

Études des systèmes GNSS des smartphones

Noë Charlier

Professeurs: **C. Delacour, M. Petitcuenot**

Classe préparatoire aux grandes écoles

PT

Lycée Paul Constans



TIPE - 2022, 2023

Sommaire

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

Introduction

Besoin grandissant de solution GNSS :

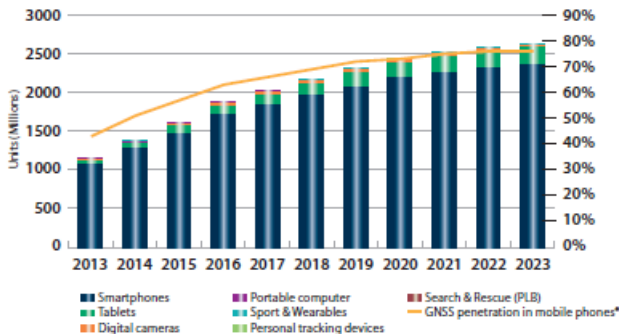


Figure 1 – Appareils GNSS par plate-forme. [3]

Définition GNSS

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

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

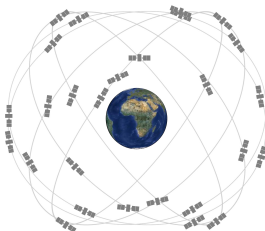


Figure 2 – Système de navigation par satellite global. [5]

Fonctionnement du GPS

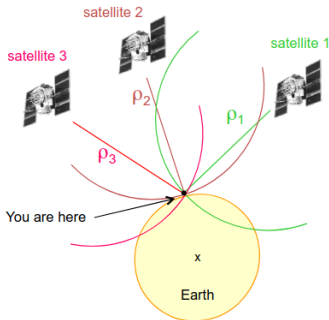


Figure 3 – Fonctionnement du GPS.
[1]

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

Et donc $\rho_s =$

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

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. (δt)
- Réfraction lors de la propagation dans l'atmosphère :
 - ① Troposphérique (dépend de la température et de la pression atmosphérique) (T_r^s)
 - ② 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 ...)

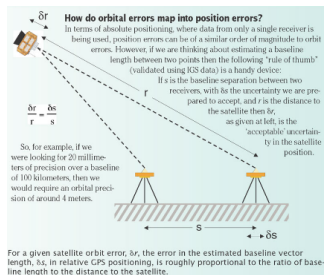


Figure 4 – Précision des orbites. [1]

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)

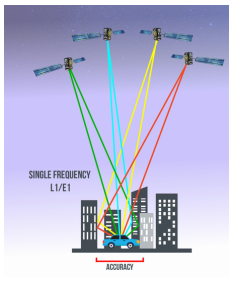


Figure 5 – Multipath [2]

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

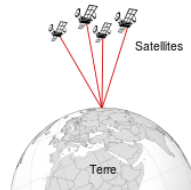


Figure 6 – Coef. de dilution élevée [2]

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.

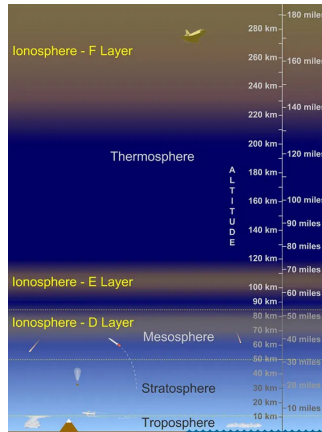


Figure 7 – Régions de l'ionosphère [7]

Impact sur la propagation

Impact sur la propagation :

- **Propagation directe** - La propagation directe est la propagation d'une onde radio entre deux points sans interaction avec l'ionosphère.
- **Propagation diffusée** - La propagation diffusée est la propagation d'une onde radio entre deux points avec interaction avec l'ionosphère.

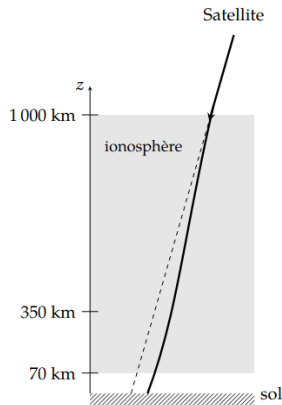


Figure 8 – Propagation directe et diffusée [6]

Quelle erreur ?

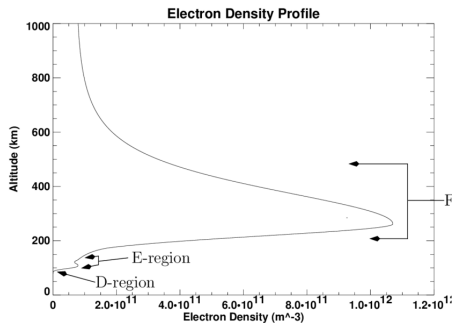


Figure 9 – Profil Ionosphérique [4]

Retard Ionosphérique :

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

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)

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 expérimentale

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.
- [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