

Modélisation de l'ionosphère pour les utilisateurs Galileo simple fréquence

Benoît Bidaine

Aspirant F.R.S.-FNRS

Université de Liège (Unité de Géomatique)

21 janvier 2010

*Centre Géosciences – 1^{ère} Journée des Doctorants
(Liège, Belgique)*

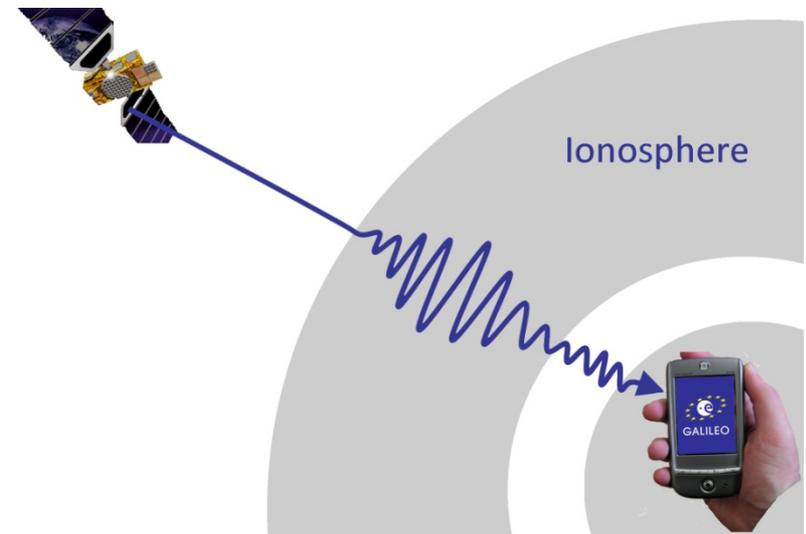
fnrs
LA LIBERTÉ DE CHERCHER



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



C'est pourquoi l'Europe lance Galileo!



L'ionosphère reste un challenge pour les GNSS.

- Utilisation de signaux électromagnétiques
 - Propagation dans un milieu matériel
 - vitesse différente de celle de la lumière
- Elimination de l'effet ionosphérique en utilisant plusieurs fréquences
- Comment faire avec une seule fréquence ?

Les récepteurs Galileo
simple fréquence atténueront
l'effet ionosphérique en le modélisant.

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 en cours
- Phase de validation en orbite (IOV) :
4 satellites fin 2010, début 2011
- Déploiement complet (FOC) :
26 satellites supplémentaires d'ici 2014

1. Galileo

2. Ionosphère

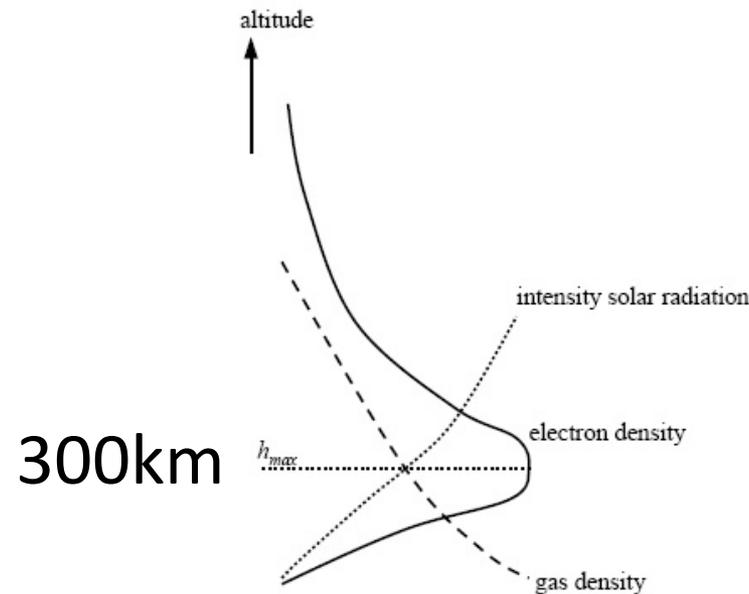
3. Influence

4. Modélisation

2. Ionosphère

L'atmosphère est ionisée par le rayonnement solaire.

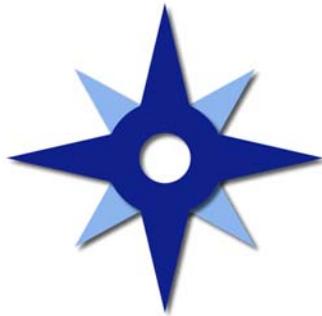
- Couche comprenant une certaine densité d'électrons



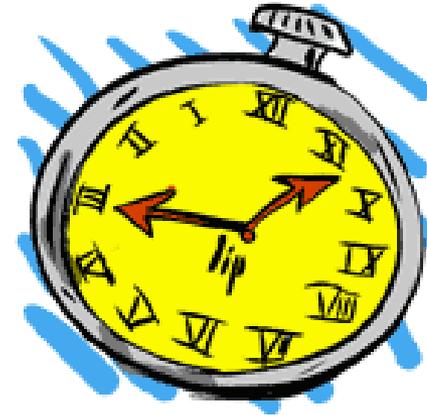
- Intégrale (verticale ou oblique) : **TEC**
→ 1 **TECu** = 10^{16} el. m⁻² ~ 0.16 m (L1)

2. Ionosphère

L'influence du rayonnement solaire suit certaines variables.



