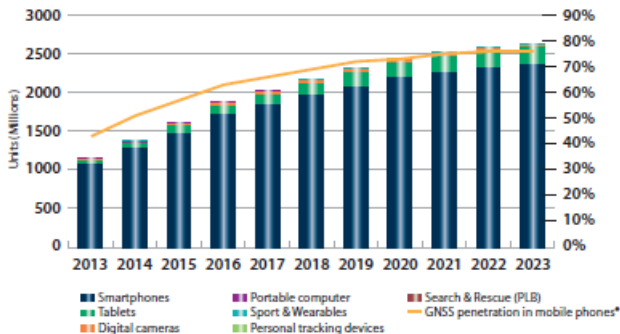




# Introduction

*Besoin grandissant de solution GNSS :*

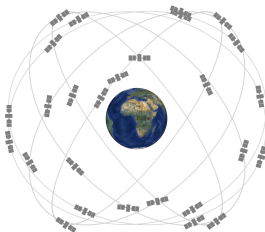


**Figure 1** – Appareils GNSS par plate-forme. [3]

# Définition GNSS

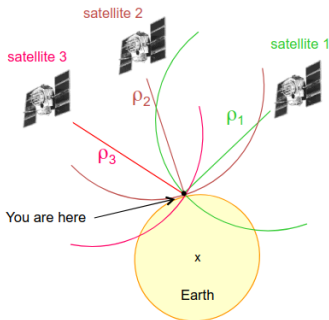
**GNSS** : *Global Navigation Satellite System* (Système de navigation par satellite global)

Constellation de satellites permettant de localiser un point sur la Terre.



**Figure 2** – Système de navigation par satellite global. [5]

# Fonctionnement du GPS



**Figure 3** – Fonctionnement du GPS.  
[1]

Une sphère de rayon  $\rho_1 = (\Delta t_1 \cdot c)$   
3 satellites, intersection des 3  
sphères.

Et donc  $\rho_s^s =$

$$\sqrt{(X^s - X_r)^2 + (Y^s - Y_r)^2 + (Z^s - Z_r)^2}$$

Avec :

- $X^s, Y^s, Z^s$  : coordonnées du satellite  $s$  ;
- $X_r, Y_r, Z_r$  : coordonnées du récepteur.

# Sources d'incertitude

- Les horloges des satellites et des récepteurs ne sont pas synchronisés. ( $\delta t$ )
- Réfraction lors de la propagation dans l'atmosphère :
  - ❶ Troposphérique (dépend de la température et de la pression atmosphérique) ( $T_r^s$ )
  - ❷ Ionosphérique (dépend de la densité ionique) ( $I_r^s$ )

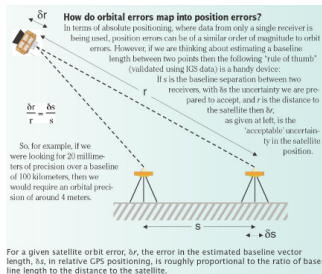
Modèle plus complet :

$$R_r^s = \rho_r^s + c\delta t + T_r^s + I_r^s + \dots \quad (1)$$

# Précision des orbites

Les systèmes GNSS sont basés sur des orbites prédites émises par les satellites.

Ces **éphémérides** doivent donc être très précises. (Perturbation gravitationnelle (cf. Annexe), radiation solaire ...)

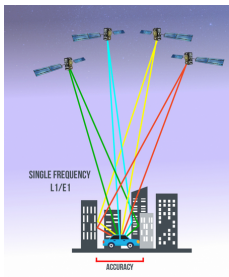


**Figure 4** – Précision des orbites. [1]

*Il existe aussi des services qui recalculent les éphémérides a posteriori. (eg. IGN)*

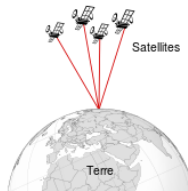
# Multipath et dilution

Le **multipath** (multi-trajet) : le signal émis par le satellite est réfléchi par un objet avant d'atteindre le récepteur. (cf. Figure 5)



**Figure 5** – Multipath [2]

La **dilution** (GDOP) : la géométrie des satellites par rapport au récepteur influe sur la précision de la mesure. (cf. Figure 6)



**Figure 6** – Coef. de dilution élevée [2]

# Sommaire

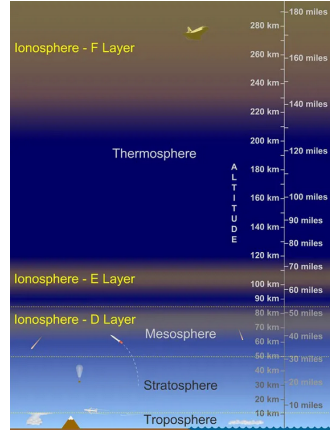
- 1 Introduction
- 2 Problématique
- 3 L'ionosphère
- 4 Expérimentations Ionosphérique
- 5 Multipath
- 6 Expérimentations Multipath



*Comment peut-on réduire l'impact de l'urbanisation sur les systèmes GNSS pour améliorer la précision de la géolocalisation par satellite ?*

# Définition

**L'ionosphère :** L'ionosphère est la couche de l'atmosphère située entre 60 et 1000 km d'altitude. Elle est constituée de particules chargées électriquement, les ions, qui sont en mouvement.



