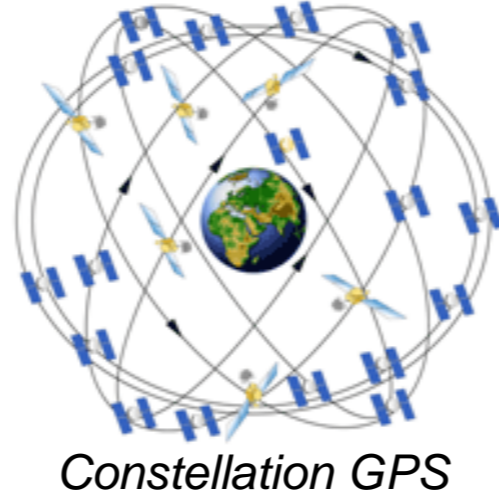


I. INTRODUCTION

Système de positionnement par satellites Global Navigation Satellite System (GNSS)

- GPS (Américain), GLONASS (Russe), Galileo (Européen)
- Les satellites émettent des signaux en continu sur au moins 2 fréquences f_1 et f_2
- Positionnement sur l'ensemble de la Terre:
 - ⇒ Mesure du temps de parcours des signaux entre les satellites et des récepteurs au sol



$$d_{SR} = c \times (t_{reception} - t_{emission}) = c \cdot \Delta t$$

Atmosphère

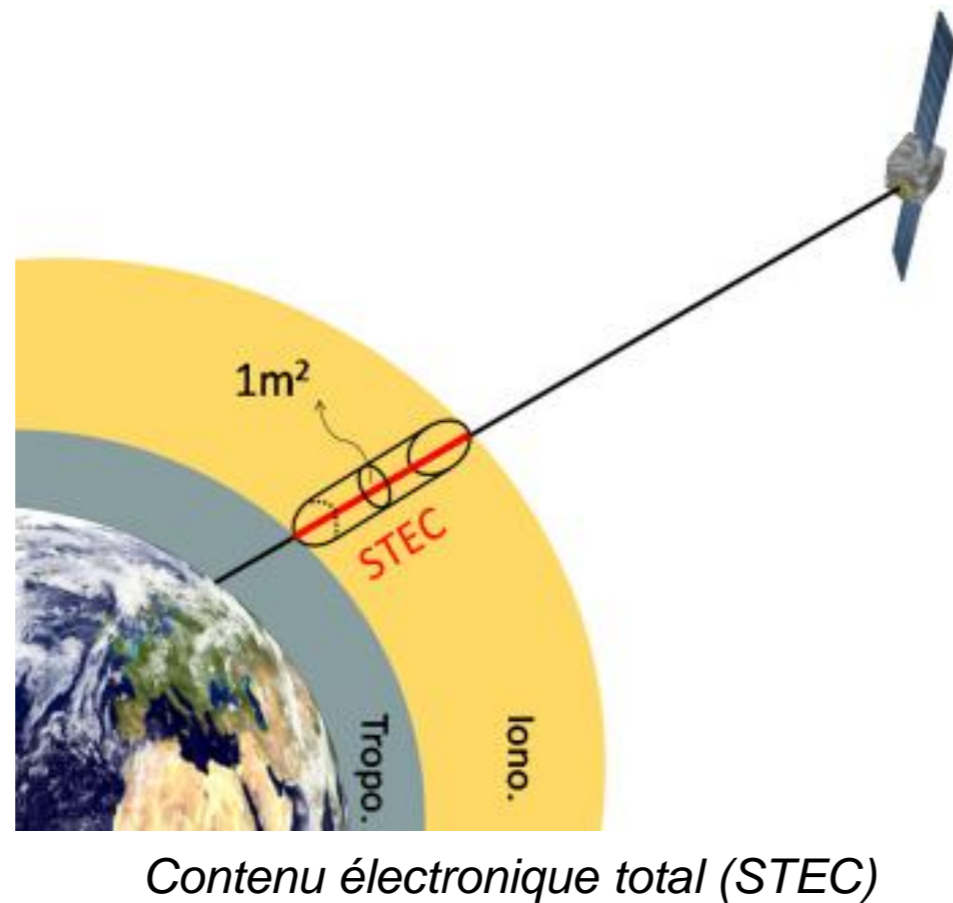
- ⇒ induit un délai sur le temps de parcours mesuré
- Troposphère de 0 à 60 km d'altitude: Vapeur d'eau
- Ionosphère de 60 à 1000 km d'altitude
 - Milieu ionisé, dû aux rayonnements solaires
 - Evolution dépendante de l'heure de la journée, de la saison, de la position géographique
 - Les électrons affectent la propagation du signal
 - ⇒ paramètre caractéristique: nombre d'électrons N_e rencontrés par le signal depuis le satellite jusqu'au récepteur, Slant Total Electron Content (STEC)