→ lat, long



→ UT



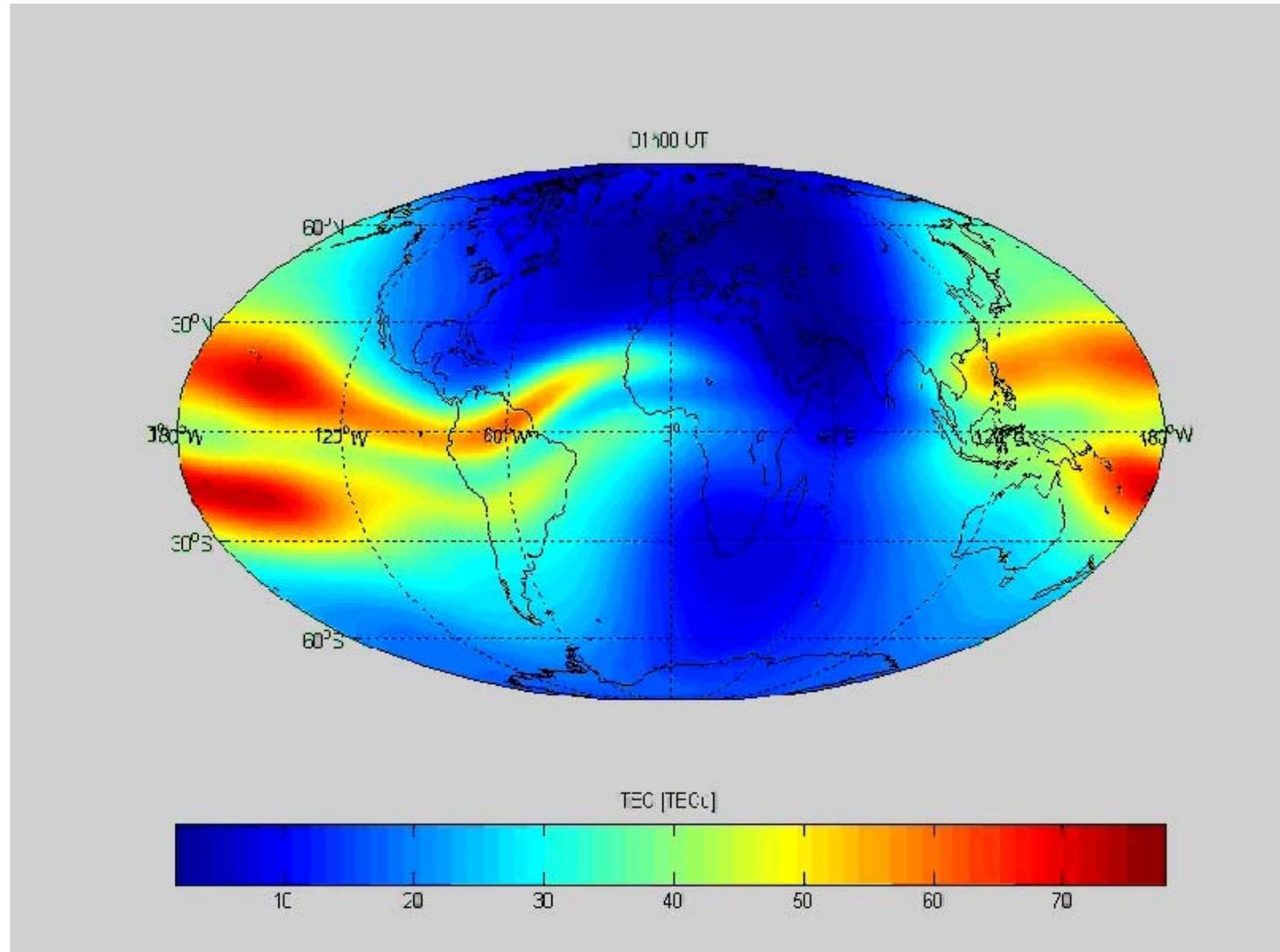
→ mth



→ F10.7/R

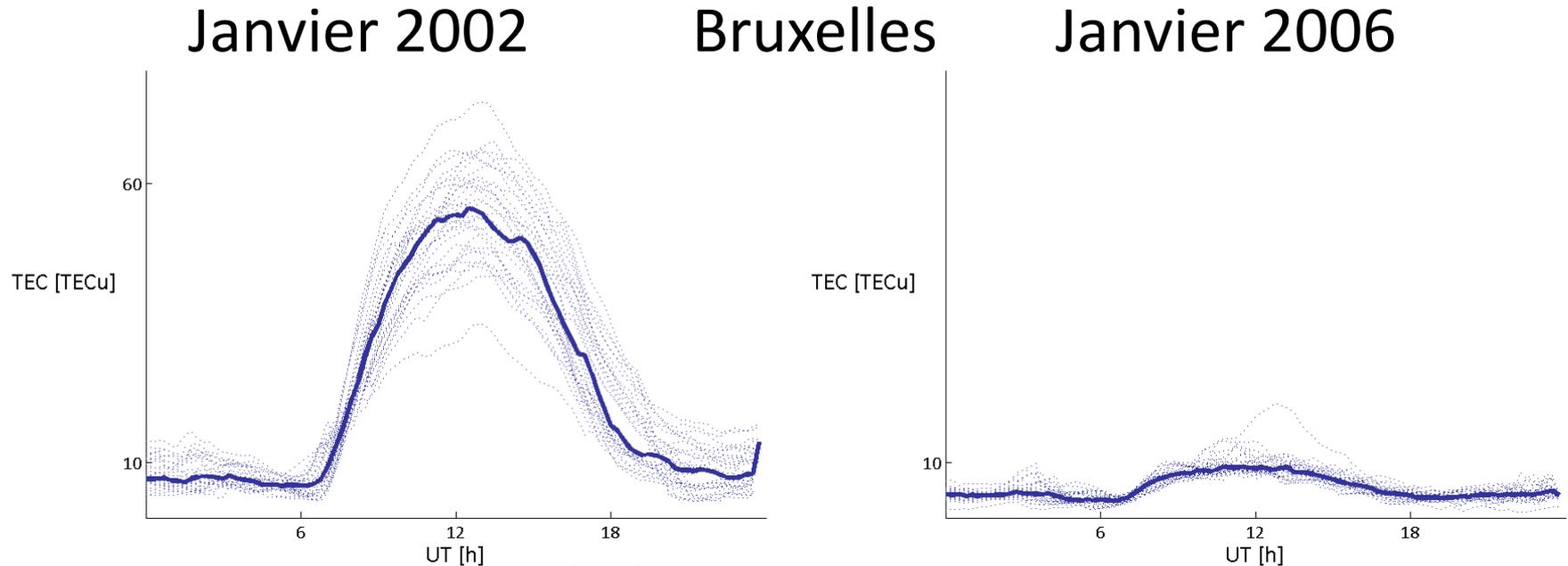
2. Ionosphère

L'ionosphère suit la forme du champ magnétique terrestre.



2. Ionosphère

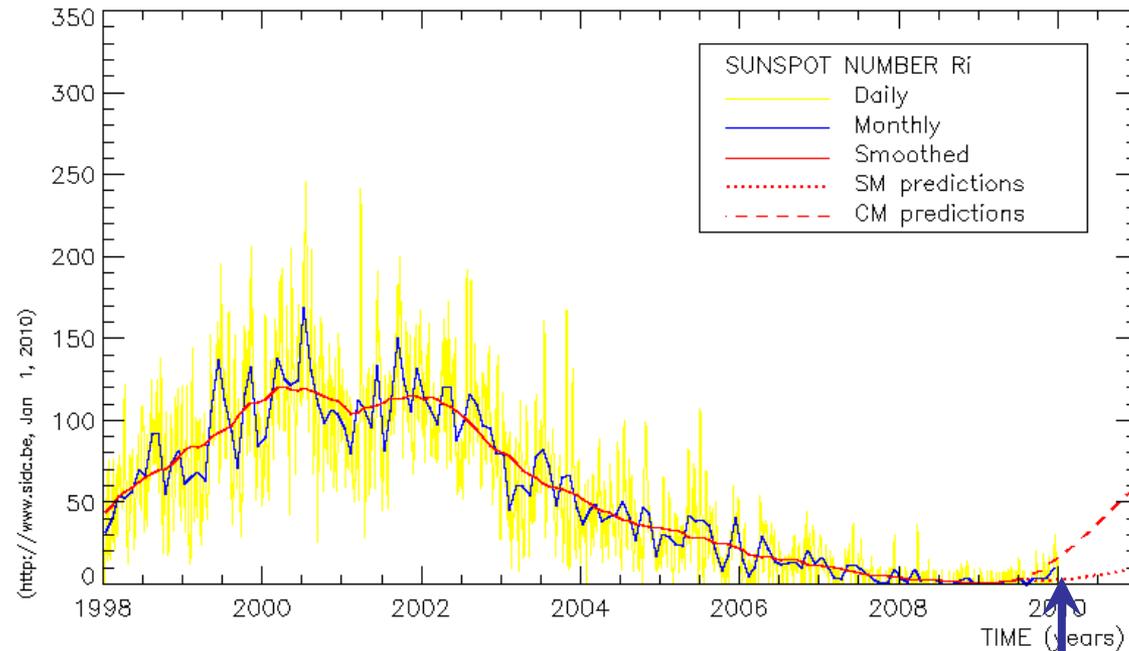
L'ionosphère suit l'évolution temporelle du rayonnement solaire.



- Variation au cours de la journée
→ différences journalières autour d'une médiane mensuelle
- Variation saisonnière
- Variation en fonction de l'activité solaire
- Ordre de grandeur du TEC vertical : 60 TECu → 10m

