

# CM2: GNSS

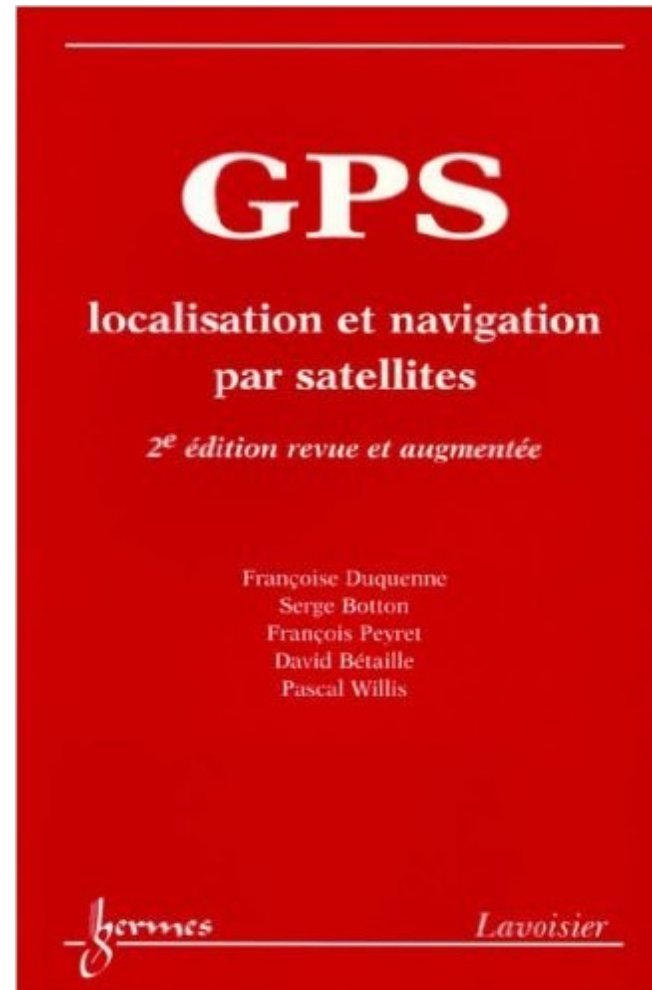
General Knowledge, processing, accuracy,  
precision, ...

# Fundamental ideas

- Code / phase of GNSS raw signal
- Relative / absolute positioning
- Simple and double differences
- Static and kinematic positioning
- Trilateration / triangulation
- Impact of geometry (Vertical / horizontal)

# Bibliography

- Online presentation (moodle) of E. Doerflinger (3-4-5)



# GNSS (Global Navigation Satellite System)

**General name of satellite navigation systems with global coverage of positioning for civil use**

$$\begin{array}{c} \text{Navigation System} \\ \text{(GPS, GLONASS)} \\ + \\ \text{Augmentation of performance system} \\ = \\ \text{GNSS (Future GPS ?, Future GLONASS ?, Galileo, Compass, ...)} \end{array}$$

### **Needed requirements :**

- Provide navigation informations continuously and in real time
  - Provide a positioning confidence
- Present guarantees and responsibilities for possible service failure

# General Knowledge: GNSS

- GPS: **Military** global positioning system (USA)
- GLONASS: **Military** global positioning system (Russia)
- BEIDOU: Chinese positioning system (regional)
- GALILEO: **Civil** global positioning system (EU)

# Augmentation of performances System

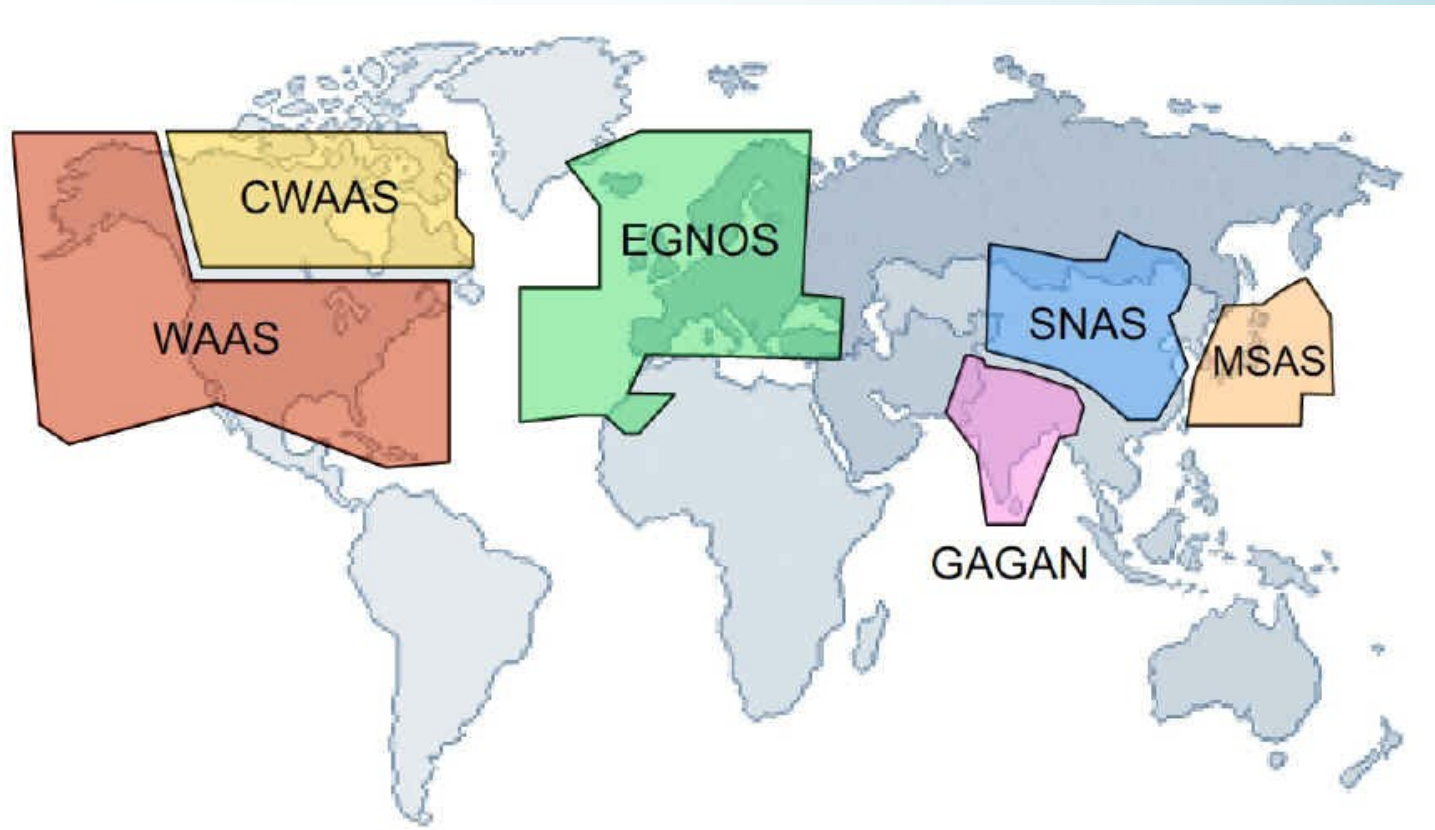
Existing satellite systems can be completed by so-called augmentation or overlay systems which provide in real time correction to increase the accuracy (cm) and also information about the integrity of the corrections.

**The overlay systems are classify in three categories, depending on the way of the correction are transmitted:**

- Overlay from satellites :
  - SBAS (Satellite-Based Augmentation System)
  - WAAS (Wide Area Augmentation System)
  - EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service)
  - MSAS (Multi-functional Satellite Augmentation System)
- Overlay from ground-systems : GBAS (Ground-Based Augmentation syst.)
  - DGPS (differential GPS)
  - pseudolites (pseudo-satellites au sol)
- Overlay from on-board system (plane) :
  - ABAS (Aircraft Based Augmentation System)

# Systemes d'augmentation de performances : SBAS

Première étape dans le sens d'établir un système GNSS mondial.



EGNOS est un système de correction du GPS assurant la couverture d'une zone centrée sur l'Europe. Ce système a pour vocation de rendre disponible en **temps réel**, grâce à des satellites géostationnaires de télécommunication, **des corrections différentielles** (troposphère, ionosphère) ainsi qu'une information **d'intégrité**. L'objectif d'EGNOS est donc de permettre l'utilisation du GPS en toute sécurité (guidage d'un avion par GPS en phase finale d'atterrissage).

# General knowledge: GNSS

- All the navigation system are technical equivalent
- Almost the same accuracy
- Passive (multi-user)

## **Specification for the positioning :**

### **Position and speed of a moving platform:**

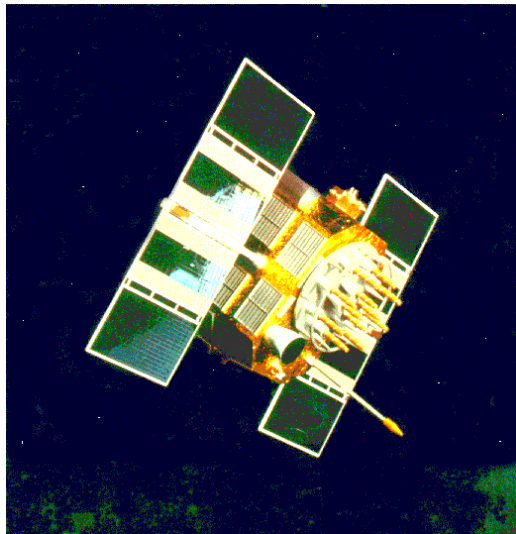
- at any moment
- everywhere
- in a global reference frame (WGS84) with an accuracy better than 10 m.

