

# Études des systèmes GNSS des smartphones

**Noë Charlier**

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

Classe préparatoire aux grandes écoles  
PT

Lycée Paul Constans



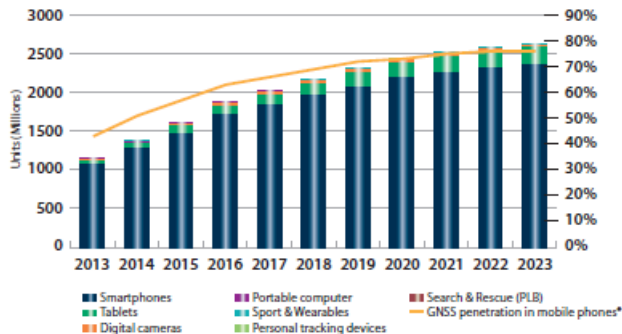
TIPE - 2022, 2023

# Sommaire

- 1 Introduction
- 2 L'ionosphère
- 3 Objectifs & Expérimentations
- 4 Positionnement thématique

# Introduction

*Besoin grandissant de solution GNSS :*

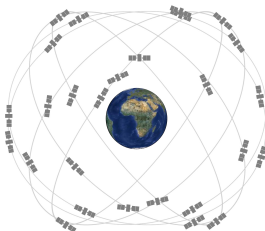


**Figure 1** – Appareils GNSS par plate-forme. [2]

# Définition GNSS

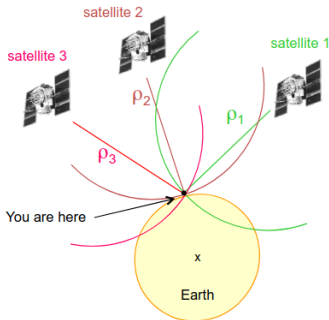
**GNSS** : *Global Navigation Satellite System* (Système de navigation par satellite global)

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



**Figure 2** – Système de navigation par satellite global. [4]

# 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

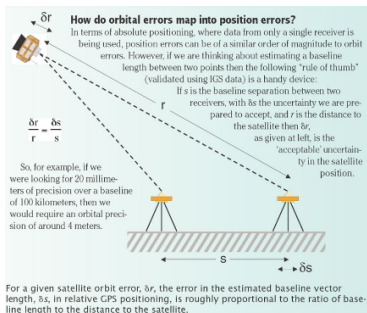
- Les horloges des satellites et des récepteurs ne sont pas synchronisés. ( $\delta t$ )
- Réfraction lors de la propagation dans l'atmosphère :
  - ① Troposphérique (dépend de la température et de la pression atmosphérique) ( $T_r^s$ )
  - ② Ionosphérique (dépend de la densité ionique) ( $I_r^s$ )

Modèle plus complet :

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

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 ...)

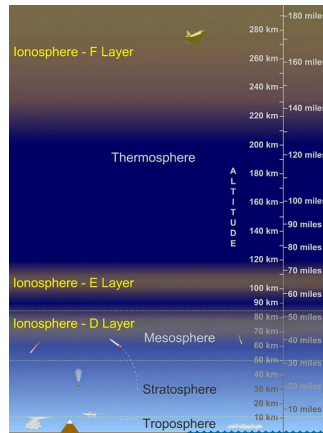


**Figure 4** – Précision des orbites. [1]

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

# 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.



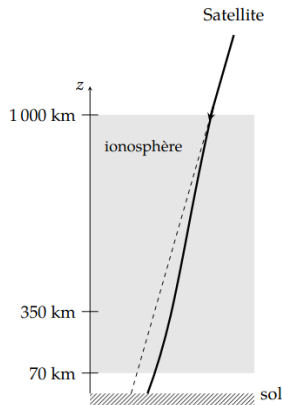
**Figure 5** – Régions de l'ionosphère [6]



# 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 6** – Propagation directe et diffusée [5]

# Quelle erreur ?

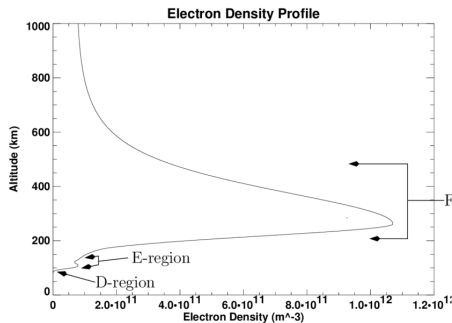


Figure 7 – Profil Ionosphérique [3]

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)

*Total Electron Content* (Contenu total d'électrons)

**TEC** : Quantité d'électrons présents dans une couche de l'ionosphère.

# Expérimentations (& Simulations numérique) et Objectifs

## Expérimentations :

- **Etude du lien entre SID et précision GPS** - Capteur GPS, et récepteur basse fréquence

## Modélisations :

- **Système GPS réduit** - Modélisation d'un système de résolution GPS afin de lier les résultats expérimentaux.

# Positionnement thématique

## Positionnement thématique :

- **Physique** - Physique Interdisciplinaire
- **Sciences Industrielles** - Traitement du Signal & Électronique
- **Informatiques** - Informatique Pratique
- **Mathématiques** - Mathématiques Appliquées

# *Des Questions ?*

# Bibliographie

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

# Modélisation, perturbation gravitationnelle



# Démonstration TEC