

Affichage des données GPS

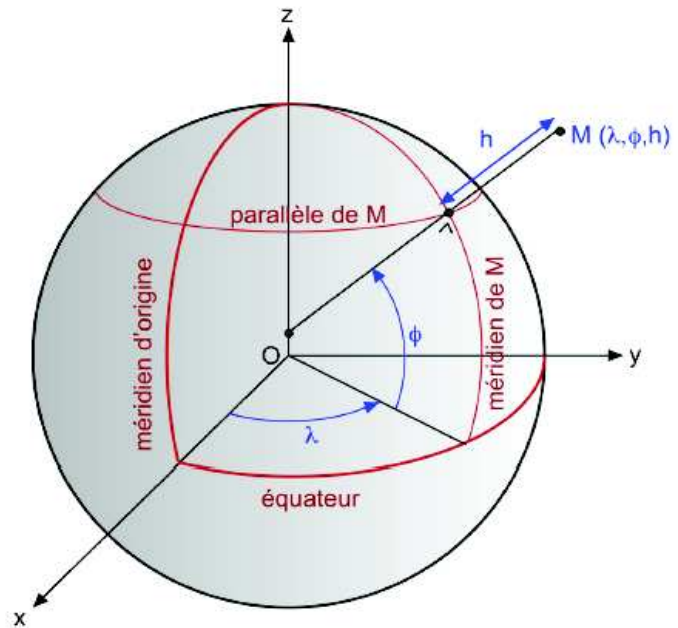
Les coordonnées géographiques d'un point M de la surface de la Terre sont :

La **longitude** λ : angle orienté entre le plan méridien origine et le plan méridien contenant le point M.

Le méridien d'origine est celui de Greenwich.

La **latitude** ϕ : angle orienté entre le plan de l'équateur et la normale à l'ellipsoïde passant par le point M.

La détermination de la position **absolue** globe a de tout temps été une préoccupation majeure des navigateurs



sur le

Le **GPS** (Global Positioning System) est un système de positionnement par satellites conçu par et pour le département de la défense des Etats-Unis.

il a été mis en service à partir de 1986

il est constitué de 24 satellites et utilise la triangulation pour se localiser

Le GPS permet de déterminer en tout point du globe

- la position avec une précision < 5 m
- l'heure exacte avec une précision $< 1 \mu s$

Il existe actuellement trois services mondiaux de positionnement par Satellite

GPS dispositif militaire américain opérationnel depuis 1980 graduellement amélioré

GLONASS dispositif militaire russe n'est plus entretenu

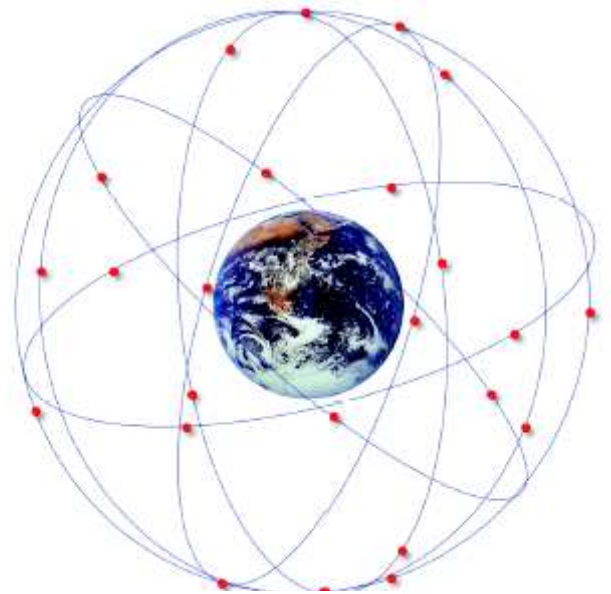
GALILEO dispositif civil européen mise en service prévue en 2008, 100% opérationnel dès 2011
coût : 3 G \$

La constellation GPS est constituée de 24 **satellites** placés sur 6 orbites circulaires.
(4 satellites par orbite)

l'altitude de ces satellites : 20184 km. Ils font ainsi un tour d'orbite en 12 h.

la position de chaque satellite
est connue avec une précision < 1 m

Sur le sol, des stations de contrôle suivent en tout instant le mouvement des satellites, dont l'orbite est périodiquement corrigée



Enfin, les utilisateurs captent avec des récepteurs les signaux émis par les satellites.