### **Time with a microsecond accuracy**



# Spatial segment

## GPS Satellites

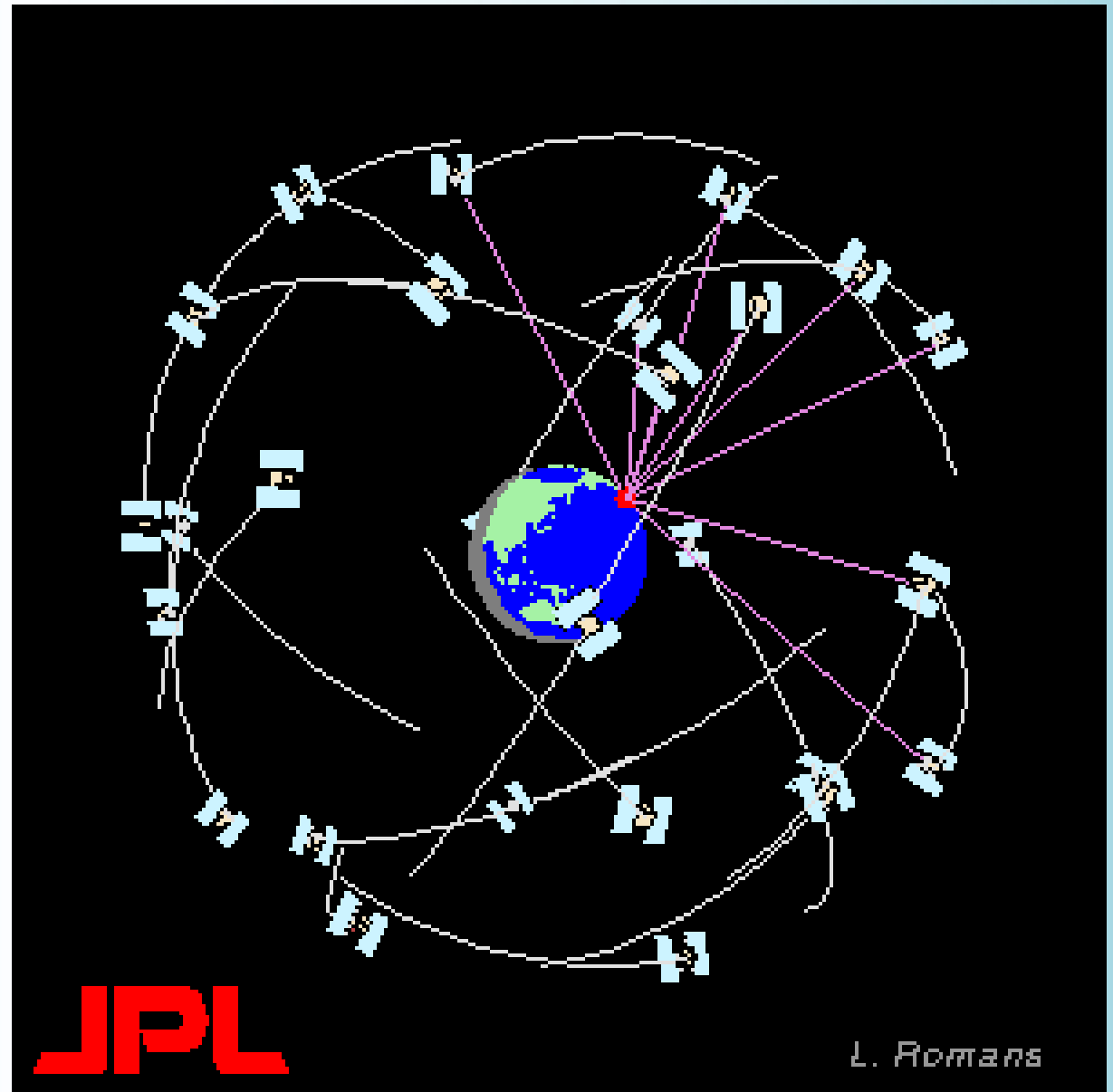


**Constellation** : 28 satellites

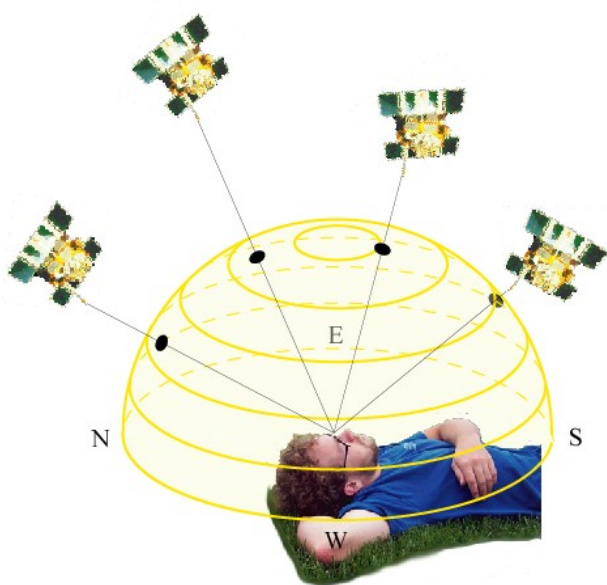
**Altitude** : 20200 km

**Période** : 11h 58mn

**Orbite** : almost circular  
55° / equator



# Skyplot GPS



## Plan du ciel

Point: Lacaune

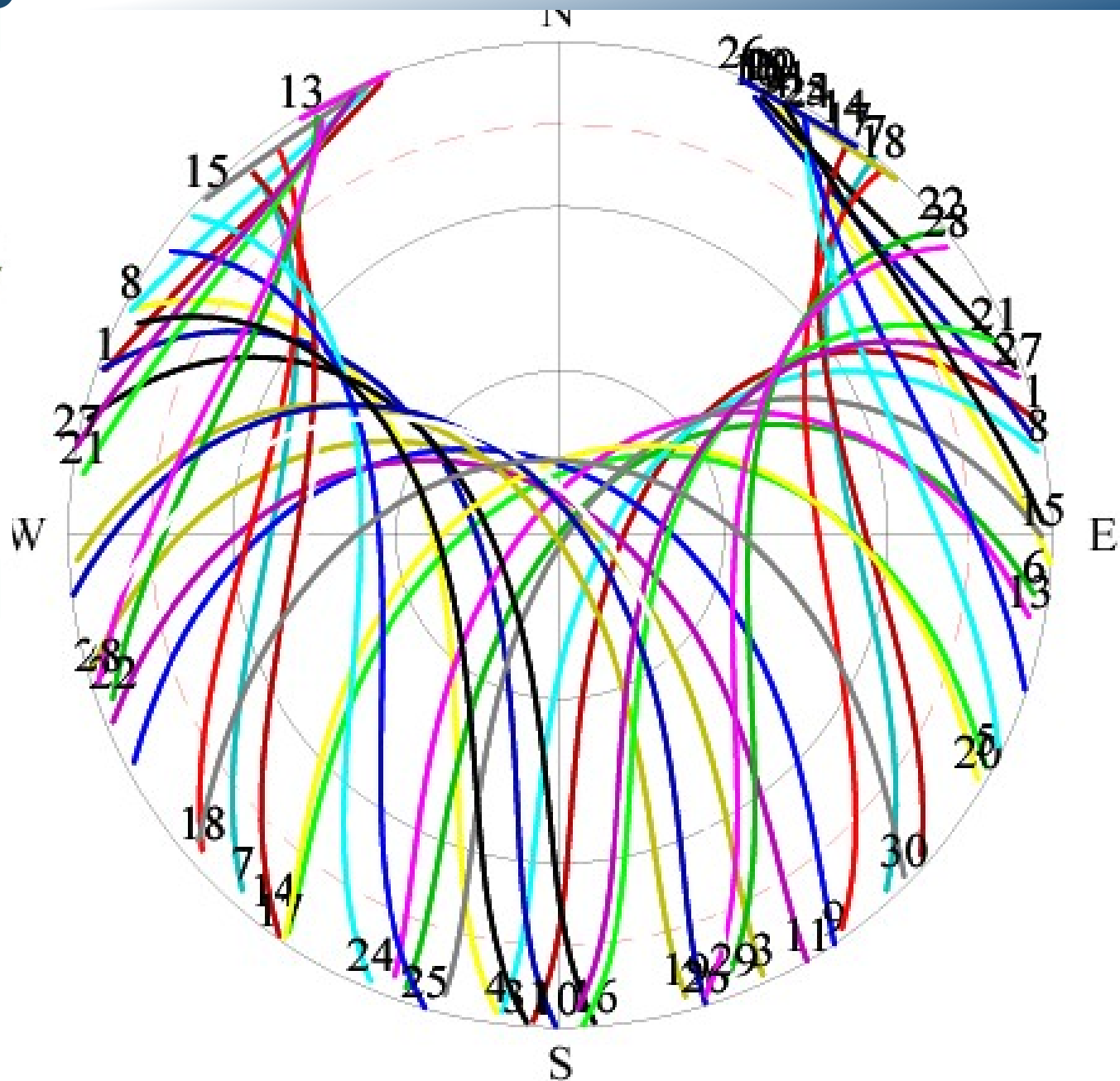
Date: Vendredi 11 Juin 2004

Lat 43:41:0 N Lon 2:44:0 E

Seuil d'élévation 15 (deg)

28 Satellites considérés :

1 3 4 5 6 7 8 9 10 11 13 14  
15 16 17 18 19 20 21 22 24  
25 26 27 28 29 30 31



Temps : 24 heures

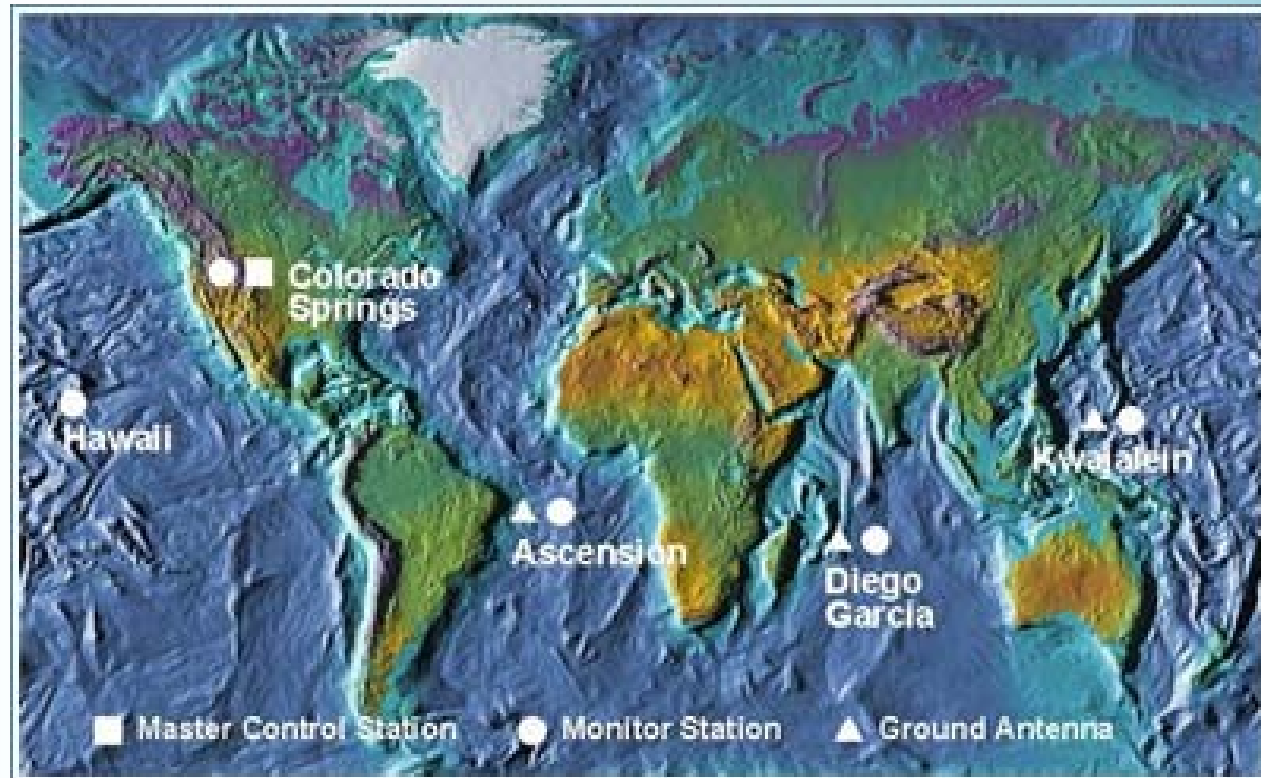
# Control segment

The control segment depends on the USA army and have to keep every time the GPS system operating. 5 ground stations follow every time the GPS satellites, control and modify if necessary the orbits and transmit the information for the navigation message (orbits, clock).