2. Ionosphère

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



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

1. Galileo

2. Ionosphère

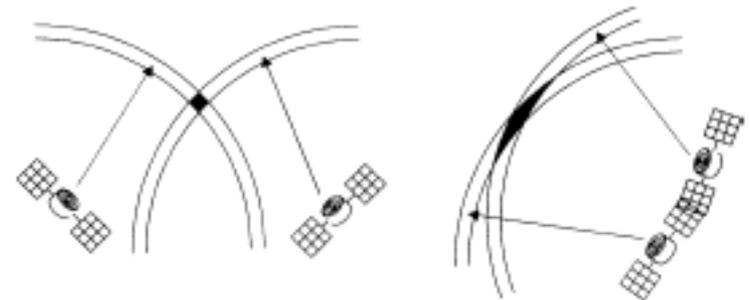
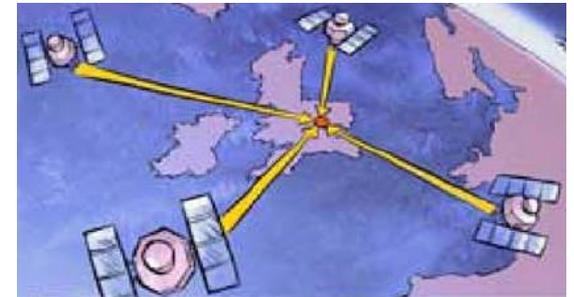
3. Influence

4. Modélisation

3. 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)



3. Influence

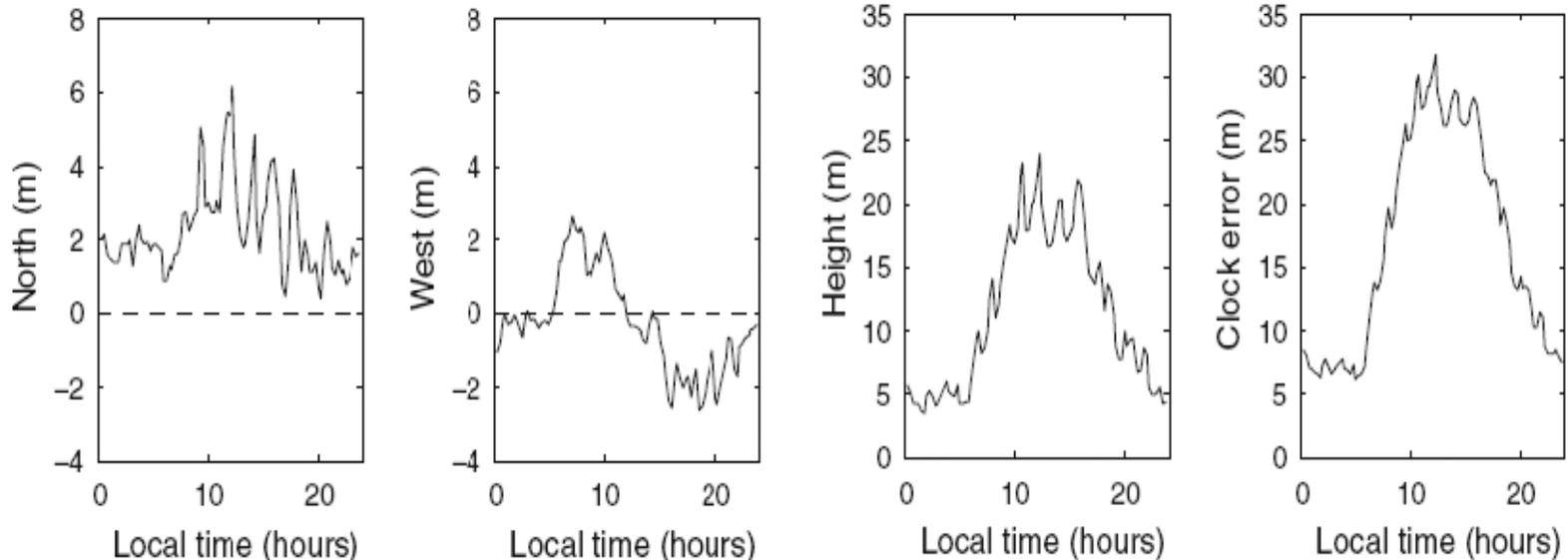
Le délai ionosphérique dépend du TEC et de la fréquence.

- 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

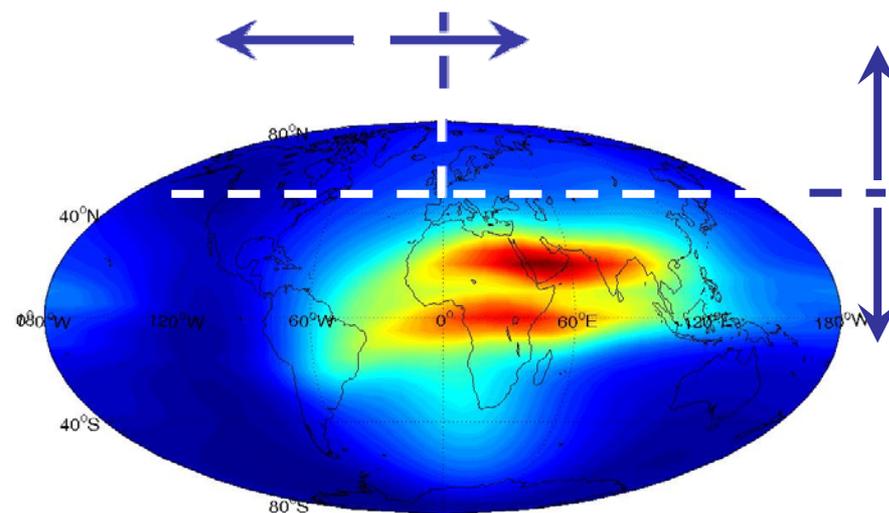
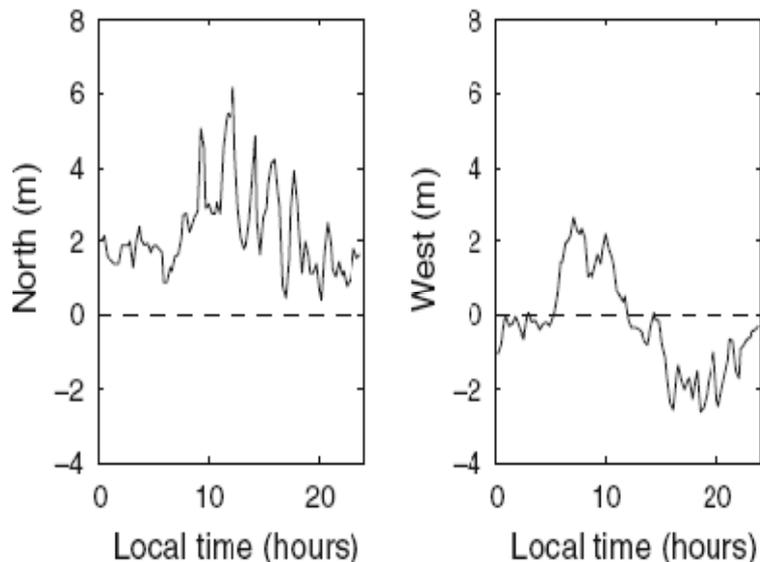