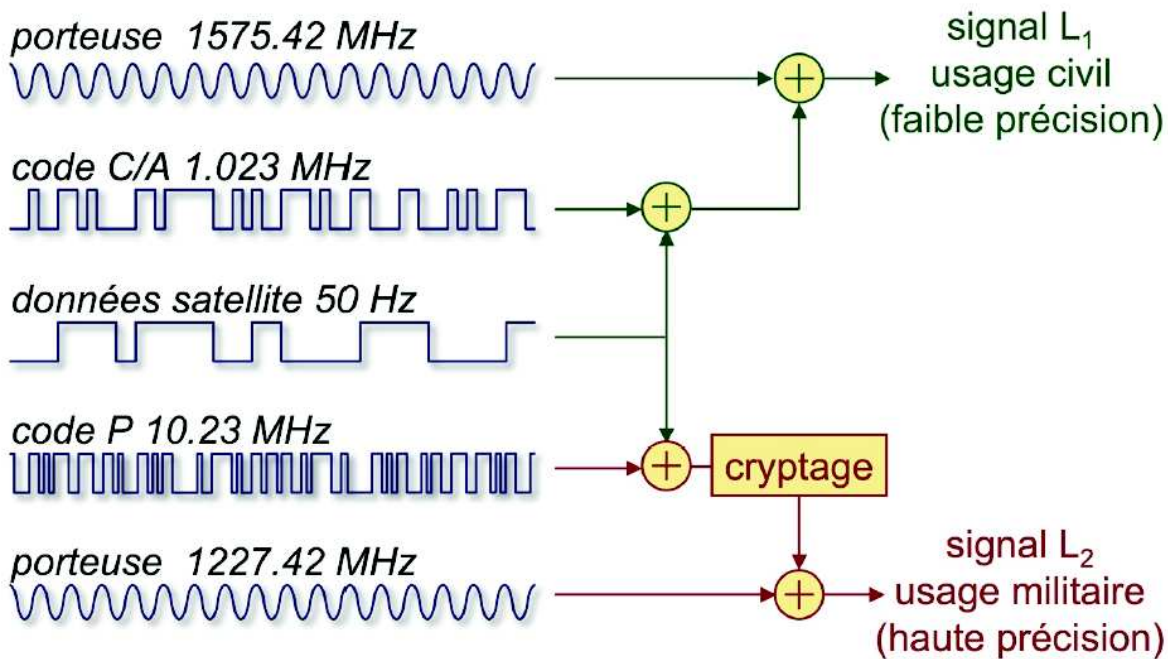
Les récepteurs ne font que capter les signaux. Ils n'émettent pas.

C'est le récepteur qui calcule la position à partir des données que fournissent les satellites.

Chaque satellite possède plusieurs horloges atomiques, ce, qui lui garantit une heure précise.

Il émet sur deux fréquences : 1575.42 MHz et 1227.60 MHz

Chaque satellite émet trois types de données



un almanach : permet de calculer sa position exacte

un code C/A (code approximatif) : pour un calcul approximatif du retard

un code P (précis) : pour un calcul plus précis du retard

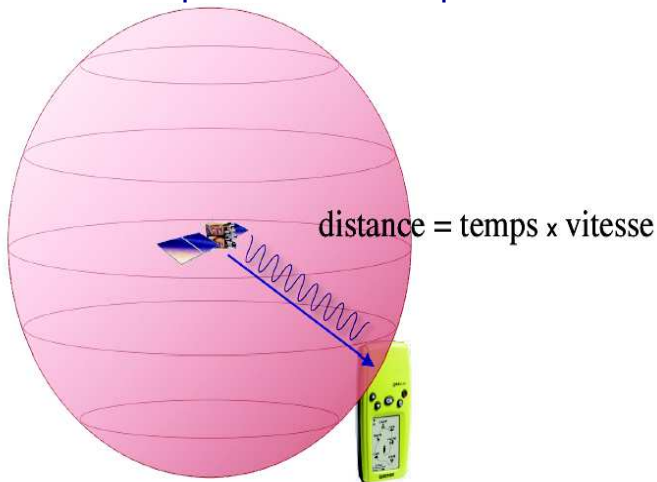
L'almanach contient toutes les données sur

- le type de satellite
- son état de fonctionnement
- le calcul précis de son orbite (précision < 1 m)