## The 5 ground stations:

- Colorado Spring
- Ascension
- Diego Garcia
- Kwajalein
- Hawaii

Colorado Spring is the central station, where the GPS time is calculated.



# The user segment

The user segment represent all the user of the GPS system.

Numerous different type of GPS are now available depending on the application and the needed accuracy.

The price and bulk can be now as low a few euros and up to a few thousand euros for consuming users.



# PRINCIPLE OF GPS POSITIONING BY TRILATERATION

## With 1 Satellite

*The receiver is on a sphere of a diameter  $D$  centered on the satellite.*

## With 2 Satellites

*The receiver is on a circle formed by the intersection of the two spheres.*

## With 4 Satellites

*A fourth satellite is needed for the sync of the clock (satellite / receiver).*

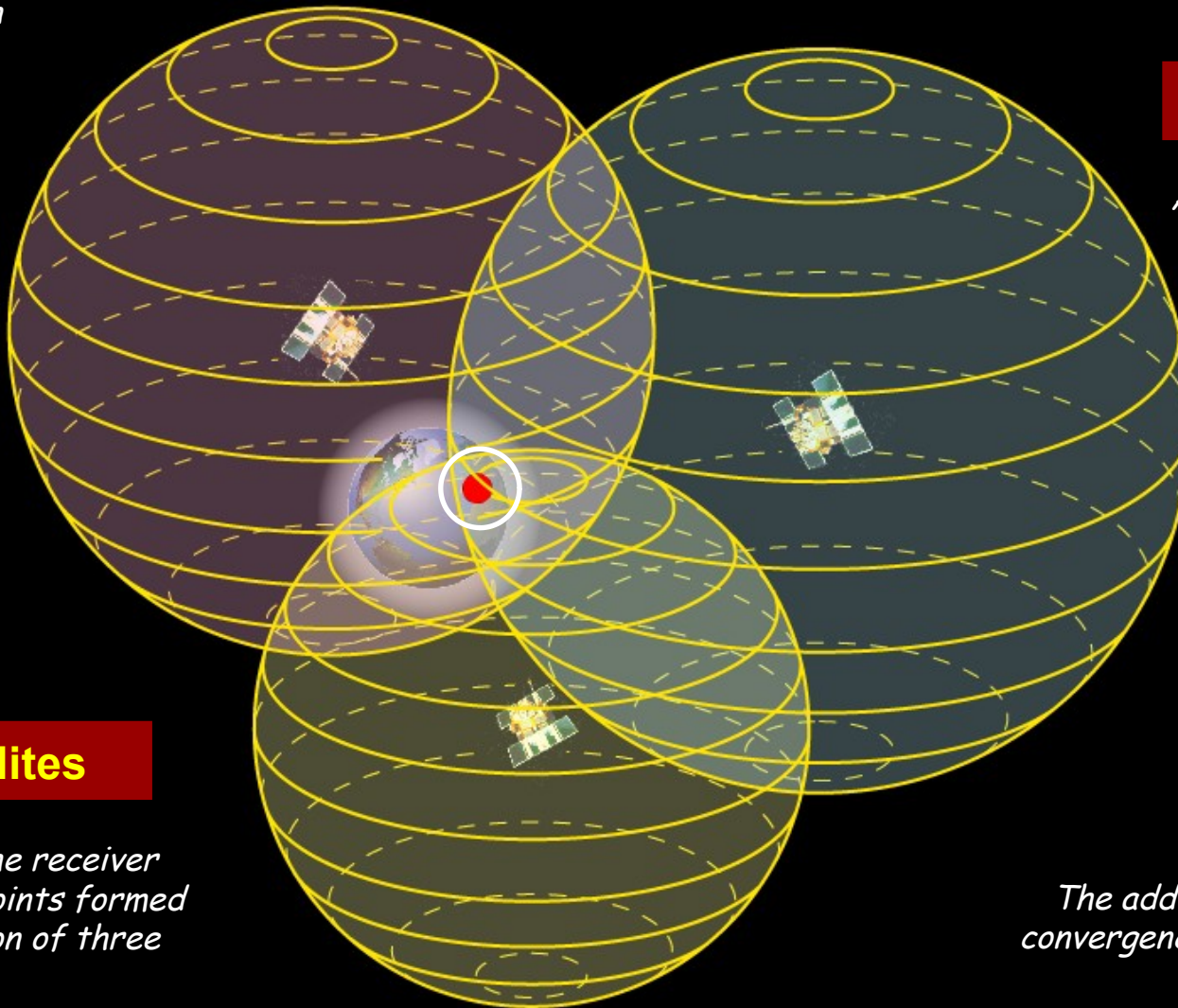
*It allow the diffusion of the GPS time and remove outliers*

## With 3 Satellites

*The position of the receiver can be only two points formed by the intersection of three spheres*

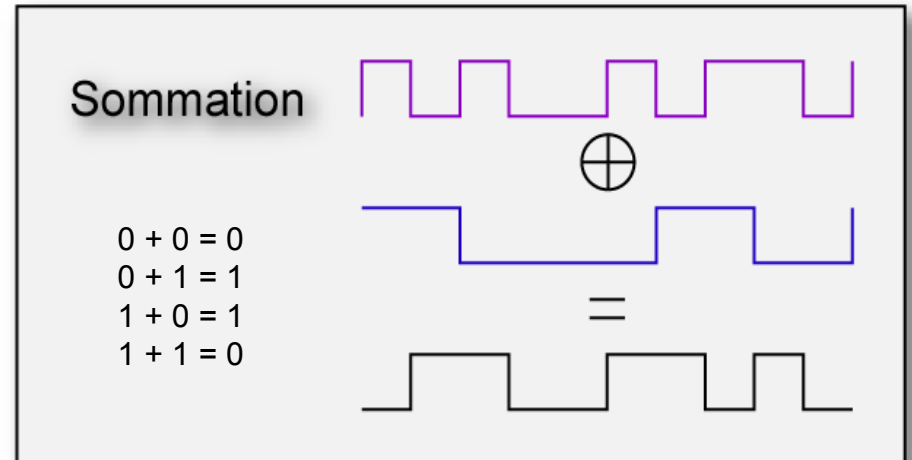
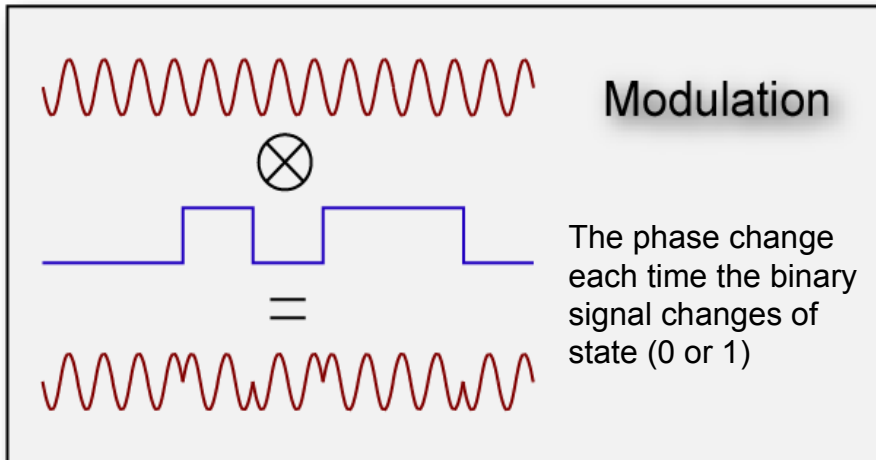
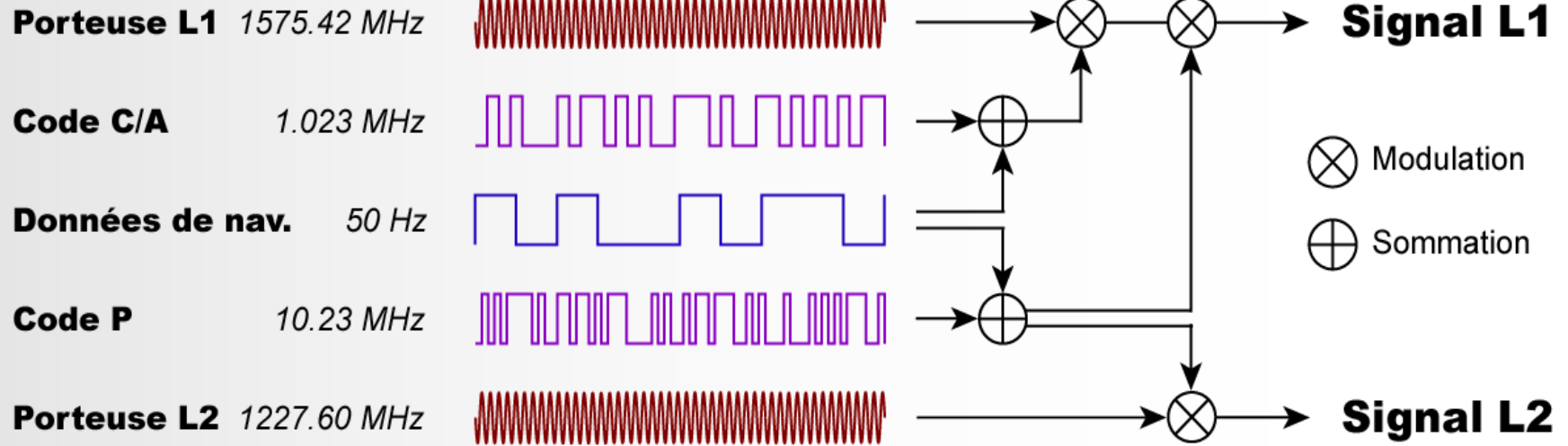
## ... and more