- Erreur non-aléatoire de **plusieurs mètres**
- **Oscillations** dues à l'évolution de la géométrie

3. Influence

Il se traduit en coordonnées en fonction de la géométrie.

Bruxelles, mars 2002



- Influence des **gradients de TEC**

1. Galileo

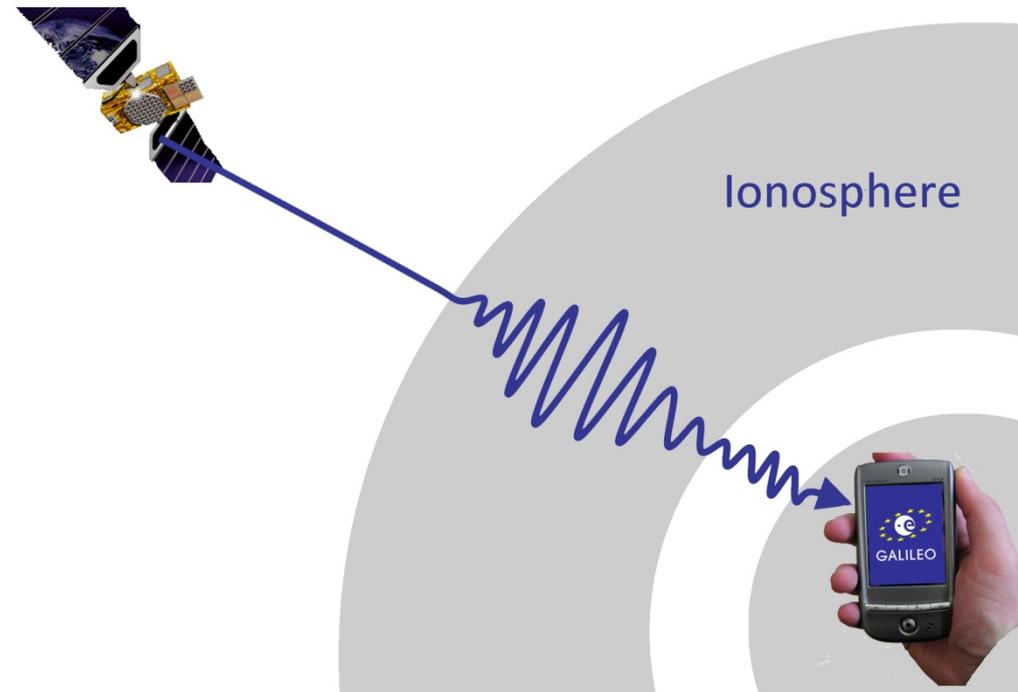
2. Ionosphère

3. Influence

4. Modélisation

4. Modélisation

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