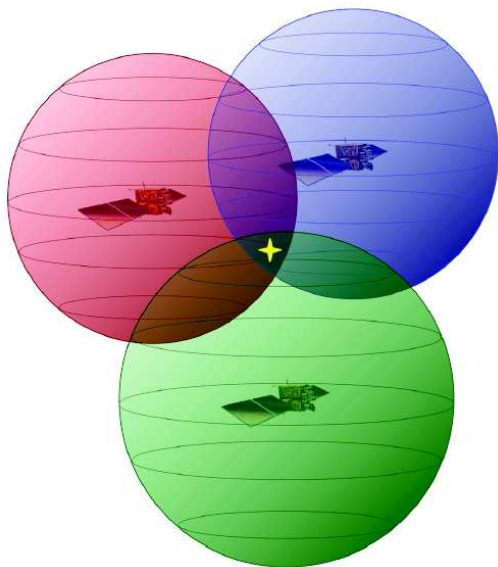
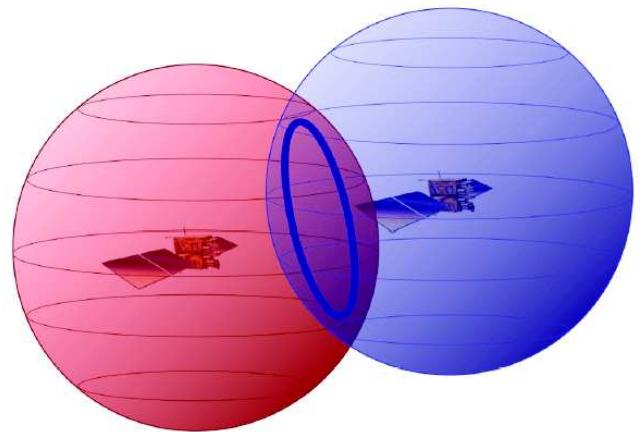
```
***** Week 267 almanac for PRN-01 *****
ID:                                01
Health:                            000
Eccentricity:                      0.5360126495E-002
Time of Applicability(s):          61440.0000
Orbital Inclination(rad):          0.9810490239
Rate of Right Ascen(r/s):          -0.7577458489E-008
SQRT(A) (m 1/2):                   5152.597656
Right Ascen at Week(rad):          0.6406025110E+000
Argument of Perigee(rad):          -1.689387348
Mean Anom(rad):                   -0.2325692391E+001
Af0(s):                           0.3662109375E-003
Af1(s/s):                         0.3637978807E-011
week:                              267
```

Le GPS calcule la position par **triangulation** :

- le satellite émet une onde électromagnétique de vitesse connue
- le récepteur calcule le temps mis par cette onde pour l'atteindre
- le récepteur sait alors qu'il se trouve sur une sphère centrée sur le satellite

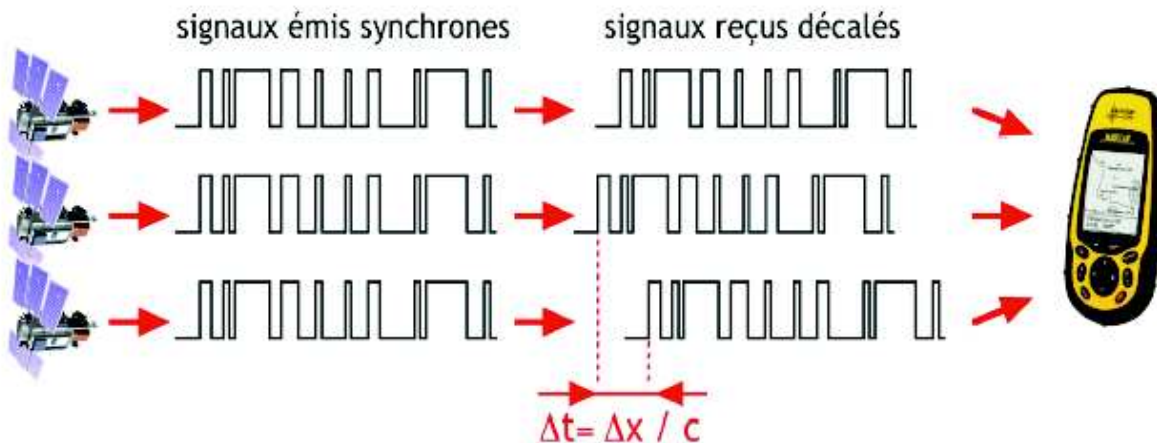


En recoupant les informations de **2 satellites**, le lieu géométrique, du récepteur devient un cercle