*The added satellites allow a faster convergence to the nominal accuracy.*



# Structure of GPS signal

## Structure du signal émis par les satellites GPS

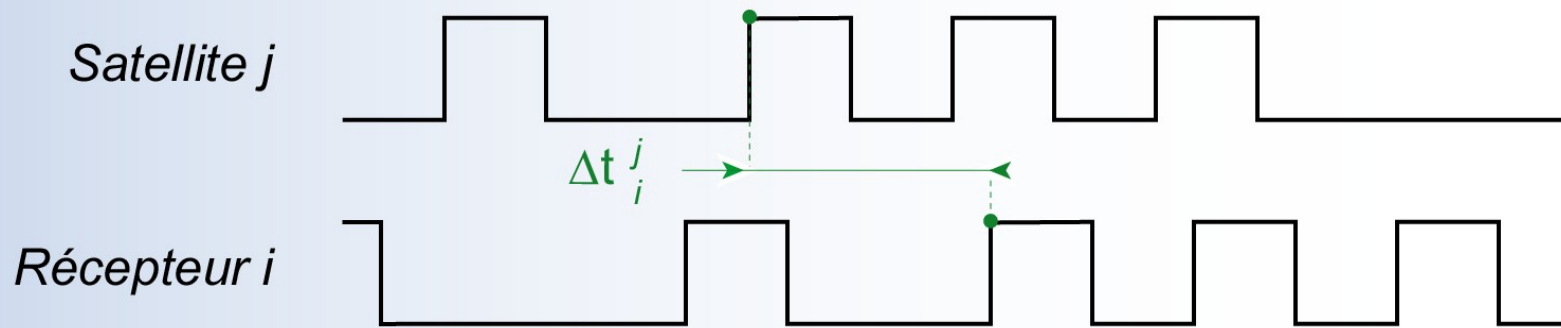


# Phase et code

## Temps du parcours du signal $\Delta t_i^j$

Le récepteur  $i$  compare le signal qu'il reçoit du satellite  $j$  avec son propre signal qu'il génère, sur les codes C/A ( $\lambda_{C/A} \sim 300$  m) et P ( $\lambda_P \sim 30$  m)

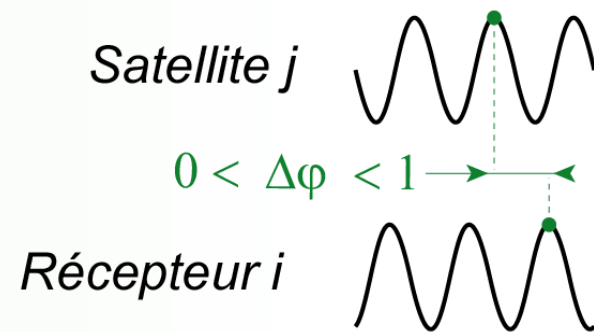
$$\Delta t_i^j = t_i - t^j$$



## Déphasage $\Delta \varphi_i^j$

Le récepteur compare (à  $t_r$ ) le signal qu'il reçoit du satellite  $j$  avec son propre signal  $i$  qu'il génère sur la porteuse

$\lambda_{L1} \sim 19.0$  cm et  $\lambda_{L2} \sim 24.4$  cm

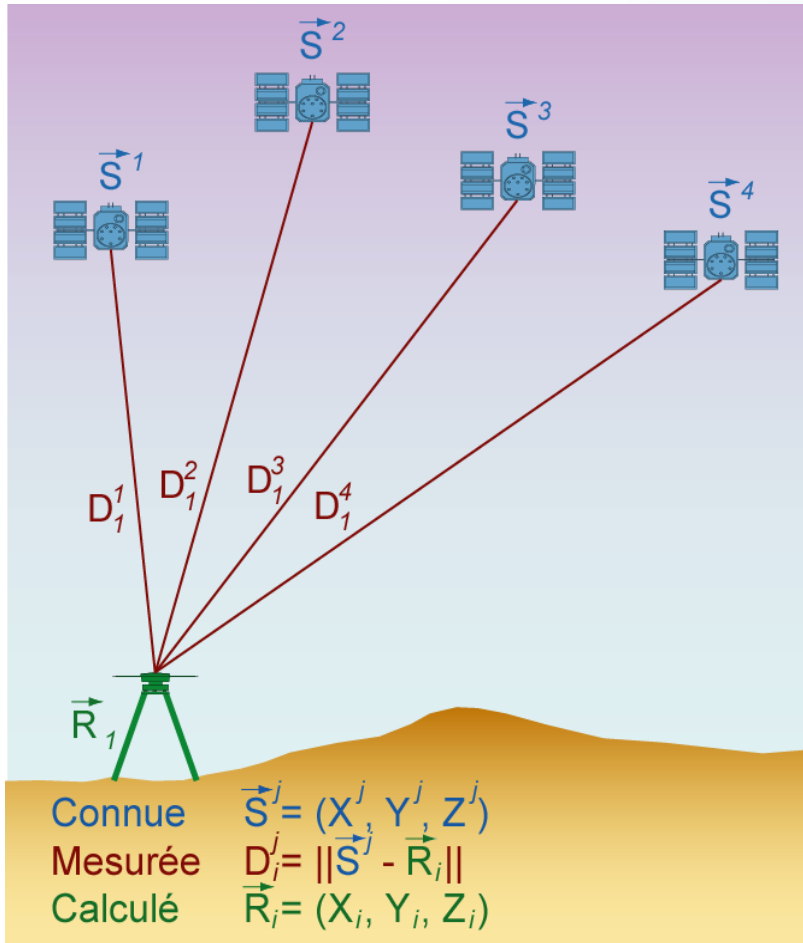


## 2 POSITIONING MODES



## 2 DIFFERENT PRECISION

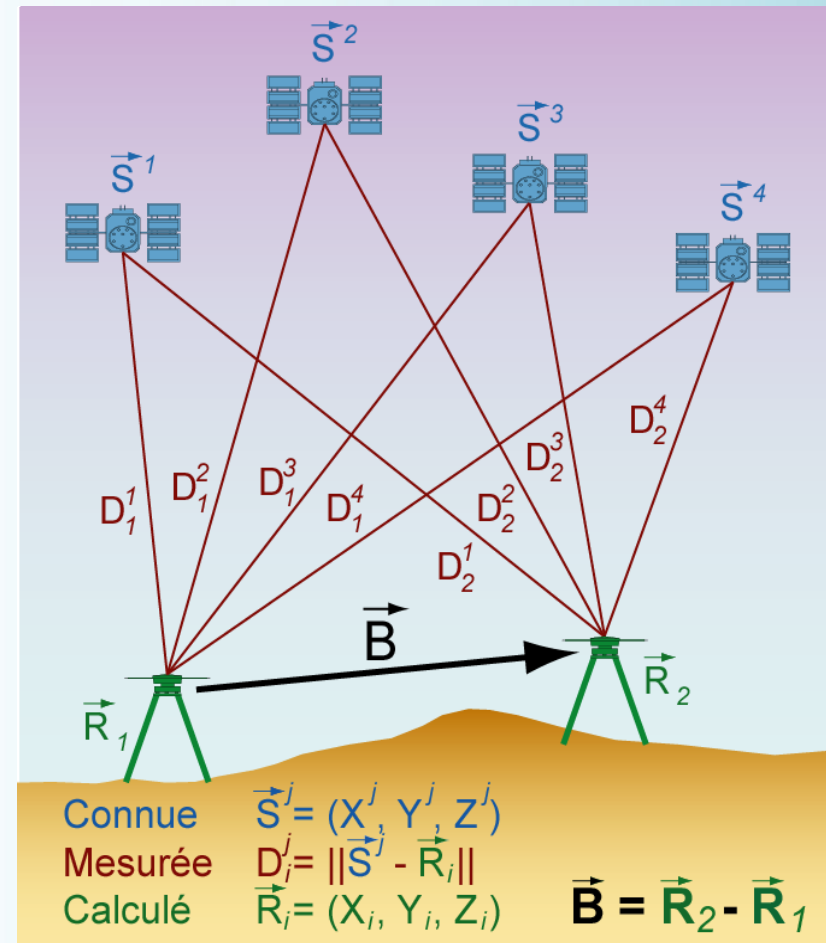
### Absolute positioning



Précision

$\vec{R} : 10 \text{ à } 30 \text{ m}$

### Relative positioning



Précision

$\vec{R}_i : 10 \text{ à } 30 \text{ m}$

$\vec{B} : 2 \text{ à } 20 \text{ mn}$



# Examples

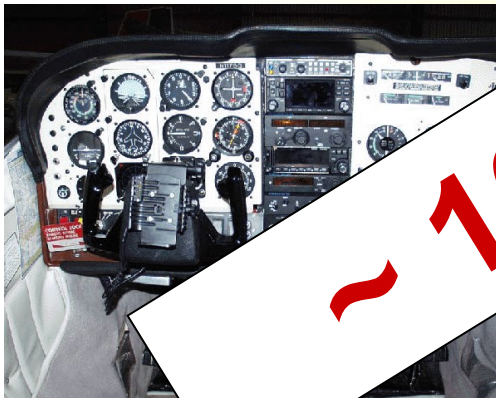
## Absolute positioning



## Relative positioning

# Examples

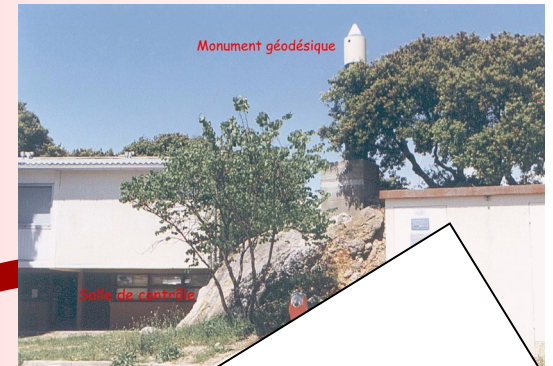
## Absolute positioning



~ 10 m



## Relative positioning



~ mm



# Differential measurements

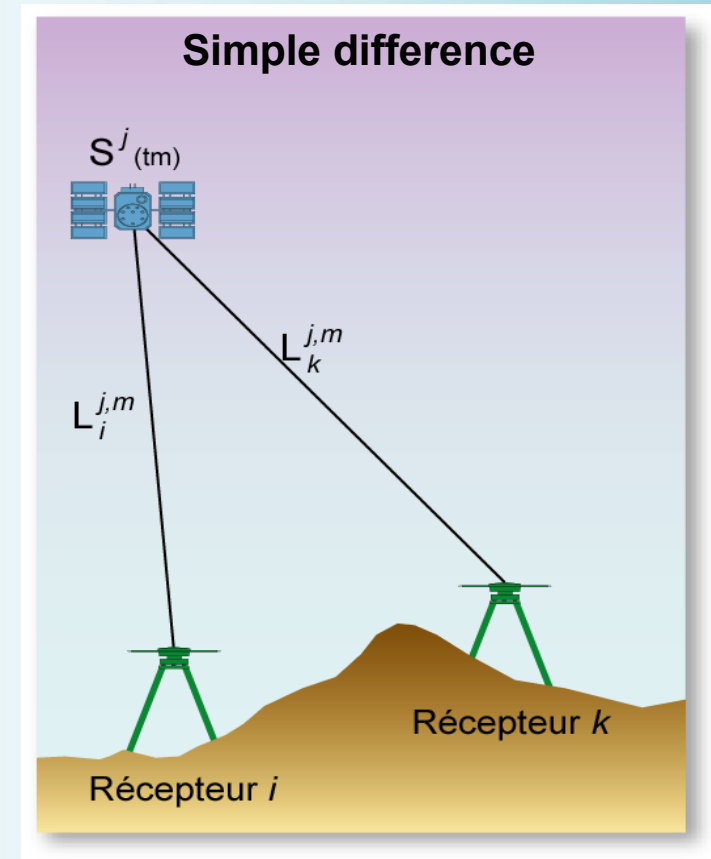
To resolve integer ambiguities and remove clock error, the direct phase measurements are not processed but a simple difference of the phase measurements