$$STEC = \int_{Récepteur}^{Satellite} N_e(r, \theta, \phi) \cdot dl$$

- Milieu dispersif :
 - ⇒ dépendant de la fréquence du signal

$$\Delta t = t_{reception} f_1 - t_{reception} f_2$$

$$TEC = \frac{c \Delta t}{40.3} \times \frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2}$$



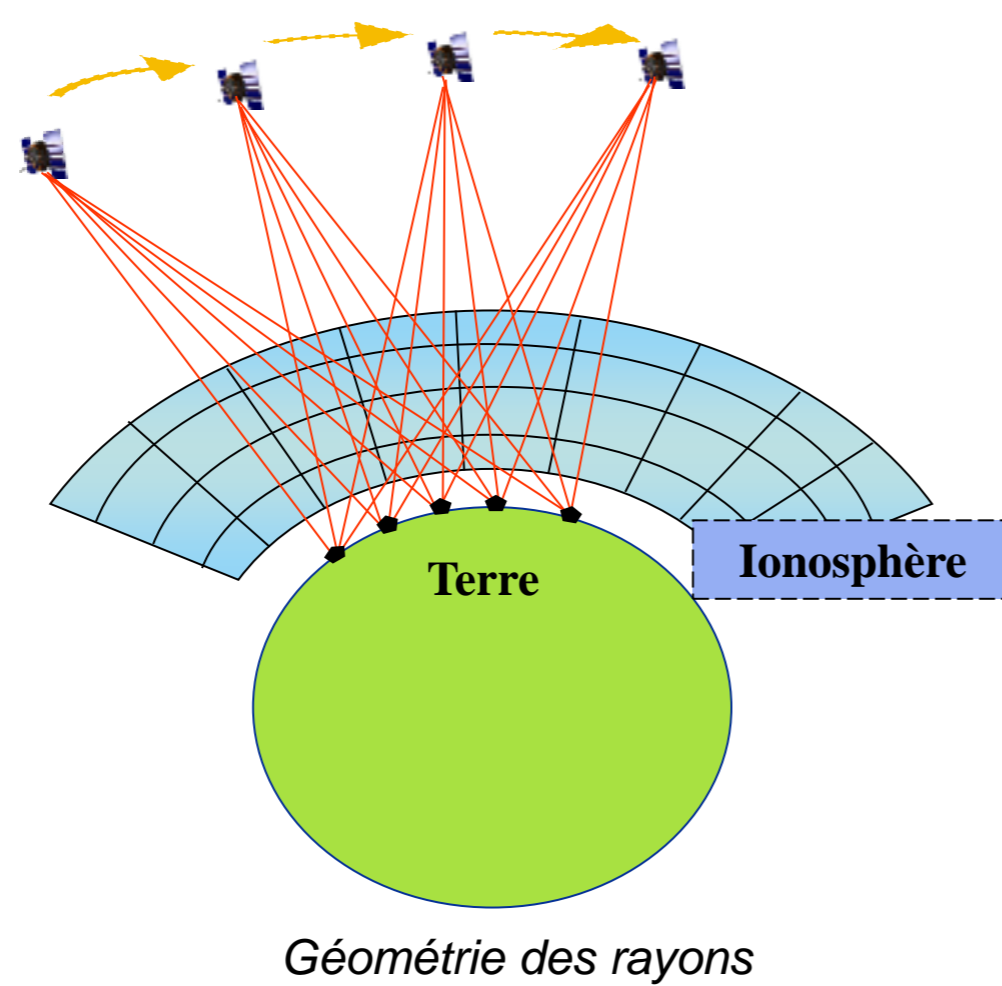
Tomographie ionosphérique

Problème inverse :