Avec 3 satellites, l'intersection se réduit à un (ou 2) points

Principe de la réception/correction horloge



Les signaux se propagent à la vitesse de la lumière

$$\text{distance} = \text{durée} \times 2.9979 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

1 μs de retard = 300 m de distance \rightarrow il faut une précision de 1 ns pour atteindre une résolution de l'ordre du mètre

Le récepteur n'a pas l'heure exacte et ne connaît donc que l'écart relatif par rapport aux 3 satellites.

\rightarrow **il faut un 4^e satellite** pour figer la position exacte :

à partir du quatrième satellite le récepteur va trouver l'heure exacte et pouvoir estimer les distances qui le sépare de chaque satellite.

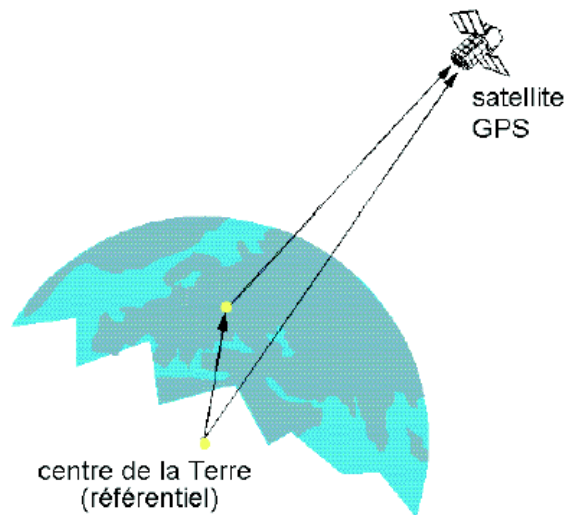
Dans la pratique, le détecteur utilise entre 4 et 12 satellites pour calculer sa position. Plus il y en a, mieux sa position est précise

\rightarrow *c'est un problème d'optimisation complexe*

Géodésie

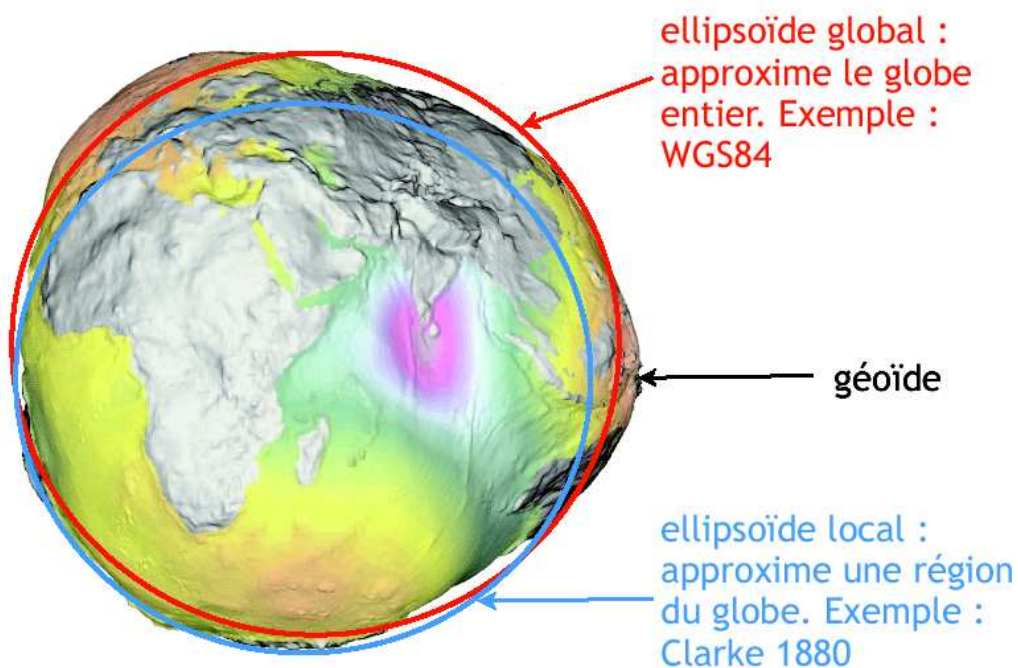
Une fois que le récepteur a calculé sa position par rapport aux satellites, il reste à calculer sa position par rapport à la Terre

il faut calculer la position absolue (latitude, longitude, altitude) dans le référentiel terrestre