## Simple difference : Satellite clocks errors are removed

The simple difference is at one time, the difference of phase measurements between one receiver and two satellites. Satellite clock errors are removed

But simple differences have specific requirements:

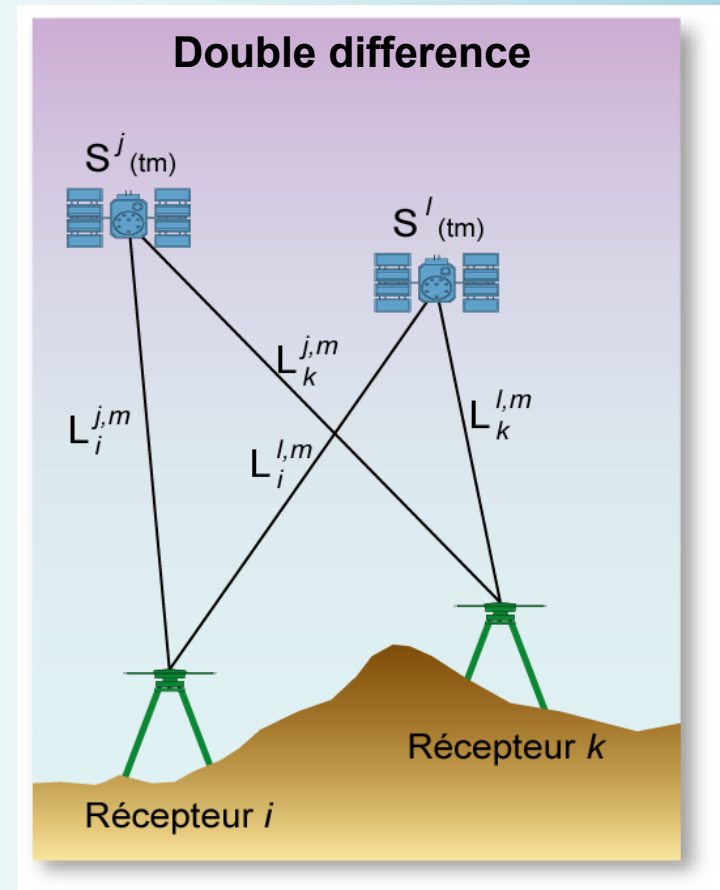
- Two receivers measuring at the same time are needed.
- The results of the GPS processing will not be the position (coordinates) of the receivers but the distance (base line) between the two receivers : relative (or differential) positioning.



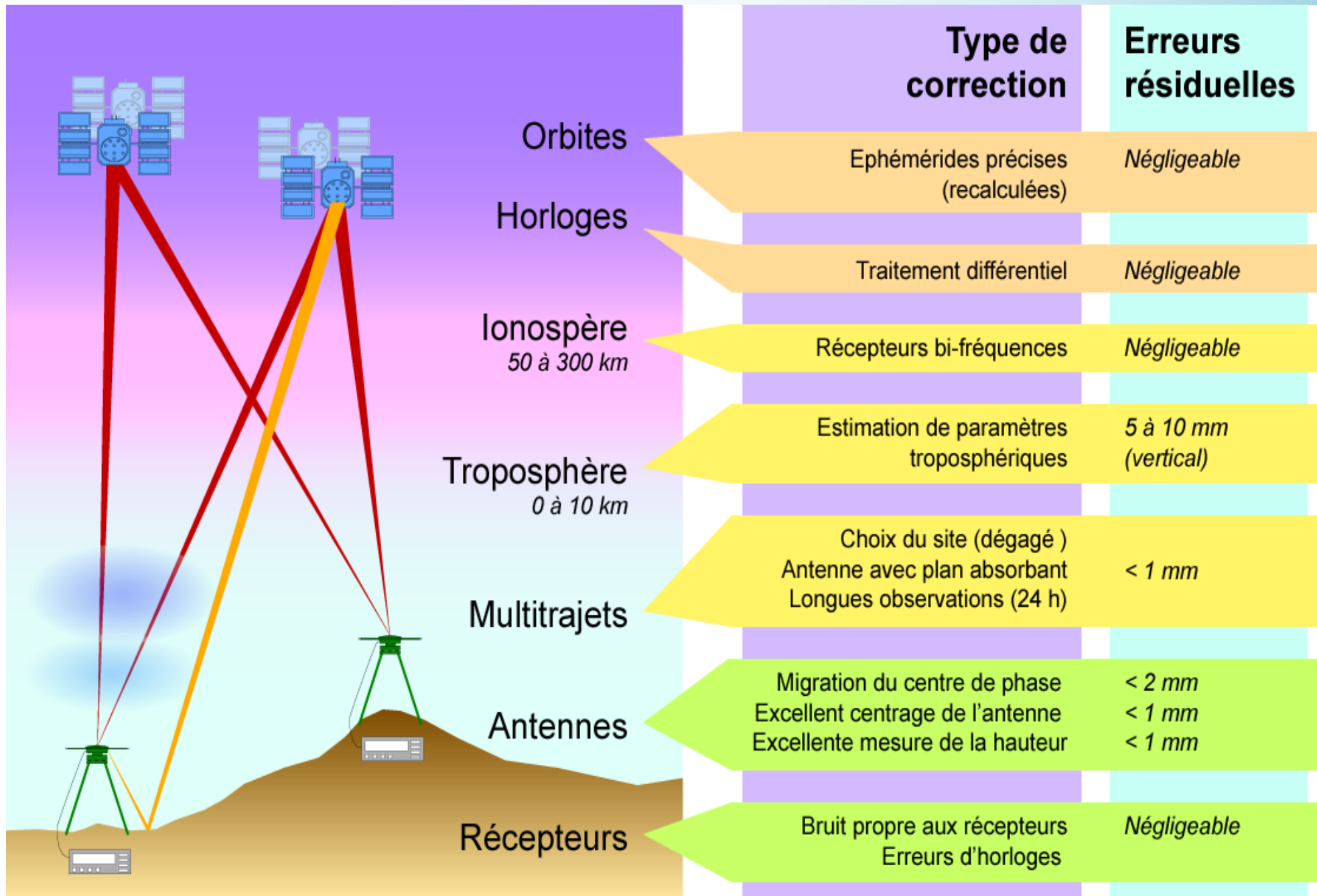
# Differential measurements

To resolve integer ambiguities and remove clock error, the direct phase measurements are not processed but a simple difference of the phase measurements

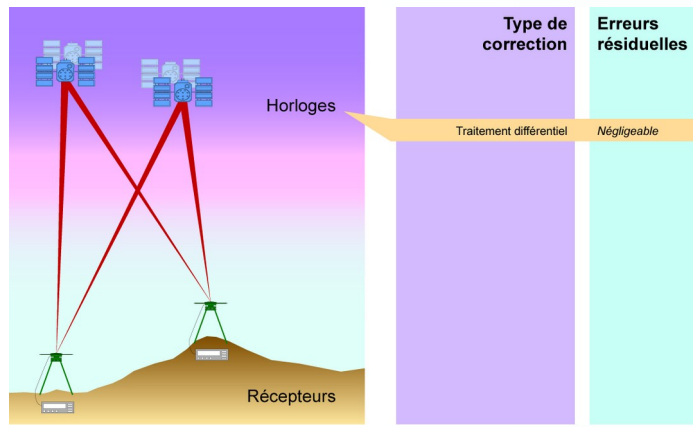
The double differences are the differences of two simple differences at one time between two receivers and two satellites. The combination allows to reduce the clocks errors, the orbit errors and the atmospheric perturbations



# THE DIFFERENT ERROR SOURCES BEFORE AND AFTER DIFFERENTIAL DATA PROCESSING



# Satellites clocks



**1 ns ~ 0.3 m**

## Absolute positioning :

- The **receiver clocks** are not accurate. A fourth satellite is needed to estimate the clock error and drift.
- The atomic **satellite clocks** are accurate and stable with a small drift.

## Relative Positioning :

- The remaining **receiver clocks** errors are reduced by the double difference combination.
- The remaining **satellite clocks** errors are reduced by the simple differences combination.

IGS Product Table [GPS Broadcast values included for comparison]

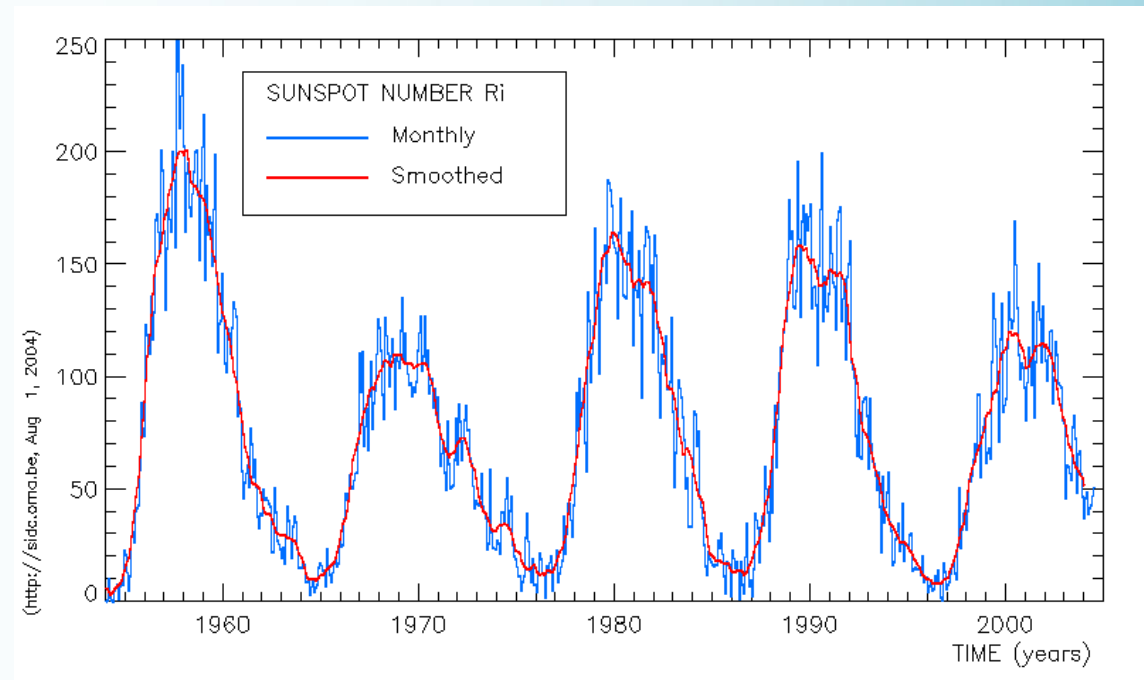
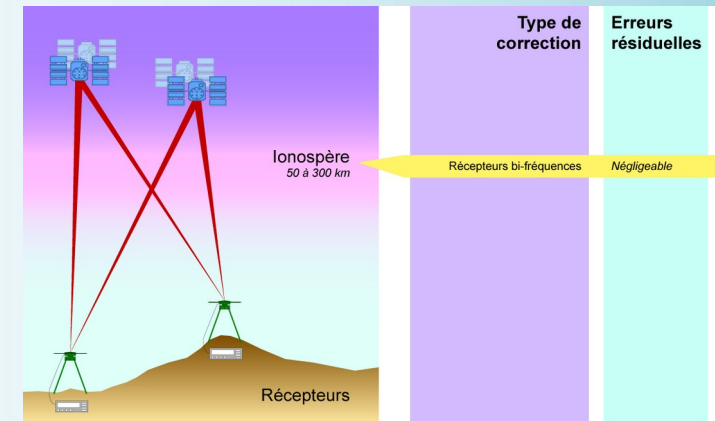
	Accuracy	Latency	Updates	Sample Interval
<b>GPS Satellite Ephemerides</b>				
<b>Broadcast</b>	~7 ns	real time	--	daily
<b>Ultra-Rapid (predicted half)</b>	~5 ns	real time	four times daily	15 min
<b>Ultra-Rapid (observed half)</b>	~0.2 ns	3 hours	four times daily	15 min
<b>Rapid</b>	0.1 ns	17 hours	daily	15 min
<b>Final</b>	<0.1 ns	~13 days	weekly	15 min

# The ionosphere

The ionosphere is a high layer of the atmosphere between 50 and a few hundred kilometers. The ionosphere is plenty of charged electrical particulates which interact (dispersive effect) with the EM radio waves send by the GPS satellites by lengthen the travel time.

