A diagram of the Galileo satellite constellation showing multiple satellites in various orbits around the Earth. The Earth is shown in the center, and the satellites are represented by small icons with solar panels, connected by lines to their respective orbits.

Modélisation de l'ionosphère pour les utilisateurs Galileo simple-fréquence

Benoît Bidaine

Aspirant F.R.S.-FNRS

Université de Liège (Unité de Géomatique)

11 mai 2009

Journées de Géomatique Liège-Montpellier-Sherbrooke 2009

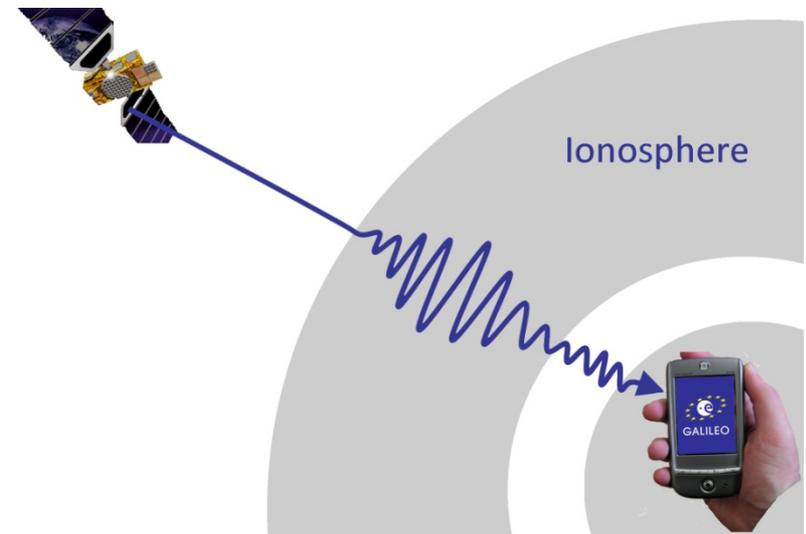
(Liège, Belgique)



Le GPS est de plus en plus utilisé de nos jours!



C'est pourquoi l'Europe lance Galileo!



L'ionosphère doit être modélisée
pour les récepteurs Galileo
simple-fréquence.

1. Galileo

L'ionosphère doit être modélisée
pour les récepteurs Galileo
simple-fréquence.

1. Galileo

2. Ionosphère

L'ionosphère doit être modélisée
pour les récepteurs Galileo
simple-fréquence.

1. Galileo

2. Ionosphère

3. Influence

L'ionosphère doit être modélisée
pour les récepteurs Galileo
simple-fréquence.

1. Galileo
2. Ionosphère
3. Influence
4. Modélisation



1. Galileo

2. Ionosphère

3. Influence

4. Modélisation

1. Galileo

Galileo permettra différents types d'applications grâce à son infrastructure remarquable.

- Segment spatial : **30 satellites** transmettant des signaux sur 3 fréquences
 - Segment sol : stations collectant des mesures et générant les informations à transmettre
 - 5 services dont **Open Service**
- Utilisation la plus courante simple-fréquence

1. Galileo

Galileo présente de nombreux avantages.

- Système **civil**
- **Interopérabilité** : utilisation conjointe des satellites GPS et Galileo
- Précision garantie : signal d'**intégrité** fourni

1. Galileo

Son développement en cours
s'achèvera en 2014.

- 2 satellites expérimentaux en orbite :
GIOVE-A en décembre 2005 et GIOVE-B en avril 2008
- Budget de 3,4 M€ dégagé en juillet 2007
- Conclusion des contrats pour le déploiement
à l'été 2009
- Phase de validation en orbite (IOV) :
4 satellites en 2010
- Déploiement complet (FOC) :
26 satellites supplémentaires d'ici 2014



1. Galileo

2. Ionosphère

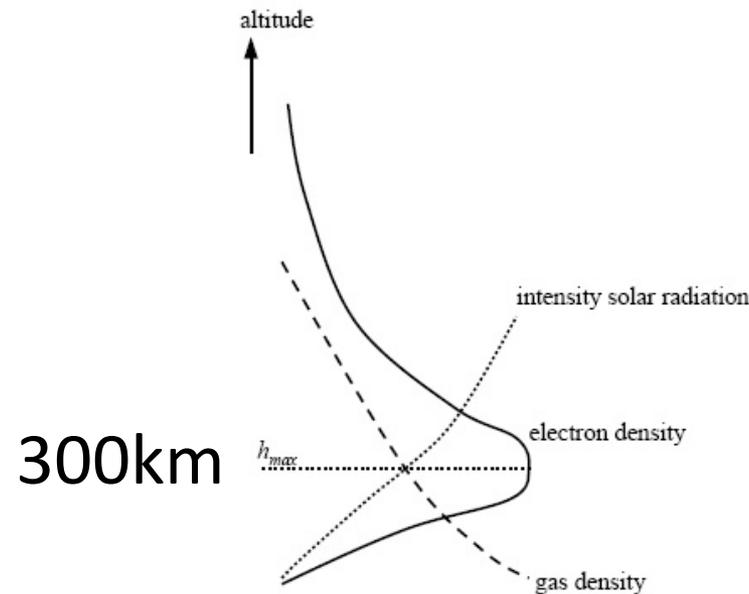
3. Influence

4. Modélisation

2. Ionosphère

L'atmosphère est ionisée par le rayonnement solaire.