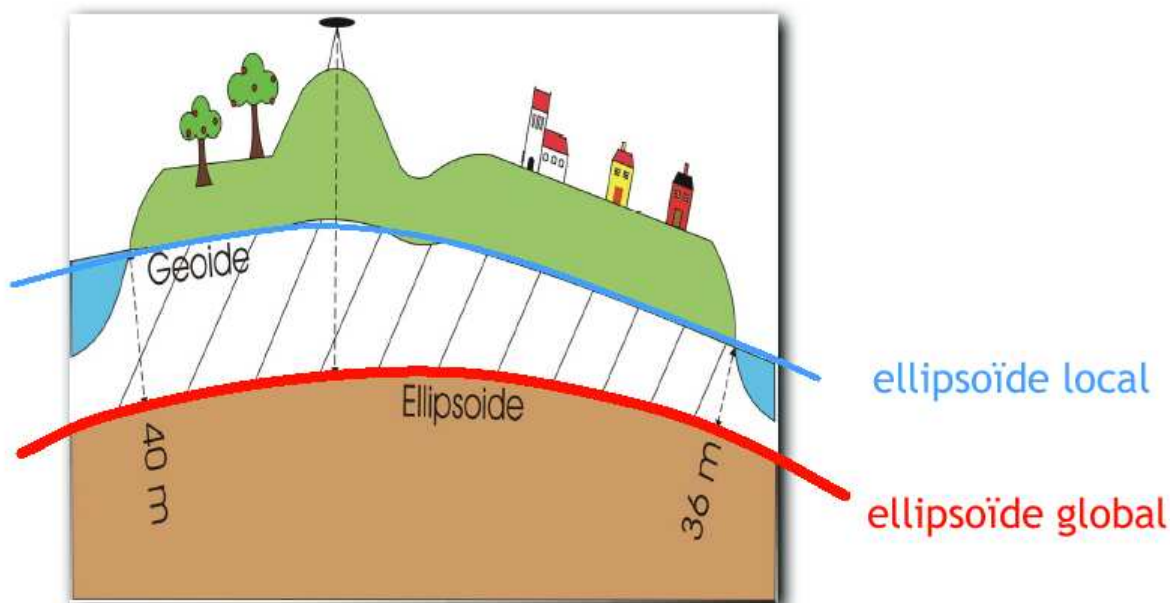
Pour cela il faut un modèle de la forme du globe

La forme du géoïde est trop complexe pour être formulée mathématiquement. On l'approxime donc par un **ellipsoïde**



Pour se positionner positionner, il faut un datum constitué de :

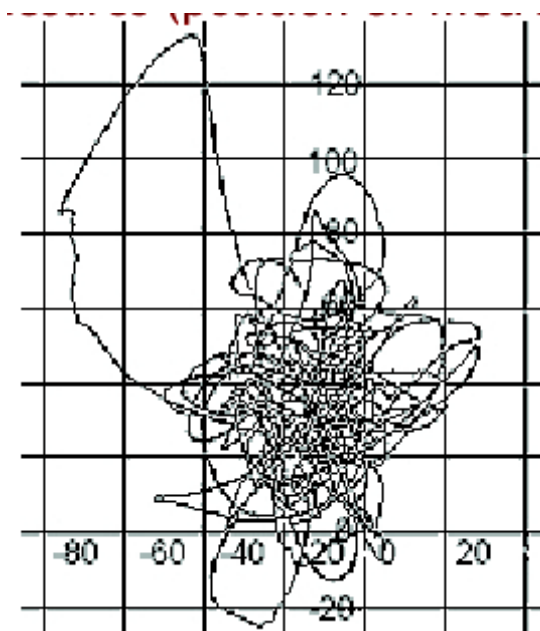
- un ellipsoïde local (chaque pays a le sien)
- la position de cet ellipsoïde par rapport à l'ellipsoïde de référence (WGS84)