- Résoudre les densités électroniques locales N_e à partir des données STEC

$$STEC_i = \sum_{j=1}^n l_{ij} \times N_{e_k}$$

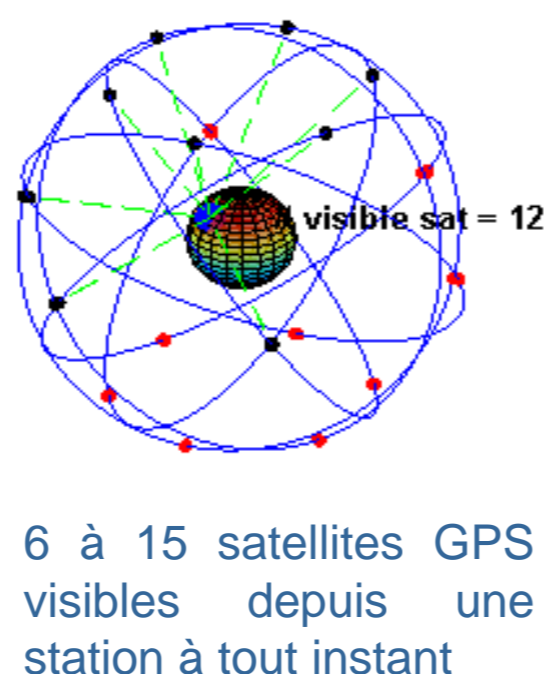
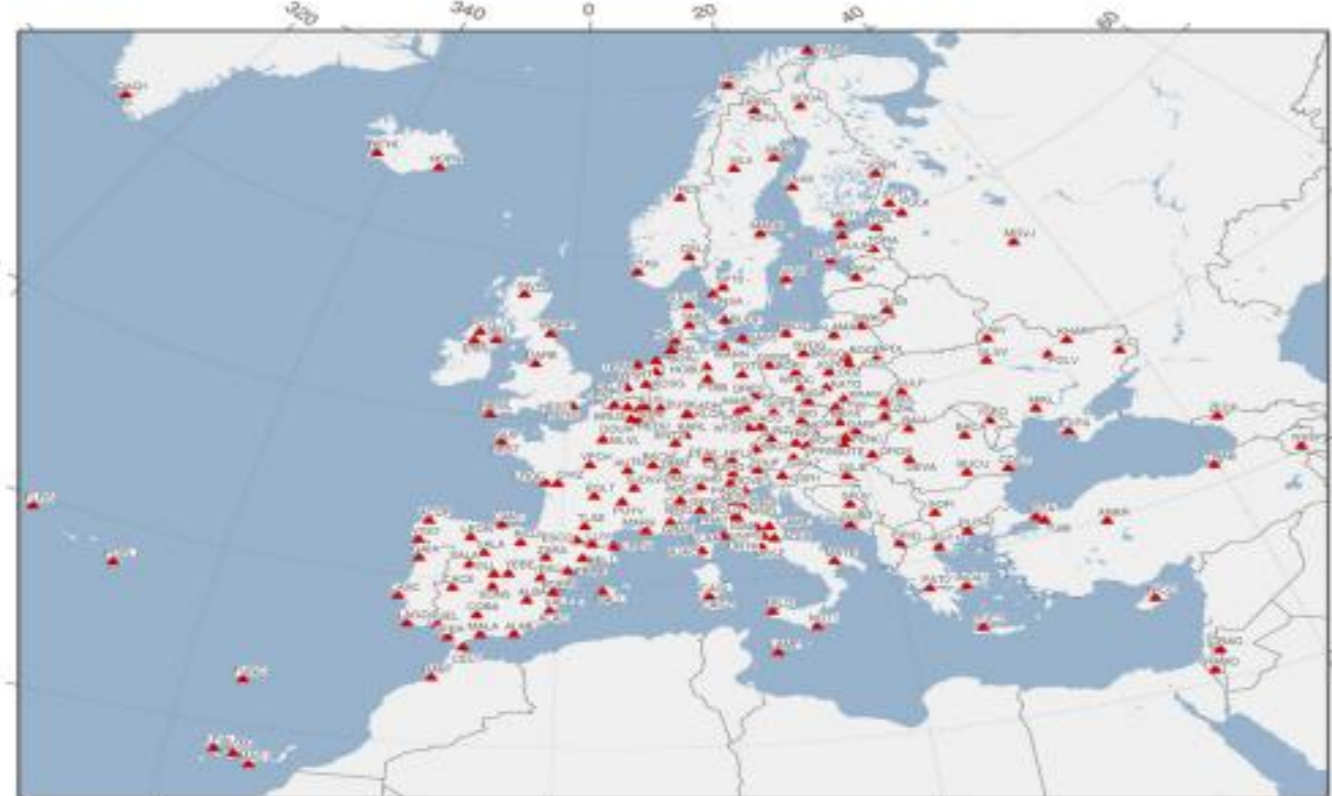
- Maillage 3D de l'ionosphère: calcul des longueurs l du parcours du rayon au sein de chaque voxel