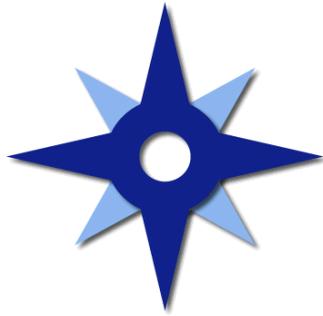
- Couche comprenant une certaine densité d'électrons



- Intégrale (verticale ou oblique) : **TEC**
→ 1 **TECu** = 10^{16} el. m^{-2} ~ 0.16 m (L1)

2. Ionosphère

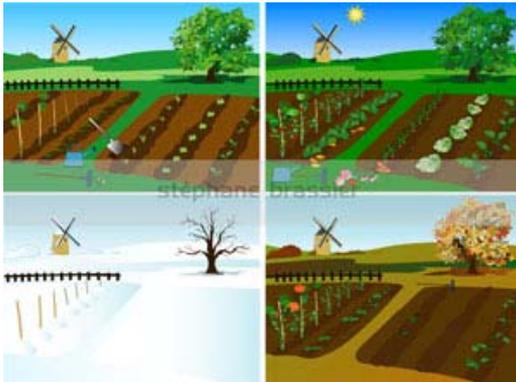
L'influence du rayonnement solaire suit certaines variables.



→ lat, long



→ UT



→ mth



→ F10.7/R

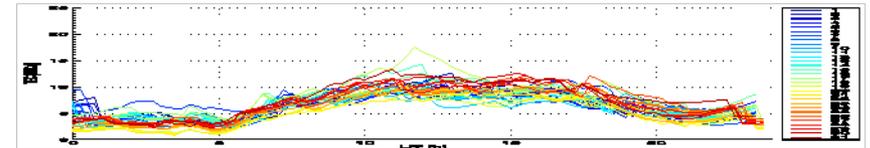
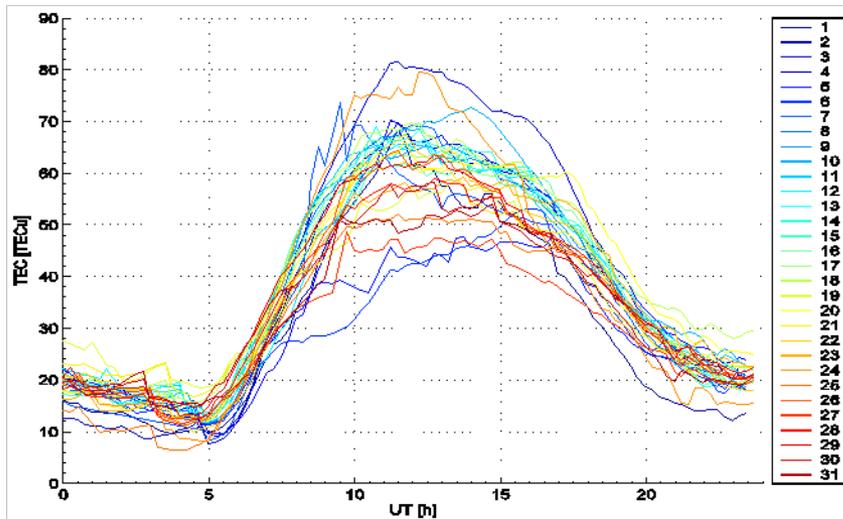
2. Ionosphère

L'ionosphère suit l'évolution temporelle du rayonnement solaire.