Quelle précision de positionnement

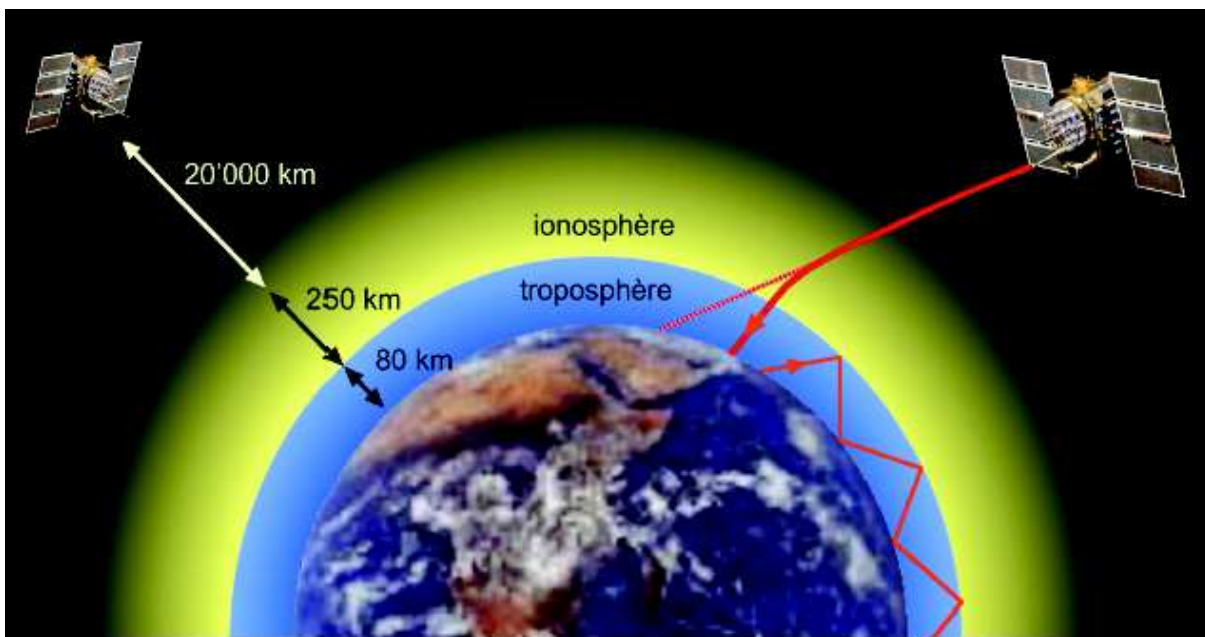
- De nombreux facteurs peuvent affecter la précision de la position. Cette dernière fluctue au cours du temps.
- Pour un récepteur à usage civil, et dans de bonnes conditions, l'erreur est de l'ordre de 5 m en position horizontale, et 10 m en vertical

Dérive de la position au cours de 5h de mesures (position en mètres)



Les sources d'erreur sont multiples.

source d'erreur	Erreur typique
ionosphère perturbée	4 m
réflexions parasites	1.4 m
bruit du récepteur	0.5 m
troposphère	0.7 m
horloge et précision des satellites	3.0 m
erreur globale	~ 5.5 m

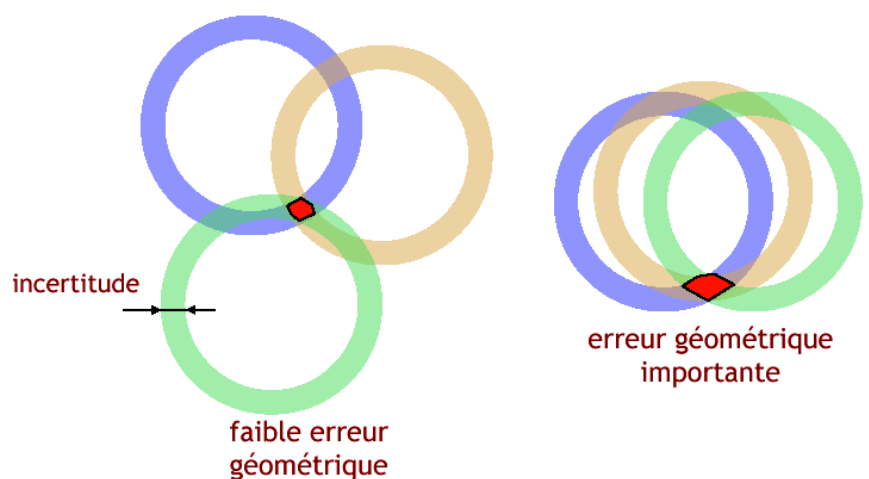


Ionosphère = couche ionisée (ou plasma) qui entoure l'atmosphère

L'erreur réelle dépasse souvent les 5 m

- dans 95% des cas, l'erreur sur l'altitude est < 50 m
- dans 95% des cas, l'erreur sur la position horizontale est < 25 m