The composition of the ionosphere is not constant and changes because of :

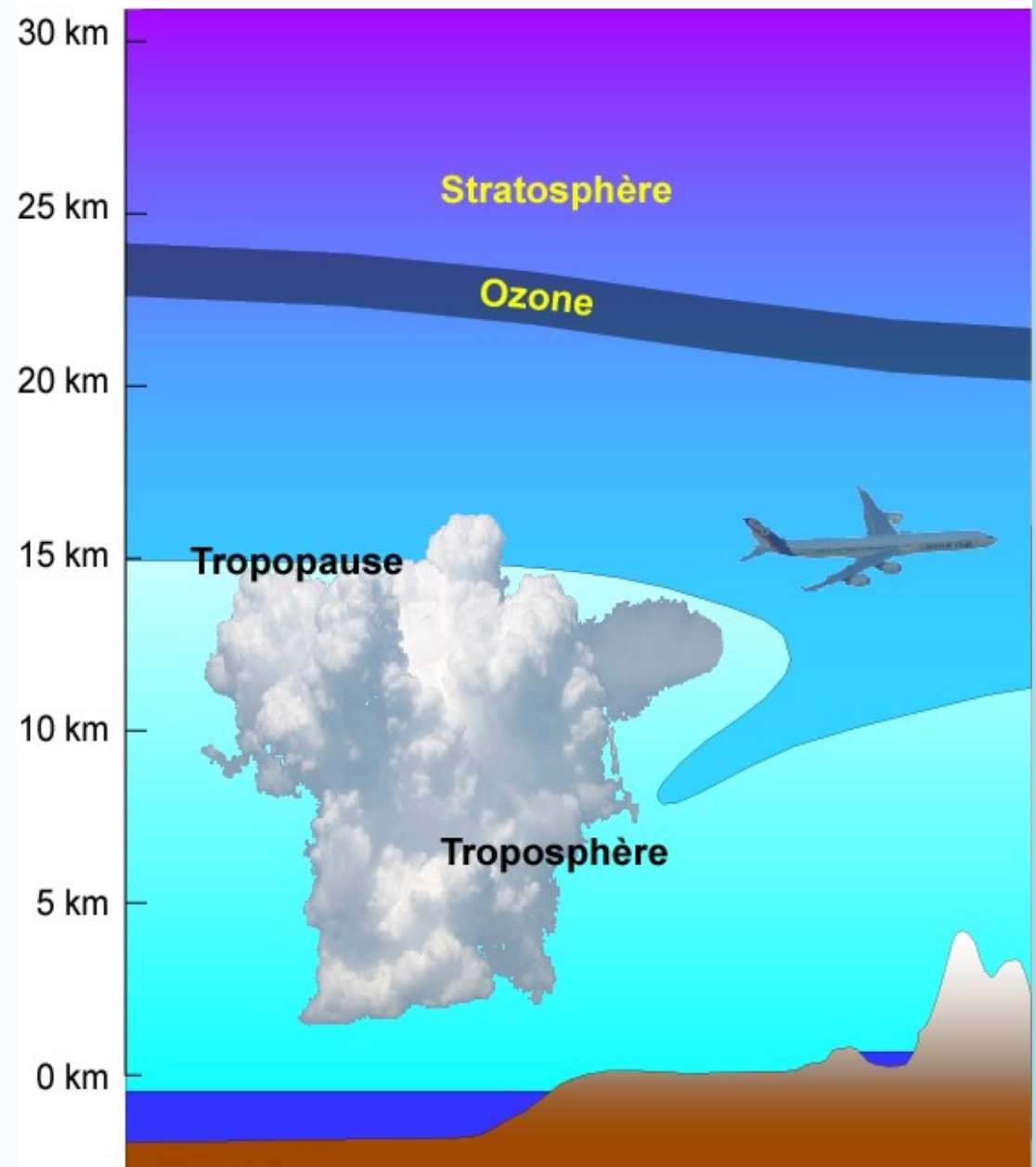
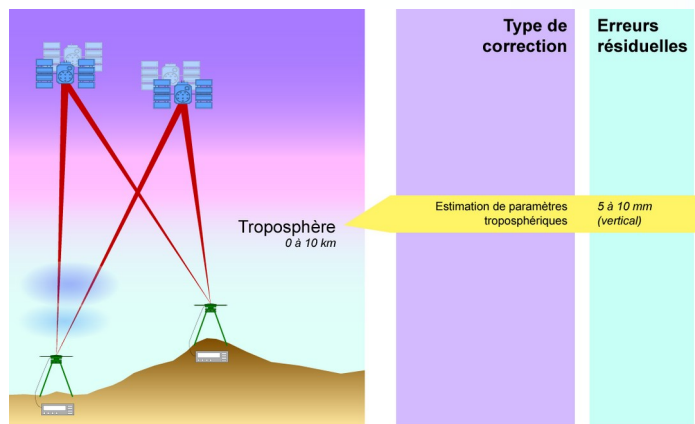
- **The latitude:** the ionosphere delay is larger near the pole and the equator.
- The **solar activity:** every ~ 11 ans, the sun has a enhanced activity with a large emissions of solar wind (carrying charged particulates).
- The **season:** more ionospheric delay in summer.
- The **day or the night:** less ionospheric delay during the night.



# The troposphere

The troposphere is the lowest layer of the atmosphere between the ground level and ~ 10 km of altitude.

The troposphere is not dispersive. The tropospheric delay does not vary with the frequency of the wave: in opposite to the ionospheric delay, the dual frequency measurements can not be used to reduce or remove the tropospheric delay.





# The multipath

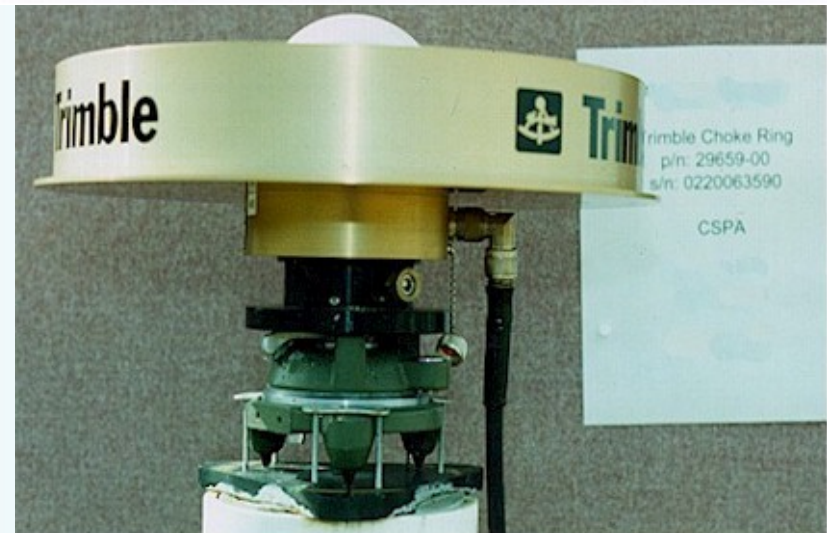
The multipaths are additional indirect GPS signals reflected by nearby the ground, walls or trees.

- With code processing, the error can reach tens of meters.
- With the phase processing, the error reach tens of centimeters with numerous cycle slip.

Almost no direct simulation of the impact of the multipath can be done as it depend for each site of the local geometry of the surface.

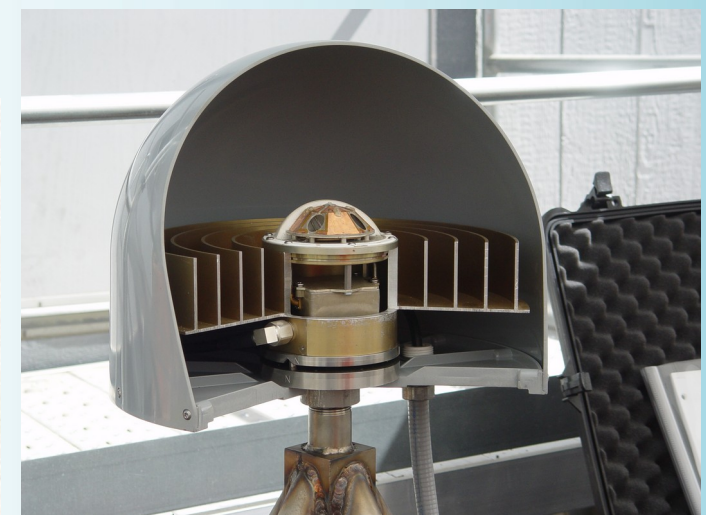
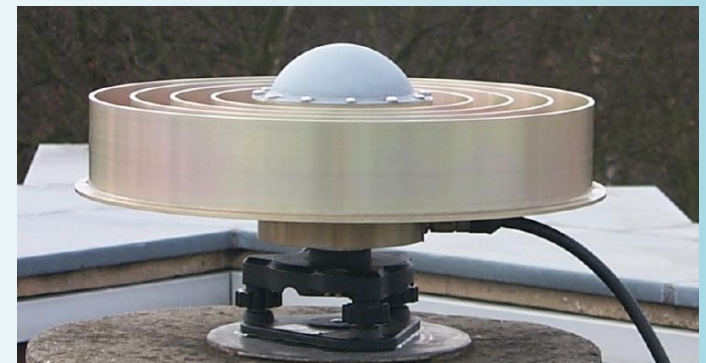
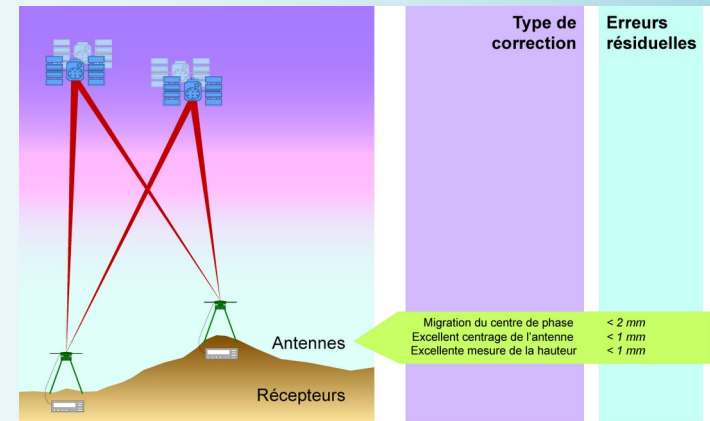
To reduce the multipath effect, one can :

- Choose a site without reflecting (wall, rocks) nearby surfaces.
- Choose an antenna with an absorbing plate and some signal processing (on the polarization) included in the receiver.
- Remove observations at low elevation angle to remove low satellites observations highly sensitive to multipaths.
- Increase the duration of the observation to partially average the multipath effects as the geometry of the satellite is changing.