Janvier 2002

Bruxelles

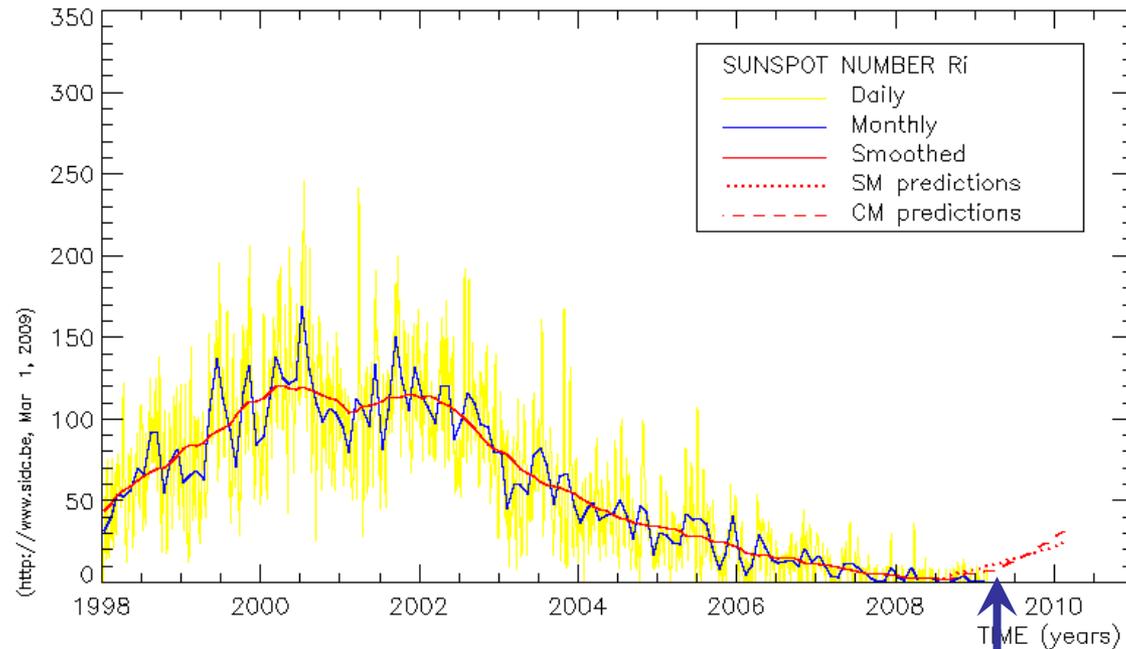
Janvier 2006



- Variation au cours de la journée
suivant une médiane mensuelle
- Variation saisonnière
- Variation en fonction de l'activité solaire
- Ordre de grandeur du TEC vertical : 60 TECu \rightarrow 10m

2. Ionosphère

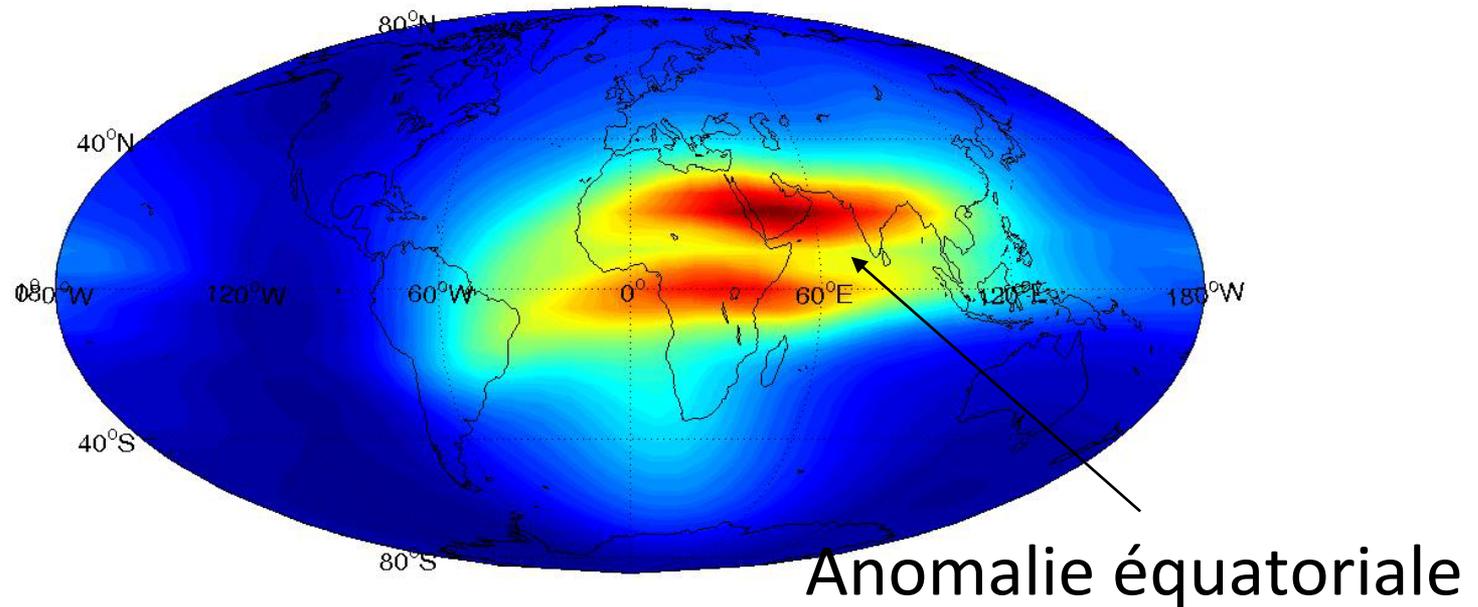
L'ionosphère suit l'évolution temporelle du rayonnement solaire.



- Minimum d'activité solaire
- Galileo opérationnel au prochain maximum

2. Ionosphère

L'ionosphère suit la forme du champ magnétique terrestre.



1. Galileo

2. Ionosphère

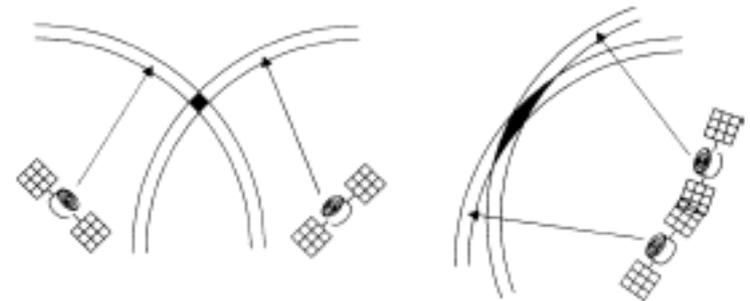
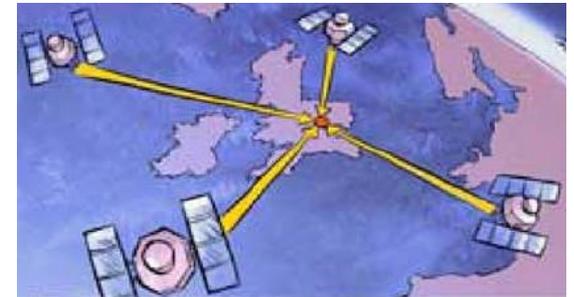
3. Influence

4. Modélisation

2. Influence

Le positionnement simple-fréquence exploite des mesures de temps.