L'EPN : réseau de stations permanentes GNSS

- 220 stations réparties dans 38 pays en Europe

EUREF Permanent Tracking Network



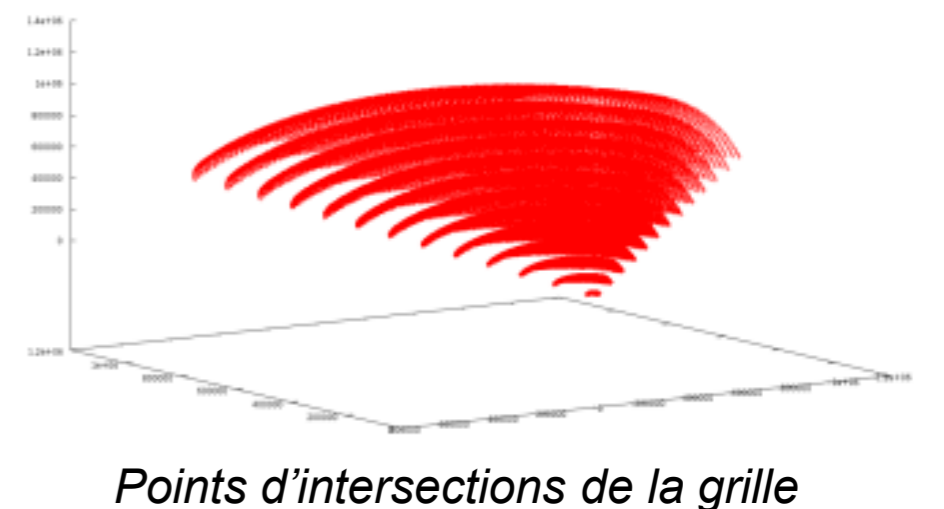
II. PROBLEMATIQUE ET METHODE

Problématique

- Quel est le potentiel du réseau EPN et du système GPS pour faire de la tomographie ionosphérique ?
- Quelle est la valeur ajoutée des systèmes GNSS : Galileo et GLONASS ?

Méthode

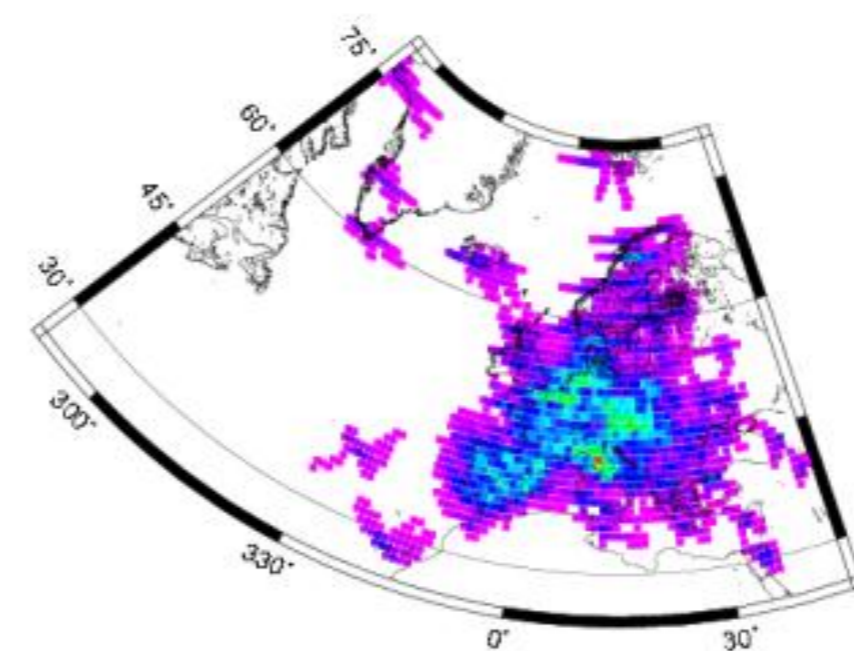
- Quantification spatiale et temporelle des signaux GNSS dans l'ionosphère
 - ⇒ Répartition des rayons dans une grille 3D sphérique
 - ⇒ Etude de la résolution spatiale et temporelle (taille des voxels et temps d'observation)