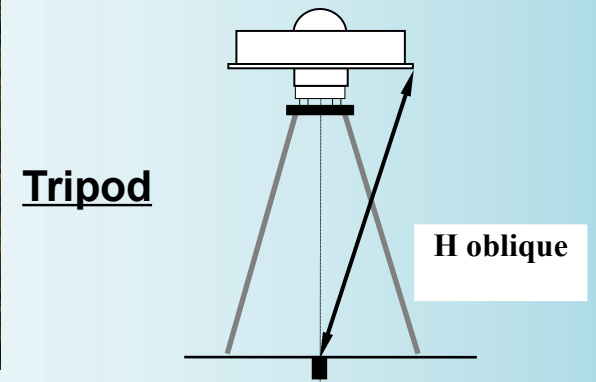


# Antenna bias

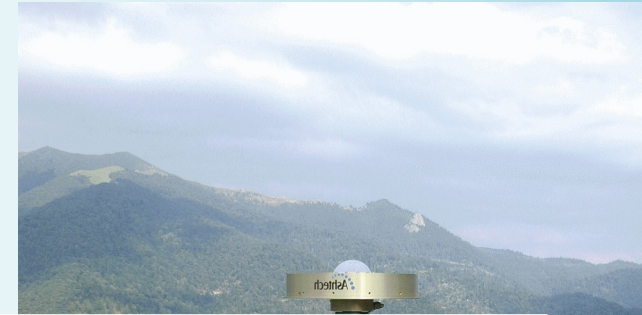
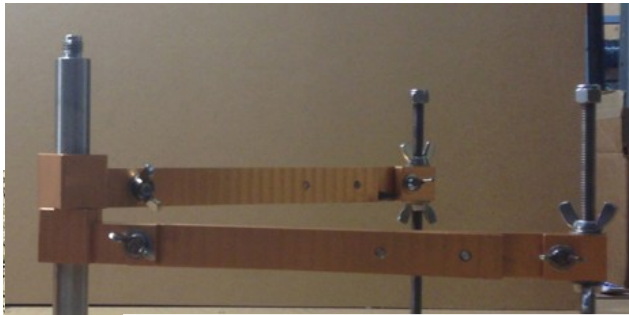
The center of phase of the antenna must be known. High accuracy antenna have a well characterized center of phase.



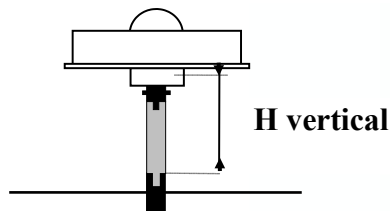
# Height of the antenna bias



# Height of the antenna bias

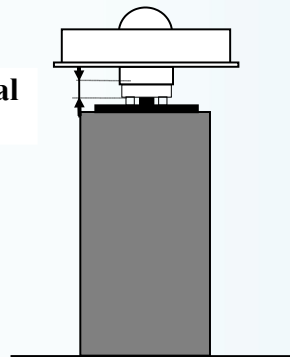


The measure of the height of the antenna is fundamental. If the height measurement is wrong, there is no way to correct the error afterward during the data processing.

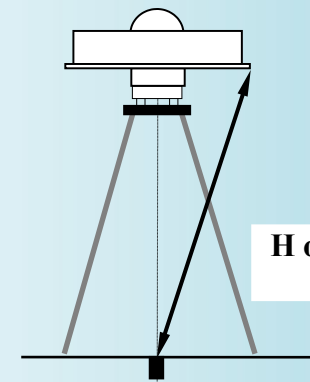


H vertical

Pilar



Tripod



H oblique

# Les effets relativistes

Etant donné la précision des mesures et l'utilisation conjointe d'horloges situées à la fois sur le sol terrestre et à bord de satellites orbitant autour de la terre, une modélisation de l'effet relativiste est nécessaire.

Les principaux effets sont :

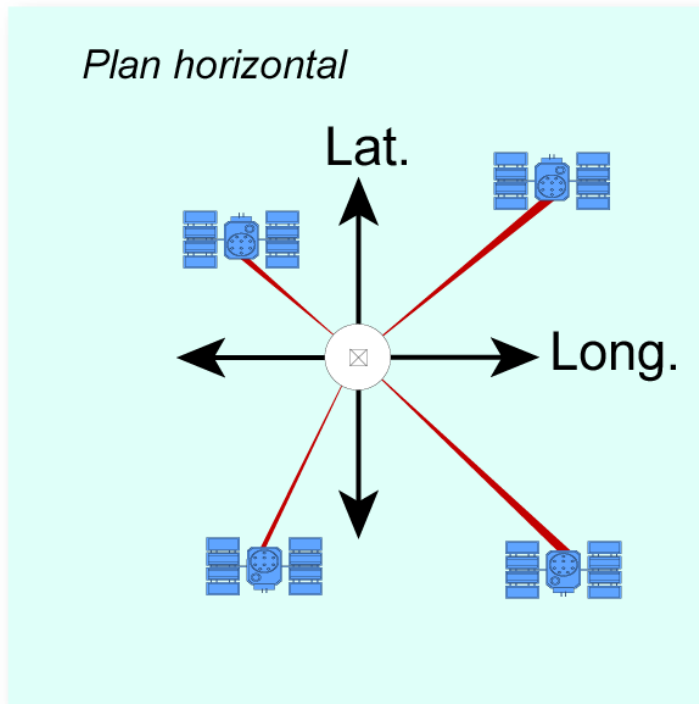
- Sur la conversion des temps propres des horloges à bord en temps GPS
- Sur la conversion pour les horloges des récepteurs au sol
- Sur la propagation des signaux entre satellites et le sol (courbures et retard dus à la gravitation terrestre)
- Sur le modèle dynamique de forces s'appliquant sur les satellites GPS
- Sur l'expression des positions dans un système géocentrique tournant

Ces effets sont pris en compte à différents niveaux :

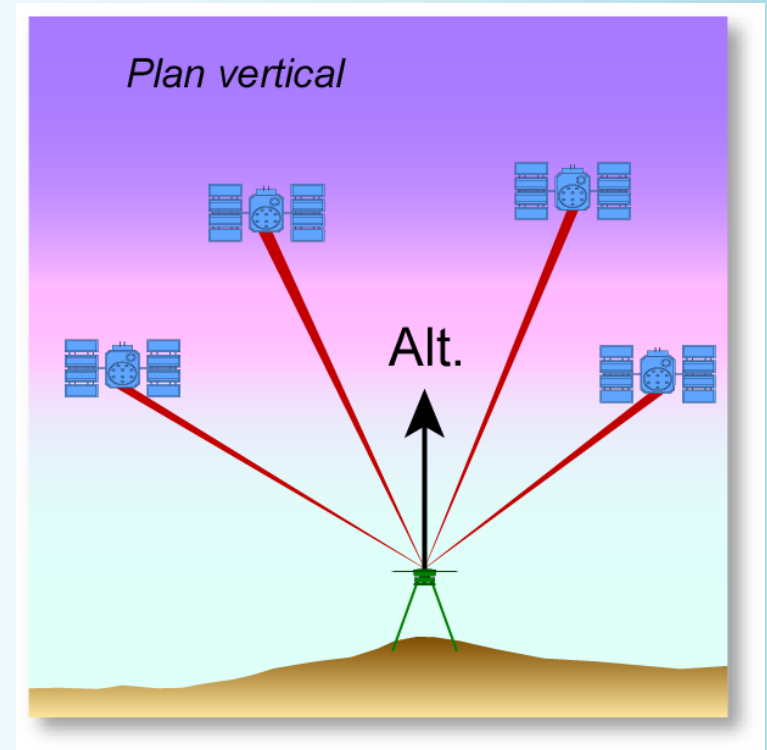
- Dans les éphémérides des satellites
- Dans les récepteurs (logiciel ou fréquence d'émission corrigée)
- Dans les paramètres d'horloge radiodiffusés
- Comme correction dans les relations d'observations

# LE CAS PARTICULIER DE LA COMPOSANTE GPS VERTICALE

Projection des signaux satellites/récepteur dans les plans des composantes GPS qui les contient



Les composantes planimétriques sont contraintes suivant toutes les directions du plan



La composante altimétrique est uniquement contrainte par le demi-plan supérieur

**L'erreur sur la Composante verticale est de 3 fois (de 2 à 10 fois) supérieure à celle des composantes planimétriques**