- Distance satellite-récepteur =
temps de parcours * vitesse de la lumière
- Position par **trilatération**
(+ synchronisation)
→ minimum 4 satellites
- **Précision** =
combinaison délais
et géométrie (DOP)



2. Influence

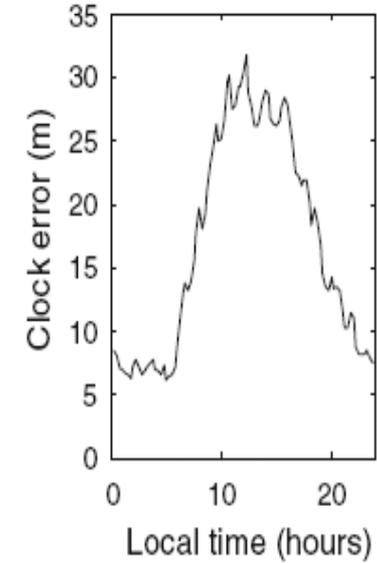
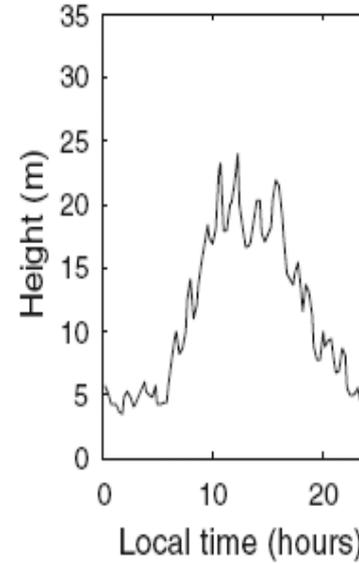
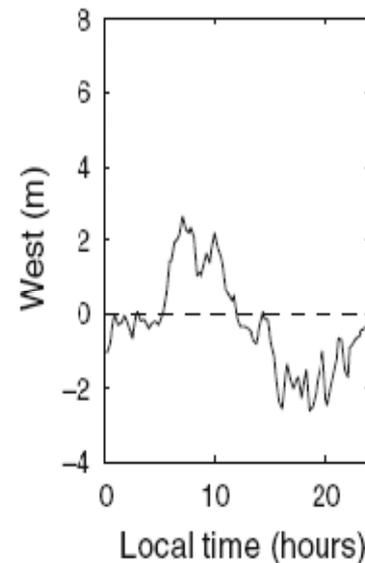
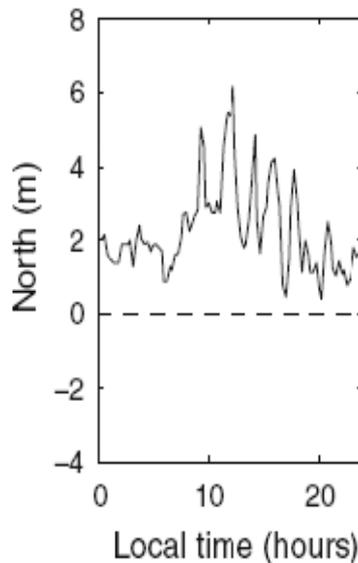
Le délai ionosphérique dépend du TEC et de la fréquence.

- Délai ionosphérique = différence entre **temps de parcours** du signal dans l'ionosphère et dans le vide
- Ionosphère **ionisée et dispersive**
 - Erreur ionosphérique : $I = \frac{40.3}{f^2} sTEC$
 - Utilisation de **plusieurs fréquences** pour éliminer ou mesurer l'erreur ionosphérique
 - TEC à **modéliser** pour les utilisateurs simple fréquence

3. Influence

Il se traduit en coordonnées en fonction de la géométrie.