**Figure 7** – Régions de l'ionosphère [7]



# Quelle erreur ?

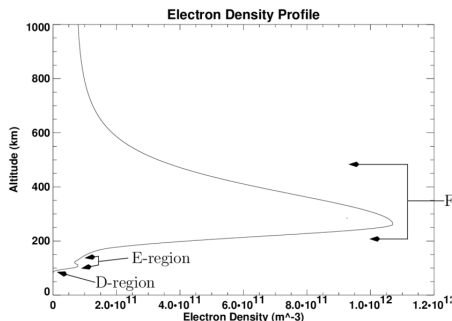


Figure 9 – Profil Ionosphérique [4]

Retard Ionosphérique :

$$\tau = \frac{1}{c} \int_0^{H_0} \left( \frac{c}{v_g} - 1 \right) dz$$

Erreur de distance :

$$L = \frac{a}{f_1^2} C_{ET} \text{ avec } C_{ET} = \int_0^{H_0} n_e dz$$

(Contenu Électronique Total)

A un TEC de  $1.5 \cdot 10^{17} m^{-2}$ ,

$L = 220m$

(Voir Annexe 2)

# Expérimentations Ionosphérique

# Préambule

**Méthode d'évaluation :** Le CET *Total electron content* s'évalue grâce à un même signal sur deux fréquences.

**Le signal GPS :**

- **Speudorange** - La speudorange (distance) s'évalue à l'aide d'une fonction de corrélation.
- **Phase** - La phase s'évalue sur le nombre de phases depuis le début d'acquisition.

(Voir Annexe 3)

# Protocole expérimental

RTKlib avec et sans correction ionosphérique. Calcul du TEC à partir de la phase et de la pseudorange.

# Résultats

**Figure 10** – TEC en fonction du temps



# Multipath

**Multipath** : Le multipath est un phénomène de propagation d'onde radio qui se propage sur plusieurs trajets entre l'émetteur et le récepteur.

Le multipath s'estime par :

$$MP = P - \left( \frac{2}{\alpha - 1} + 1 \right) \cdot L_1 + \frac{2}{\alpha - 1} \cdot L_2$$

(Voir Démonstration Annexe 4)

avec  $P$  la phase,  $L_1$  la pseudorange,  $L_2$  la pseudorange sur la deuxième fréquence et  $\alpha$  le coefficient de réflexion.

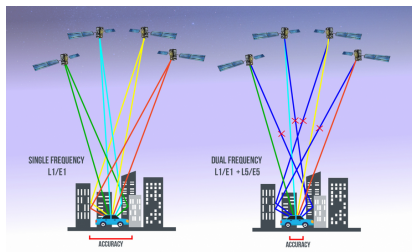


Figure 11 – Multipath [2]

# Expérimentations Multipath

# Protocole expérimental

- RTKlib avec et sans correction ionosphérique.
- Calcul du multipath à partir de la phase et de la pseudorange.

# Résultats

**Figure 12** – Multipath en fonction du temps

# *Des Questions ?*

# Bibliographie

- [1] Eric CALAIS. *Géopositionnement GNSS, principe et applications*. URL : <https://www.geologie.ens.fr/~ecalais/teaching/geopositionnement-gnss>.
- [2] ESA. *ESA GNSS Navipedia*. URL : <https://gssc.esa.int>.
- [3] ESA. *GNSS Market Report*. URL : [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GNSS\\_Market\\_Report#Report\\_Overview](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GNSS_Market_Report#Report_Overview).
- [4] Robert GILLIES. « Modelling of transionospheric HF radio wave propagation for the ISIS II and ePOP satellites ». In : (jan. 2006).
- [5] GPS.GOV. *GPS Constellation*. URL : <https://www.gps.gov/multimedia/images/constellation.jpg>.
- [6] E3A - POLYTECH. *Épreuve de Physique*. 2020.
- [7] Randy Russell UNIVERSITY CORPORATION FOR ATMOSPHERIC RESEARCH. *Regions of the ionosphere, showing the D, E, and F layers*. URL : <https://scied.ucar.edu/learning>

# Modélisation, perturbation gravitationnelle

# Démonstration TEC



# Le signal GPS

# Démonstration Multipath