# Les notions fondamentales

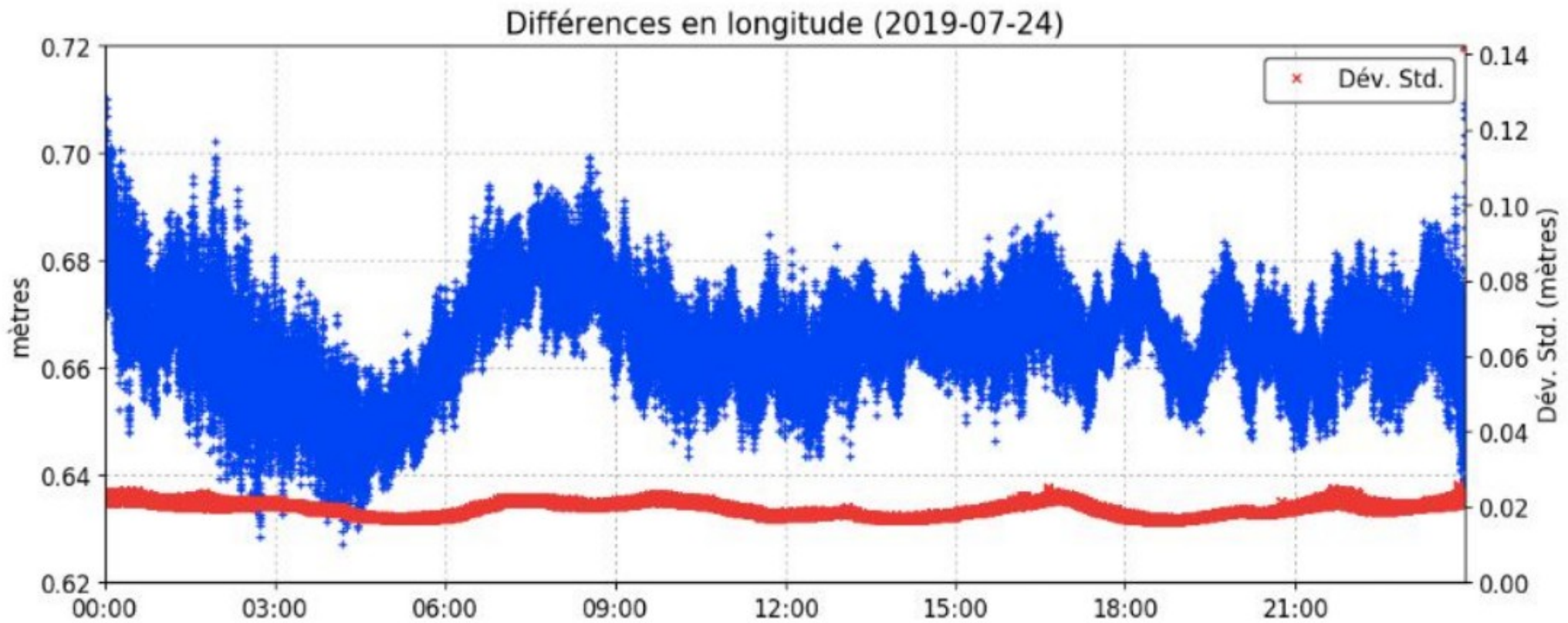
- Code / phase des données GPS
- Positionnement relatif / absolu
- Simple et double différence
- Positionnement statique et cinématique
- Trilatération / triangulation
- Impact géométrie (Vertical / horizontal par ex)

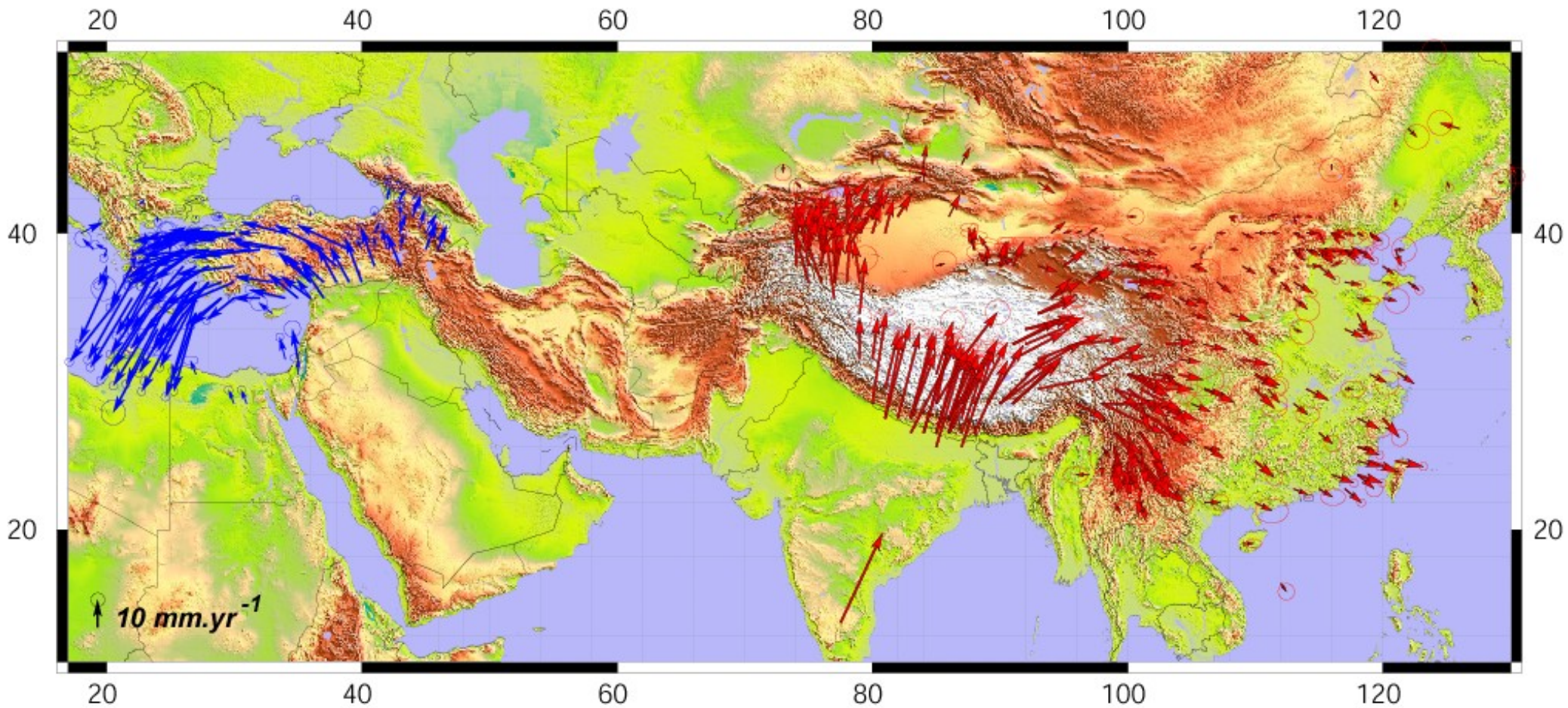
# Les notions manquantes

- La mise en référentiel (PV)
- Les applications (PV)
- Les différents types d'erreur (X)
- Une serie temporelle ?
- ...



# Une série temporelle GNSS





**Blue arrows : McClusky et al. (2000)**

**Red arrows : Wang et al. (2001)**

# Géodésie terrestre

## ◆ Composante planimétrique

Triangulation : - Loi des sinus  
- Pythagore généralisé

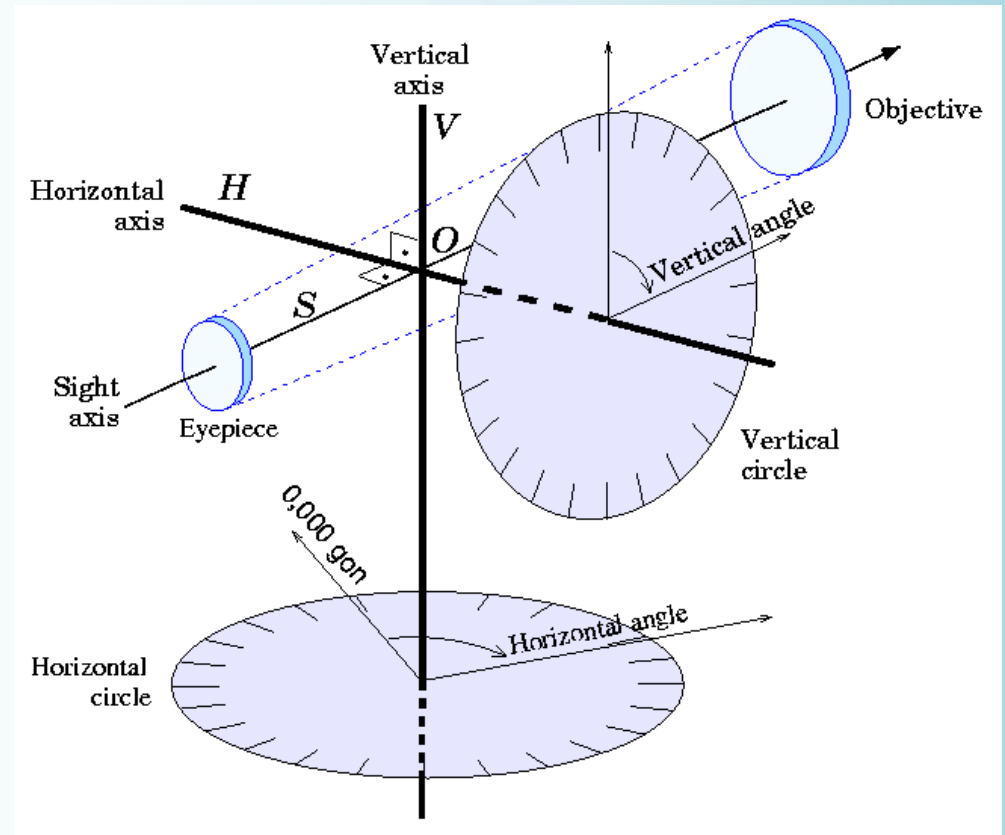
## ◆ Composante Altimétrique

Nivellement

**2 mesures totalement indépendantes**

# Triangulation : Mesures d'angles

Un **théodolite** est une **lunette** montée sur les **deux axes; vertical et horizontal**. Chacun des axes est équipé d'un cercle gradué permettant les lectures des angles.



Théodolite

Axes et cercles gradués d'un théodolite

*Le théodolite se pose sur un support et doit se caler sur le plan horizontal ; il est souvent placé sur un trépied, et à la verticale exacte d'un point connu en coordonnées, à l'aide d'un fil à plomb et d'un niveau à bulle sphérique, et sa base doit être parfaitement horizontale. L'ensemble de cette phase d'utilisation se nomme la « mise en station ».*

# Les mesures électro-optiques de distances

## Le Chainage

Autrefois les arpenteurs utilisaient une véritable chaîne composée de maillons pour mesurer une distance entre deux points. C'est pourquoi cette opération s'appelle un chaînage. Aujourd'hui la chaîne a été remplacée par un ruban à mesurer, généralement fabriqué en acier.

## Appareils Electroniques de Mesures de Distances (EDM) :

L'appareil émet une onde (infra rouge, laser, ...) qui se réfléchit et revient vers l'appareil. La vitesse de propagation de l'onde est connue. Le temps mis par le rayon pour revenir est mesuré et la distance séparant l'utilisateur de la cible est calculée.



*Distancemètre Laser*



*Tachéomètre = théodolite + EDM.*

# Mesures de dénivelées, ou nivellement

Le nivellement est l'ensemble des opérations consistant à mesurer des différences de niveaux, pour déterminer des altitudes.

Le nivellement permet de mesurer des dénivelées puis de déduire l'altitude de repères ou de points caractéristiques. Les altitudes peuvent être rapportées à une référence locale, ou à un système de référence plus général. Le système utilisé en France rapporte toutes les altitudes à celle du niveau moyen de la mer dans le vieux port de Marseille, qui est l'altitude zéro, généralement dite "niveau de la mer".



# Mesures de dénivelées, ou nivellement

- ♦ Le principal problème à résoudre par le nivellement est celui des **écoulements d'eaux**
- ♦ Une source d'imprécision est **la réfractivité de l'atmosphère** qui rend courbe les rayon lumineux.
- ♦ La mesure **altimétrique** Obtenue par nivellement est totalement **indépendante** des composantes **planimétriques**.



*Niveau, mire et trépied*