Bruxelles, mars 2002

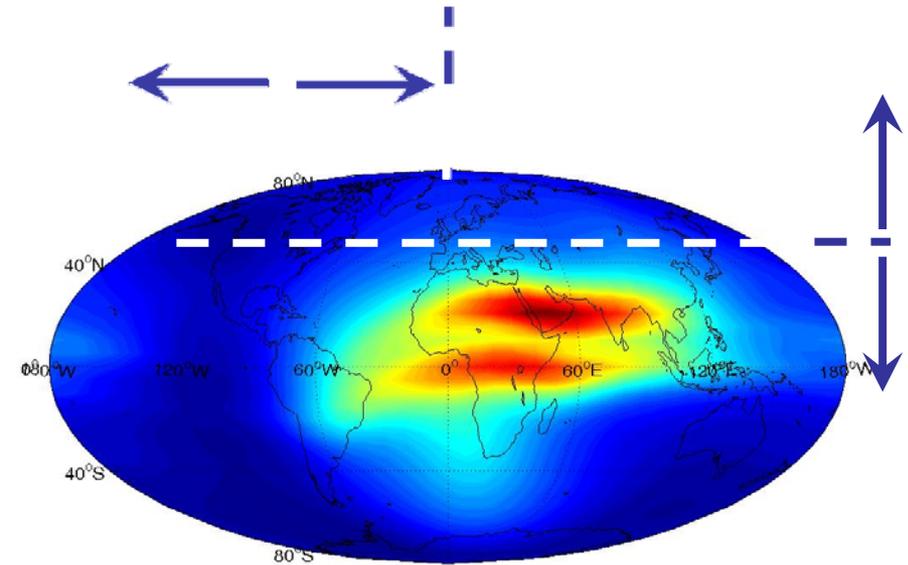
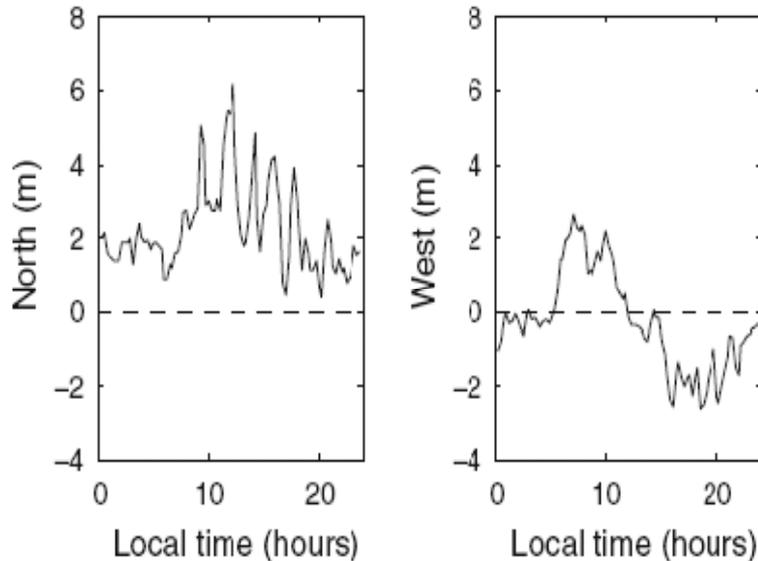


- Erreur non-aléatoire de **plusieurs mètres**

2. Influence

Il se traduit en coordonnées en fonction de la géométrie.

Bruxelles, mars 2002

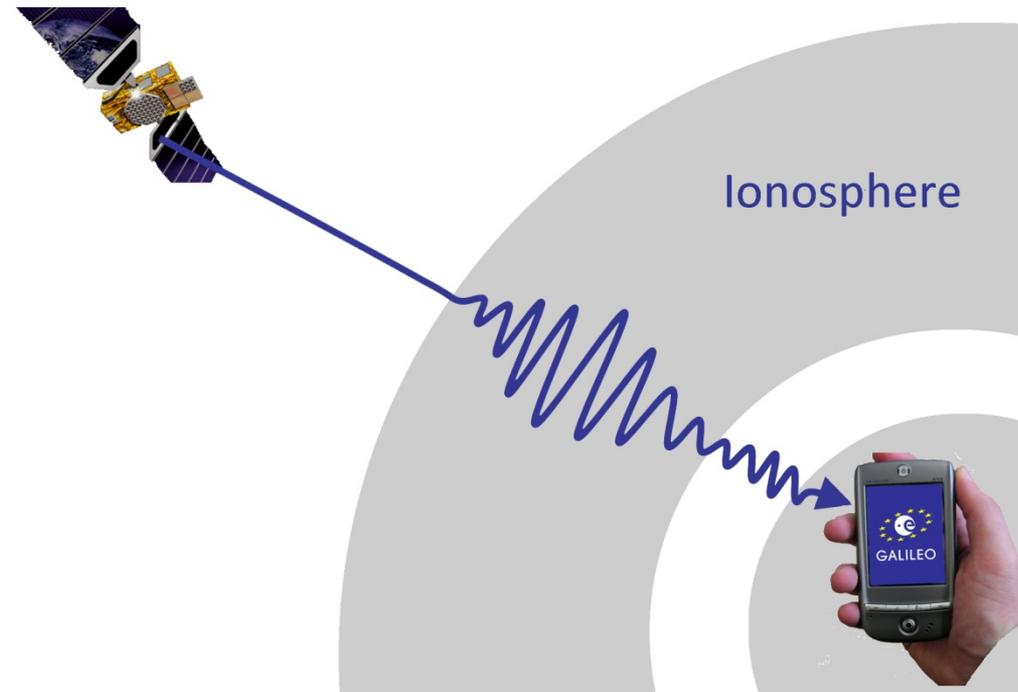


- Erreur non-aléatoire de plusieurs mètres
- Influence des gradients de TEC
- Oscillations dues à l'évolution de la géométrie

1. Galileo
2. Ionosphère
3. Influence
4. Modélisation

4. Modélisation

Nous devons modéliser le TEC pour un récepteur et un satellite donnés.

