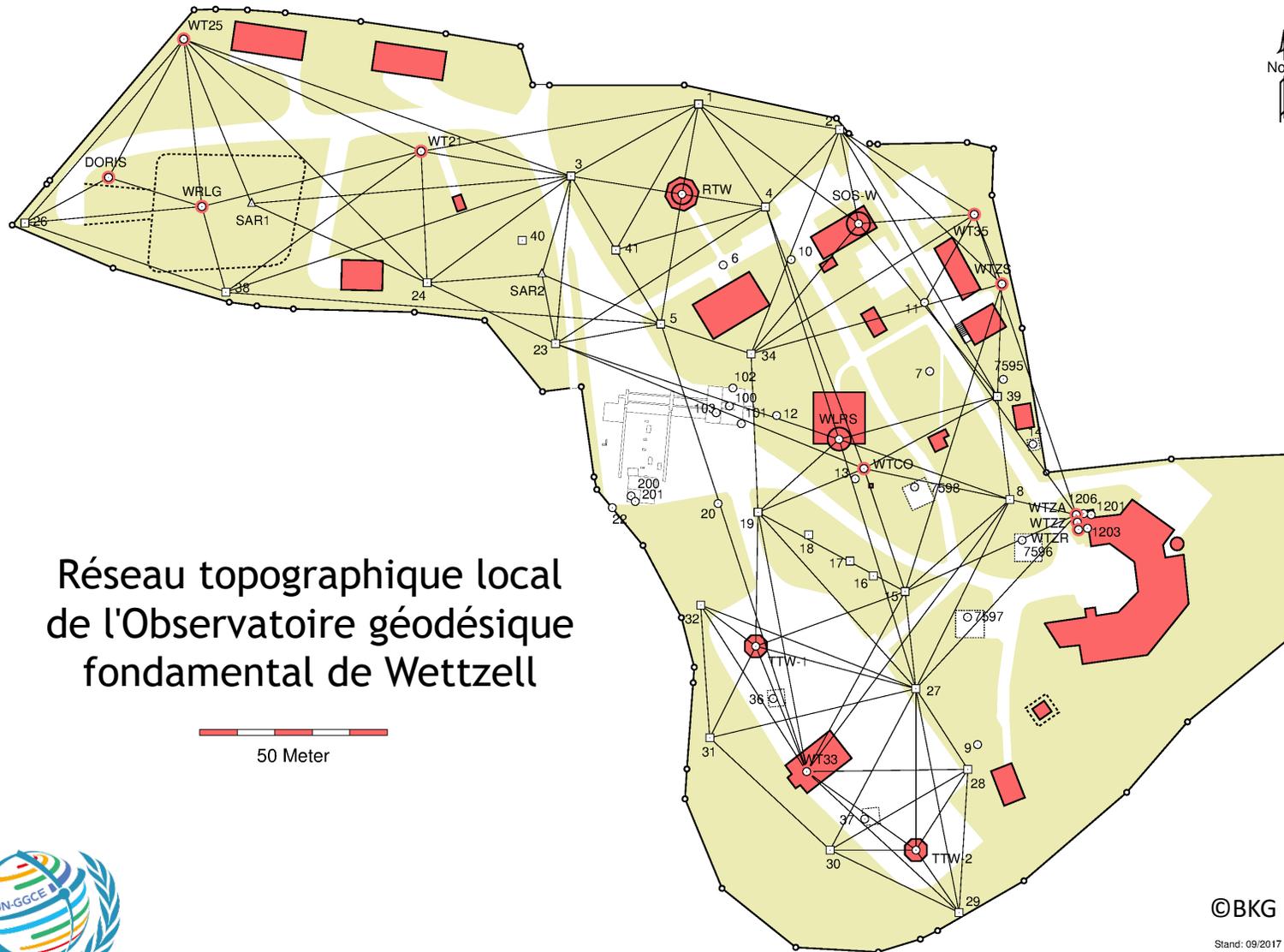


Les sites de colocalisation et les liens locaux jouent un rôle fondamental dans l'intégration des différentes techniques d'observation géodésique spatiale.



**PLUS
FORTS.
ENSEMBLE**

Réseau d'enquête sur les liens locaux



Réseau topographique local de l'Observatoire géodésique fondamental de Wettzell

50 Meter

- Lien précis entre les éléments d'observation individuels
- Fournit des vecteurs de liaison entre les techniques spatiales.
- Permet de combiner des données issues des techniques géodésiques
- Preuve de la stabilité locale des points de référence