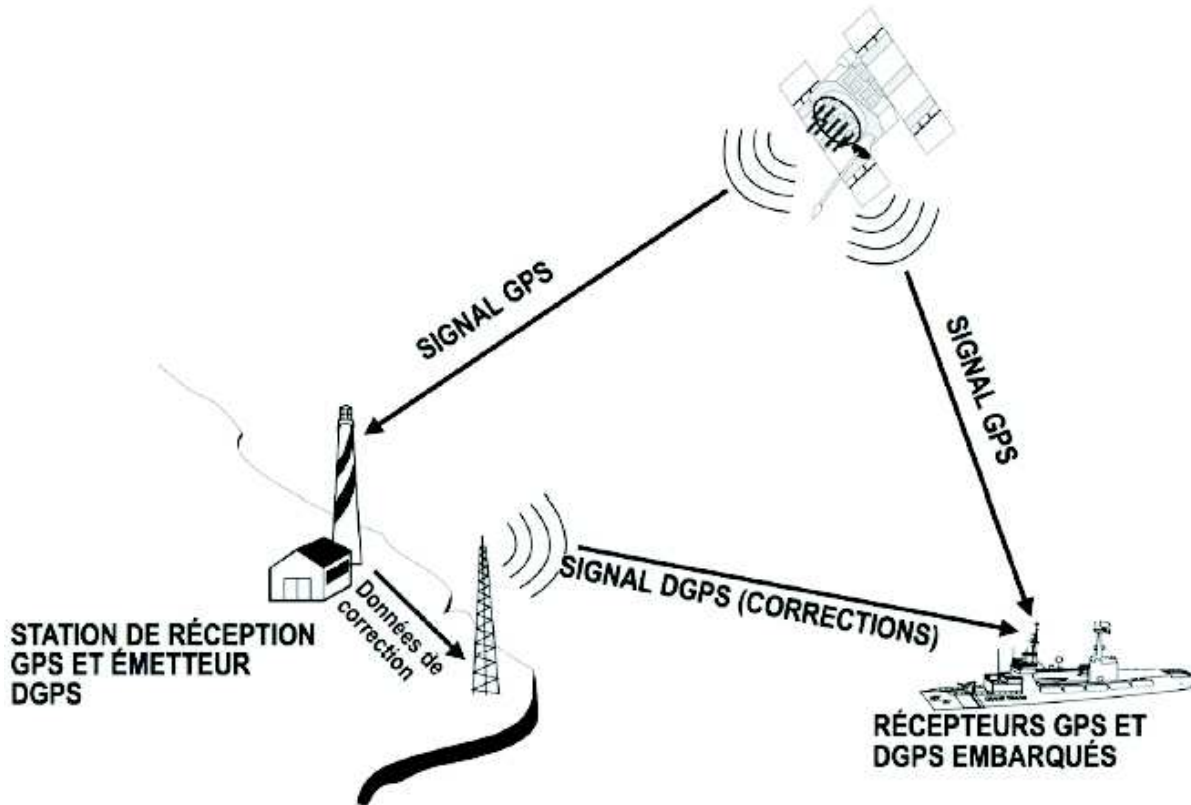
Cela tient en partie au nombre et à la configuration des satellites vus par le récepteur (facteur géométrique ou GDOP)



GPS différentiel (DGPS)

On mesure sa position par rapport à un récepteur fixe, dont la position est connue et permet d'appliquer des corrections

Ce service (payant) se développe à proximité des aéroports et des côtes



Il existe d'autres types de corrections (WAAS en Amérique du Nord, EGNOS en Europe)

Précision moyenne du GPS :

type de mesure	précision moyenne
GPS (usage civil)	3 - 8 m
GPS (usage militaire)	1 - 3 m
GPS différentiel	< 1 m
GPS différentiel avec post-traitement	quelques cm