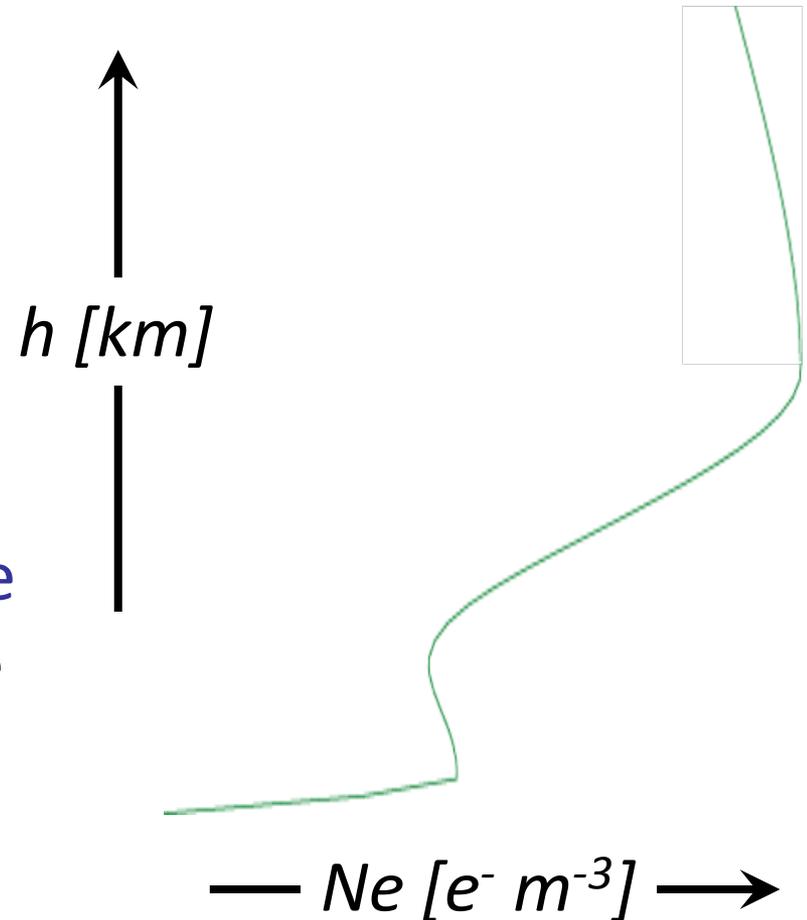


$$I = \frac{40.3}{f^2} sTEC \quad \rightarrow \quad sTEC ?$$

4. Modélisation

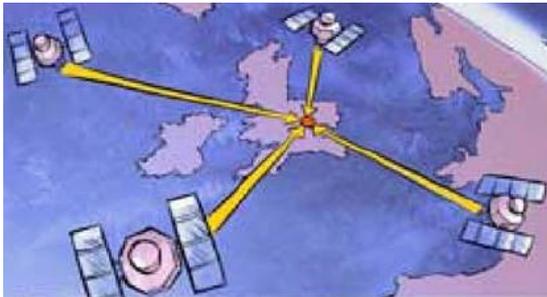
NeQuick est un « profileur » empirique.

- **Output** = Ne
 - TEC avec intégration
- **Input** = variables ionosphériques
 - Utilisation d'un **flux solaire effectif** A_z comme paramètre d'optimisation



4. Modélisation

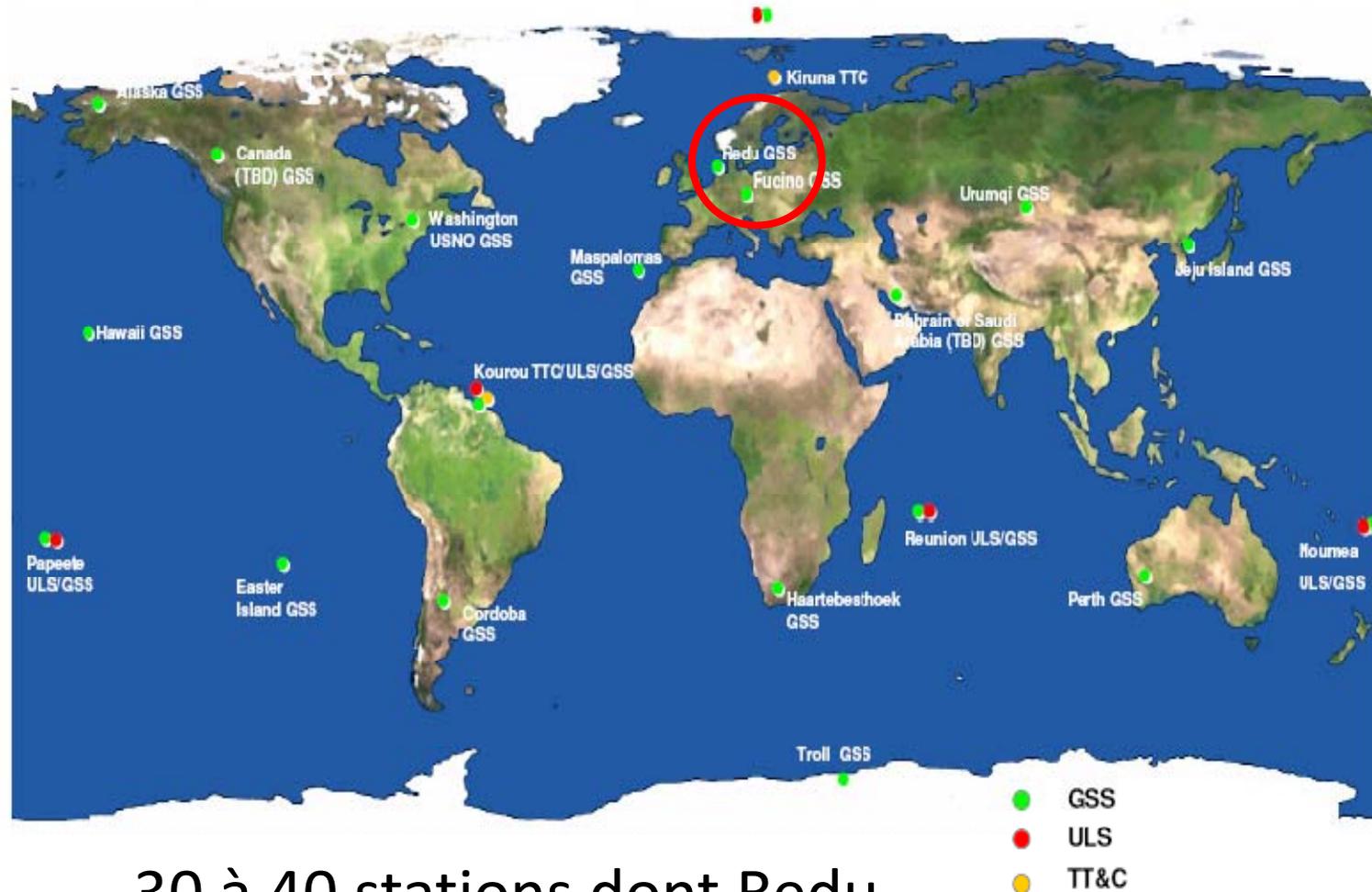
Les récepteurs Galileo utiliseront des informations transmises par Galileo.