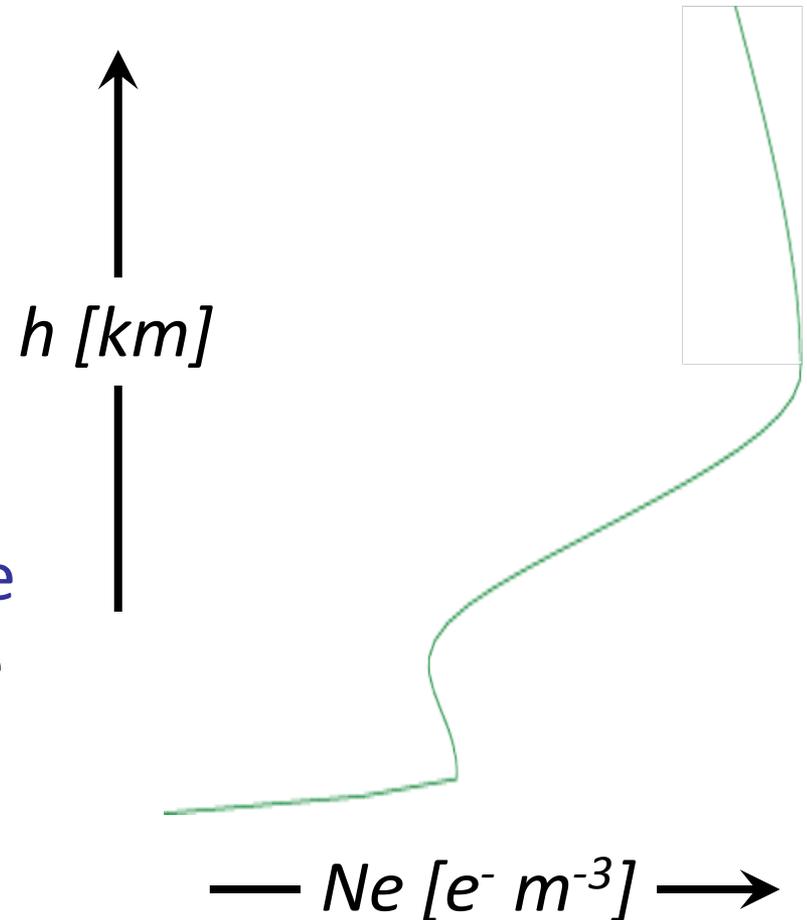


$$I = \frac{40.3}{f^2} sTEC \quad \rightarrow \quad sTEC ?$$

4. Modélisation

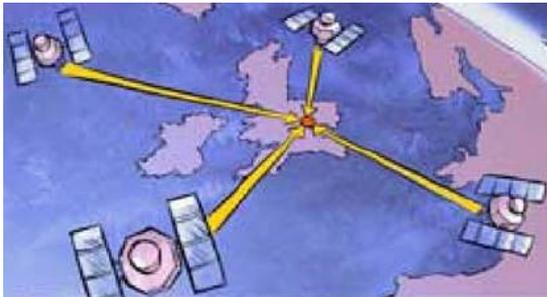
NeQuick est un « profileur » empirique.

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



4. Modélisation

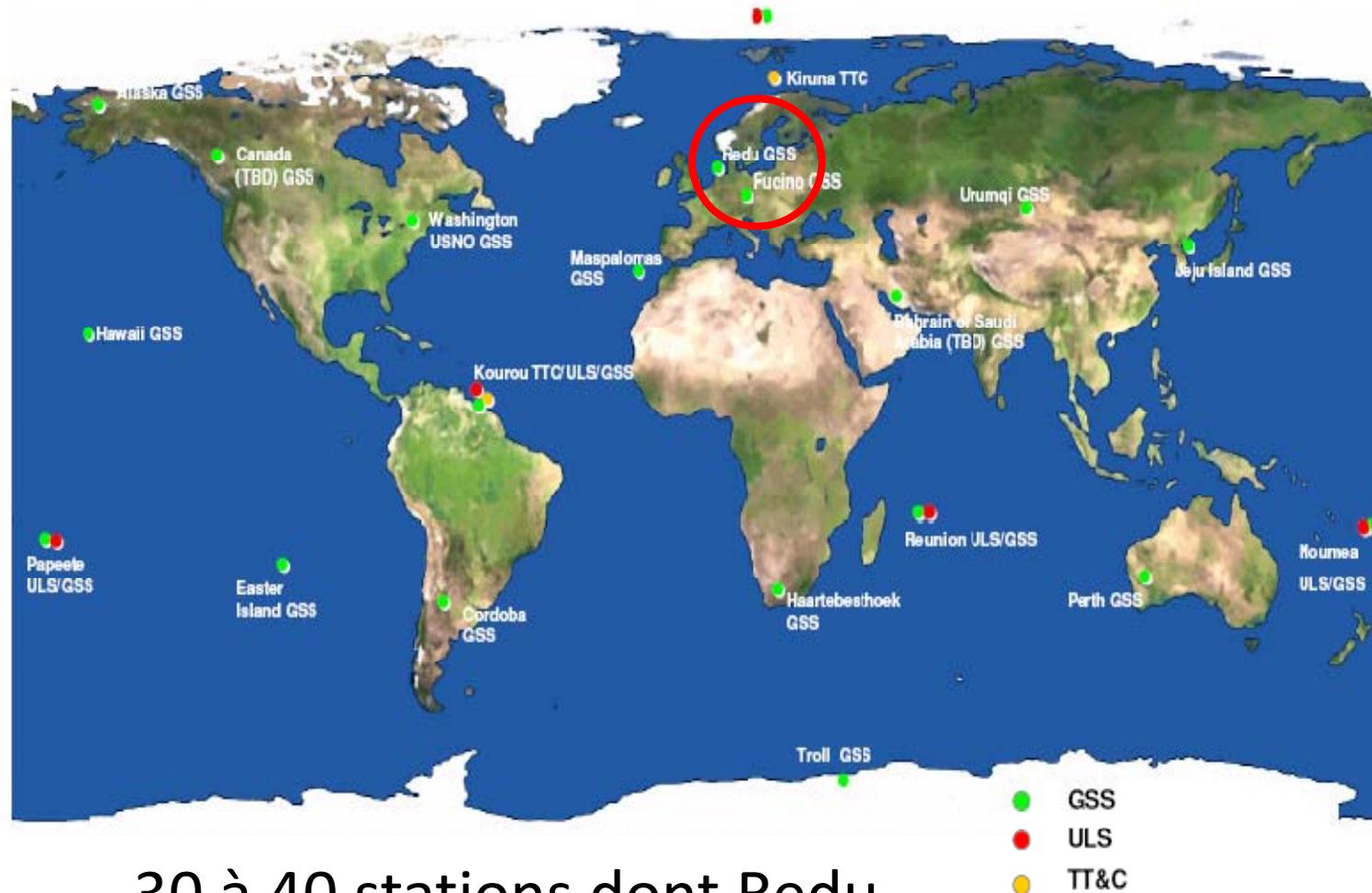
Les récepteurs Galileo utiliseront des informations transmises par Galileo.