©BKG

Stand: 09/2017

**PLUS
FORTS.
ENSEMBLE**

Temps et fréquence



Horloges à
césium

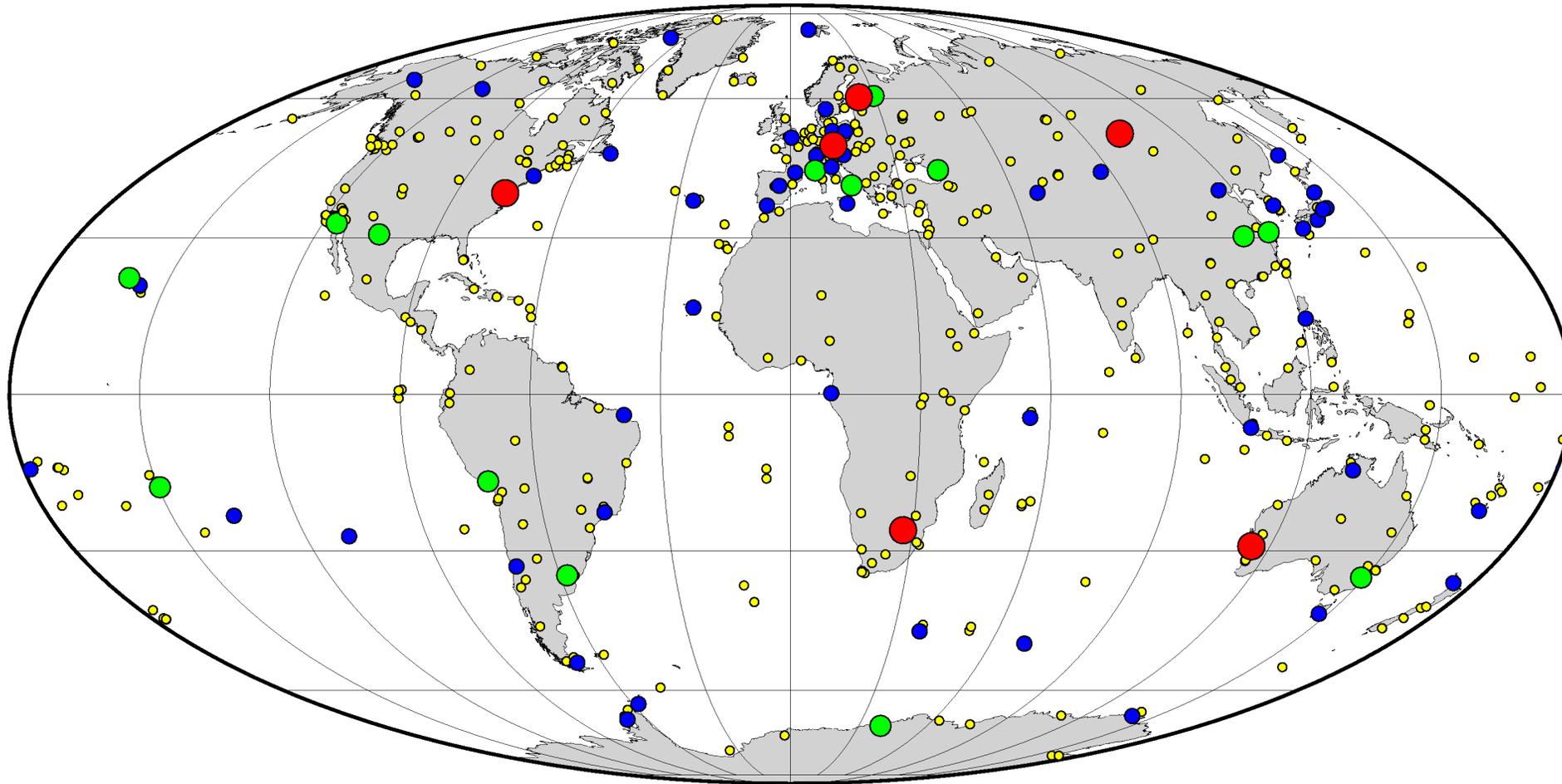
Maser à
hydrogène
max. Stabilité
<10⁻¹⁵ sec.



- Les observations géodésiques dépendent de la précision de la fréquence et du temps.
- Les instruments doivent être reliés à une fréquence et à un temps précis.
- Horloges atomiques et observations géodésiques
 - Précision jusqu'au niveau de la picoseconde (ps)
 - Synchronisation du temps entre différentes techniques géodésiques
 - Contribution à l'UTC
 - Contribution à la comparaison des systèmes de mesure du temps
- Les systèmes GNSS
 - fonctionnent avec leurs propres systèmes de mesure du temps
 - Transmission et synchronisation du temps entre différents sites d'observation dans le monde
 - Transfert et synchronisation de l'heure UTC

Combinaison des techniques

ITRF : International Terrestrial Reference Frame (Cadre de référence terrestre internationale)



● 1 Technique

● 2 Techniques

● 3 Techniques

● 4 Techniques

- Un seul continent dispose d'au moins trois sites où VLBI et SLR sont colocalisés.
- La chaîne logistique mondiale dans le domaine de la géodésie n'est pas solide.

Apports des techniques spatiales

- Différentes techniques permettent des mesures indépendantes.
- Chaque technique est unique et apporte une contribution différente aux produits géodésiques.

Type of Parameter	VLBI	GNSS	DORIS	SLR	LLR
Quasar Coordinates (ICRF)	■				
Nutation	■	■		■	■
Polar Motion	■	■	■	■	■
UT1	■				
Long of the day (LOD)		■	■	■	■
Subdaily Earth Rotation Parameters (ERP)	■	■			
ERP Ocean tide amplitudes		■			
Coordinates and Velocities (ITRF)	■	■	■	■	■
Geocenter		■	■	■	
Gravitation Field					■
Satellite Orbits		■	■	■	■
LEO Satellite Orbits		■	■	■	■
Ionosphere	■	■	■	■	■
Troposphere	■	■	■	■	■
Time Transfer and Synchronization	■	■	■	■	■

Ressources

- Lectures complémentaires sur l'ITRF et l'ICRF - <https://geoscienceaustralia.github.io/ginan/theory.html>
- Techniques et services géodésiques de l'Association internationale de géodésie - <https://ggos.org/services/>