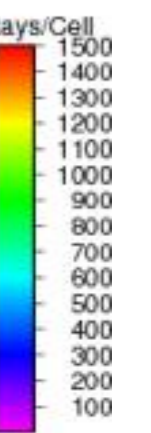
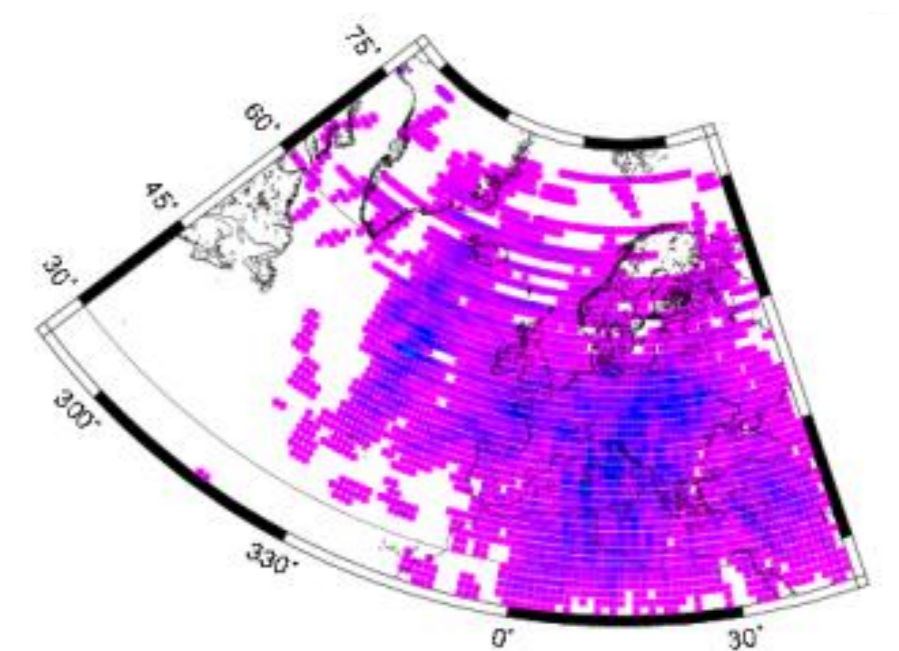
III. RESULTATS

Répartition du signal avec l'EPN et le GPS

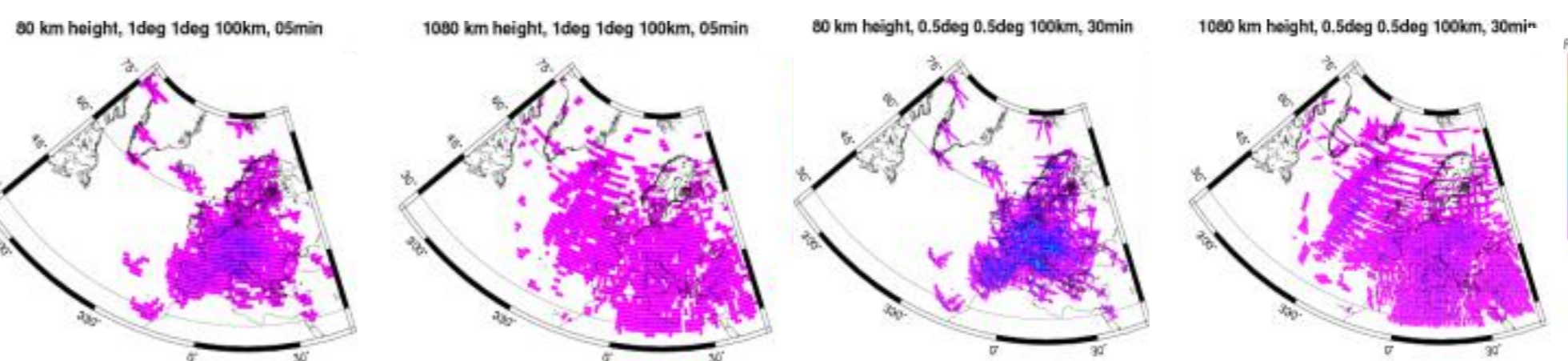
Signal distribution at 80 km height, 12h00