Mesurer
sTEC

4. Modélisation

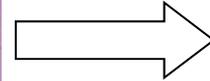
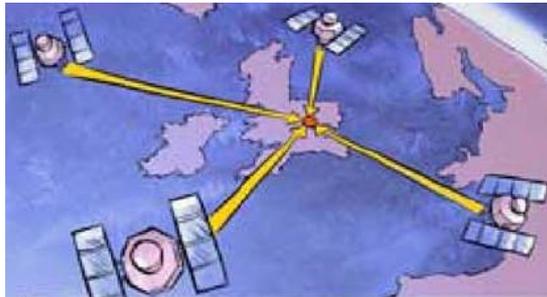
Le segment sol du système effectuera des mesures de TEC.



30 à 40 stations dont Redu

4. Modélisation

Les récepteurs Galileo utiliseront des informations transmises par Galileo.



Optimiser
Az

Mesurer
sTEC

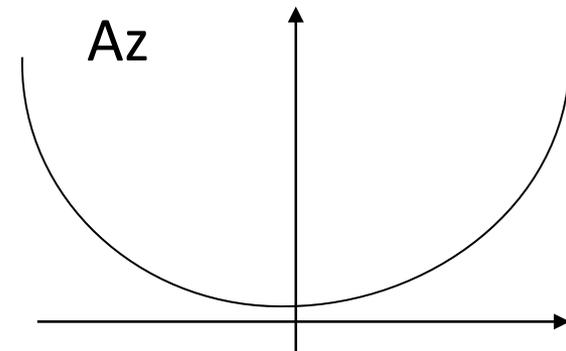
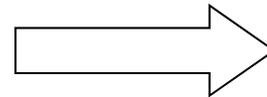
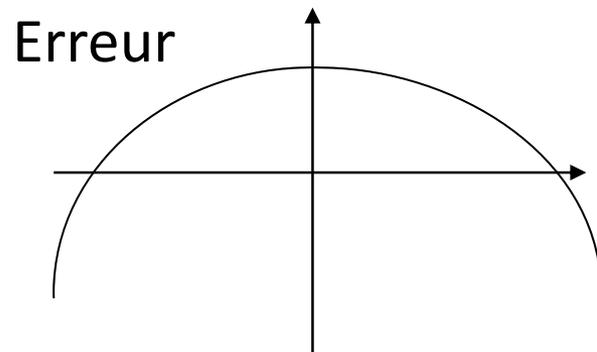
4. Modélisation

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** :

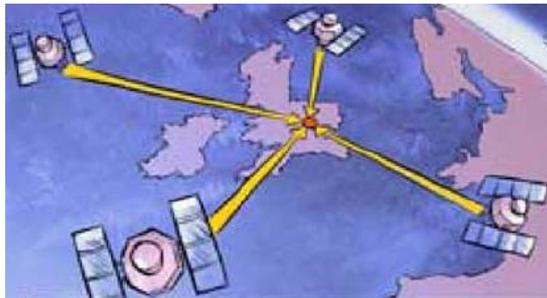
$$Az = a_0 + a_1 \mu + a_2 \mu^2$$



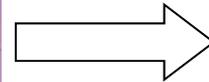
- **3 paramètres** intégrés au message de navigation (8 pour le GPS)

4. Modélisation

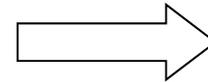
Les récepteurs Galileo utiliseront des informations transmises par Galileo.



Mesurer
sTEC



Optimiser
Az



Utiliser
NeQuick

→ correction de 70% RMS

Les récepteurs Galileo
simple fréquence atténueront
l'effet ionosphérique en le modélisant.

- 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 les GNSS.

- Amélioration de son **observation** grâce aux nouveaux signaux
→ ex mesure du TEC triple fréquence
 - Prise en compte de son influence sur le **positionnement**
→ ex alarmes RTK
- Recherche en cours grâce à 2 récepteurs déployés en novembre 2009 dans le cadre du **projet SWANS**

Collaborations :