Mesurer
sTEC

4. Modélisation

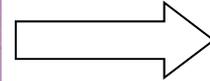
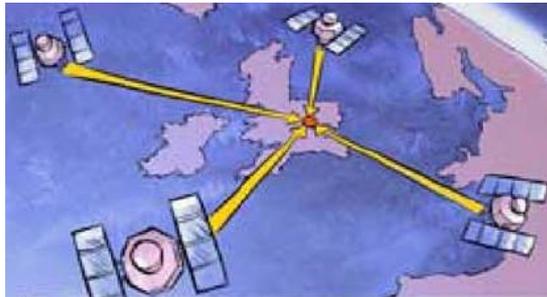
Le segment sol du système effectuera des mesures de TEC.



30 à 40 stations dont Redu

4. Modélisation

Les récepteurs Galileo utiliseront des informations transmises par Galileo.



Optimiser
Az

Mesurer
sTEC

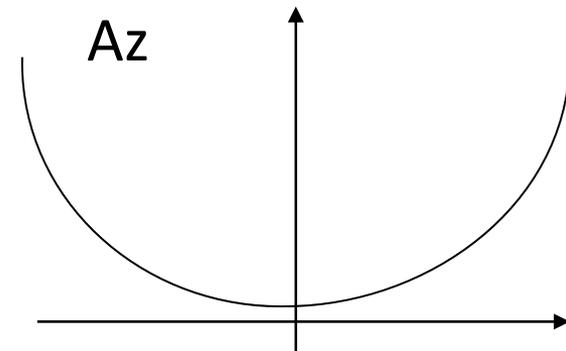
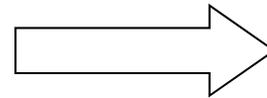
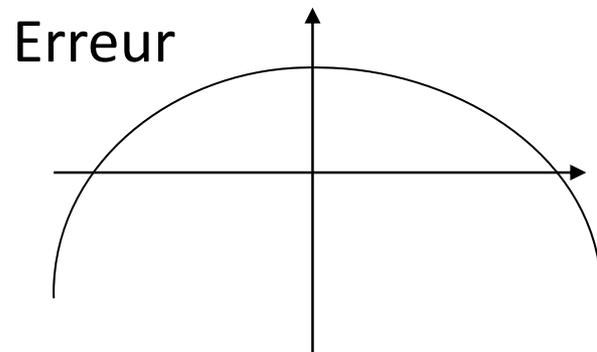
4. Modélisation

Une procédure d'optimisation fournira l'information à transmettre.

- 1 valeur de Az par station et **par jour**
- Erreur de modélisation du TEC dépendant principalement de la **latitude** (modip)

→ ajustement **parabolique** :

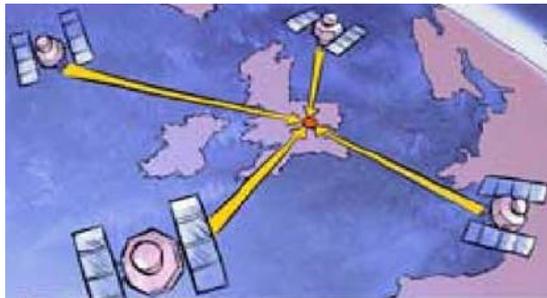
$$Az = a_0 + a_1 \mu + a_2 \mu^2$$



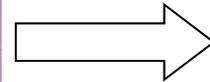
- **3 paramètres** intégrés au message de navigation (8 pour le GPS)

4. Modélisation

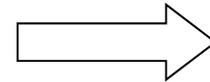
Les récepteurs Galileo utiliseront des informations transmises par Galileo.