Signal distribution at 1080 km height, 12h00



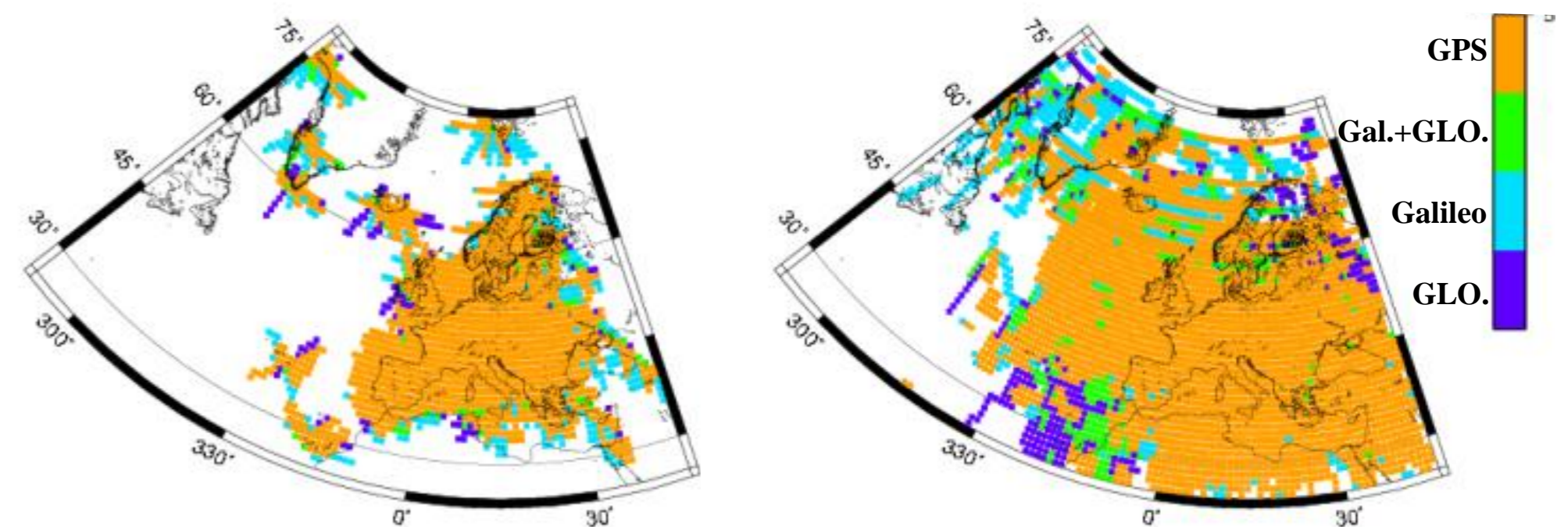
Grille: 1° x 1° x 100km - Temps d'observation : 30min



Grille: 1° x 1° x 100km - Temps d'observation : 5min

Grille: 0.5° x 0.5° x 100km - Temps d'observation : 30min

Contribution des systèmes Galileo et GLONASS



Grille: 1° x 1° x 100km - Temps d'observation : 30min

IV. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

- Avec les outils développés nous avons démontré le potentiel de futurs réseaux et constellations multi-GNSS en Europe pour imager l'ionosphère pendant le prochain maximum solaire en 2012 (Galileo et GLONASS devraient être complètement opérationnels, Full Operational Capability).
- Détermination d'une zone d'étude:
 - à basse altitude : -10° à 30° en longitude, 35° à 60° en latitude
 - à haute altitude : -30° à 45° en longitude, 30° à 70° en latitude
 - ⇒ Connaissance suffisante par rapport à la répartition des signaux GNSS au sein de l'ionosphère en Europe, pour développer l'inversion tomographique.