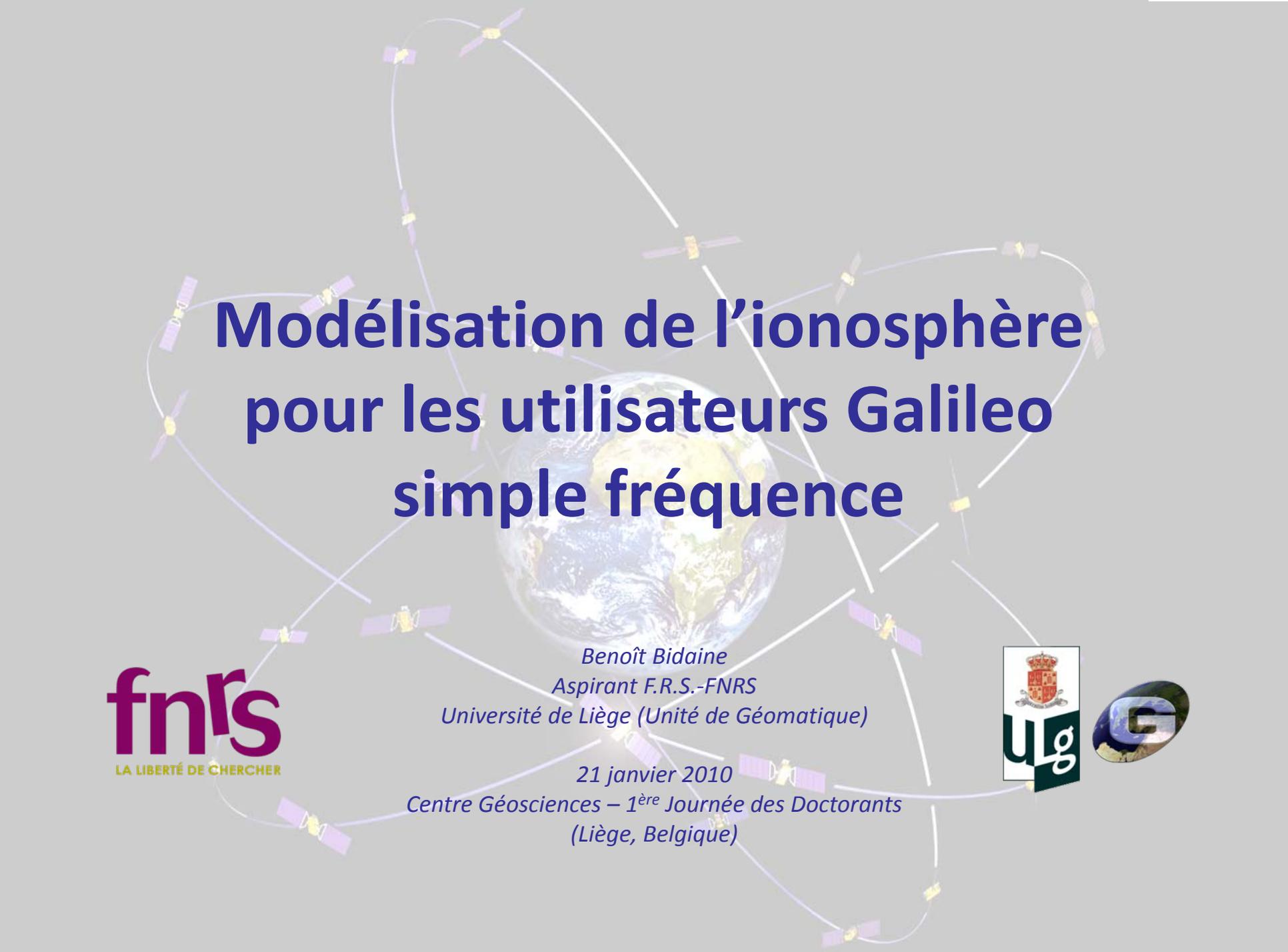


Et vous ? Comment envisagez-vous le futur avec Galileo ?



12





Modélisation de l'ionosphère pour les utilisateurs Galileo simple fréquence

Benoît Bidaine

Aspirant F.R.S.-FNRS

Université de Liège (Unité de Géomatique)

21 janvier 2010

*Centre Géosciences – 1^{ère} Journée des Doctorants
(Liège, Belgique)*

fnrs
LA LIBERTÉ DE CHERCHER



Bibliographie

- Arbesser-Rastburg, B. "The Galileo Single Frequency Ionospheric Correction Algorithm". Communication orale à la *Third European Space Weather Week*, Bruxelles, 2006.
- Bidaine, B. *Ionosphere Crossing of Galileo Signals*. Liège : ULg, 2006. Travail de fin d'études.
<http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/682>
- Bidaine, B., Warnant, R. "Assessment of the NeQuick model at mid-latitudes using GNSS TEC and ionosonde data". In *Recent Advances in Space Weather Monitoring, Modelling and Forecasting. Adv. Space Res.*, in press. doi: [10.1016/j.asr.2009.10.010](https://doi.org/10.1016/j.asr.2009.10.010)
- Gende, M., Mohíno Harris, E., Brunini, C., Radicella, S. M., Herraiz, M. "Ionospheric biases correction for coordinates derived from GPS single point positioning". *Ann. Geophys.*, 2005, Vol. 48, N°3, p. 439-444.

Bibliographie

- Klobuchar, J. A., "Ionospheric time-delay algorithm for single-frequency GPS users", IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., 1987, AES-23 (3), p. 325-331.
- Mohino, E. "Understanding the role of the ionospheric delay in single-point single-epoch GPS coordinates". J. Geod., 2008, Vol. 82, p. 31-45. doi: [10.1007/s00190-007-0155-z](https://doi.org/10.1007/s00190-007-0155-z)
- Thales Alenia Space. Galileo. La boussole du futur. http://www.thalesaleniaspace-media.com/Galileo_fr/index.html