Mesurer
sTEC



Optimiser
Az



Utiliser
NeQuick

→ correction de 70% RMS

L'ionosphère doit être modélisée pour les récepteurs Galileo simple-fréquence.

- Variables : temps, lieu, activité solaire
- Influence sur la position
à travers la géométrie
- Modélisation utilisant
 - un modèle empirique simple,
 - des données récentes
 - et un algorithme d'optimisation

L'ionosphère reste un challenge pour Galileo...

- Mesure du TEC triple-fréquence
 - Influence des perturbations ionosphériques sur le positionnement haute-précision
- Développement de services pour les utilisateurs

Collaborations :

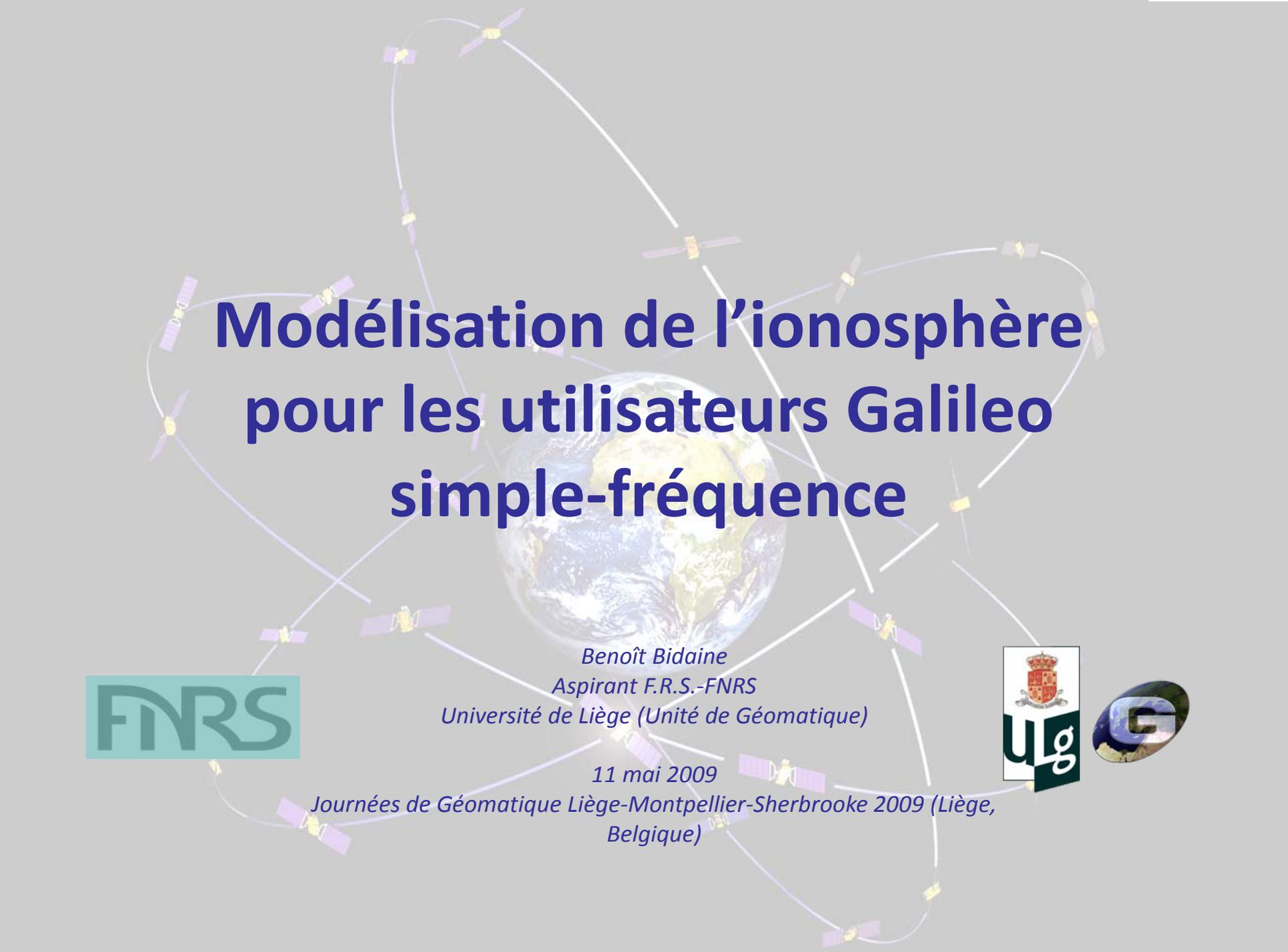


Et vous ? Comment envisagez-vous le futur avec Galileo ?



12



A diagram of the Galileo satellite constellation. It features a central Earth globe with several satellite orbits around it. The satellites are represented by small icons with solar panels, connected by lines to their respective orbits. The background is a light gray.

Modélisation de l'ionosphère pour les utilisateurs Galileo simple-fréquence

Benoît Bidaine

Aspirant F.R.S.-FNRS

Université de Liège (Unité de Géomatique)

11 mai 2009

*Journées de Géomatique Liège-Montpellier-Sherbrooke 2009 (Liège,
Belgique)*

