GPS pour la météo :

Comment contraindre de façon optimale l'évolution temporelle des délais troposphérique humides ?

Projet recherche de Maxime Quenon et Patrick Joanblanq
conduit par Samuel Nahmani et Paul Rebischung

ENSG Géomatique
École nationale des sciences géographiques

Mise en contexte:

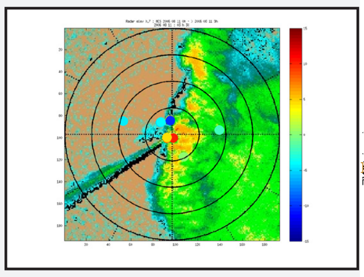
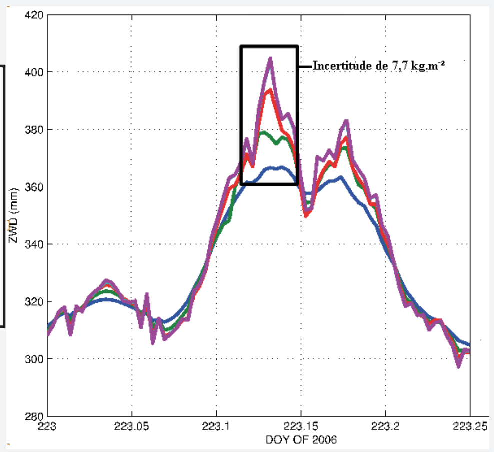


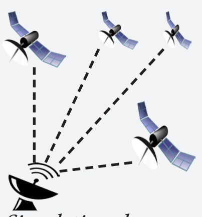
Figure 2: MCS en Afrique vu par un radar de pluie



En echo à la COP 21 et au programme européen COST, il existe de nombreux projets dans le domaine climatique comme, par exemple, le E-GVAP qui prouve l'efficacité de l'information GPS dans le domaine prévisionnel. Ce programme a montré que la précision du GPS pour détecter la quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère est supérieure à celle d'autres méthodes. Cependant, il subsite une imprécision en cas d'événements de forte intensité. Selon les méthodes, une incertitude de l'ordre de 50 mm dans le délai troposphérique apparait. Les contraintes de ces méthodes de prévision, basées sur des marches aléatoires, peuvent-elles être déterminées et non plus arbitraires?

Figure 1: Délais humides au zénith (ZWD) avec différentes contraites de modèle troposphérique de l'événement

Simulation et estimation GPS par moindres carrés:



Simulation des distances géométriques station-satellites

\+ *Décalage d'horloge*

\+ *Bruit sur les observations*

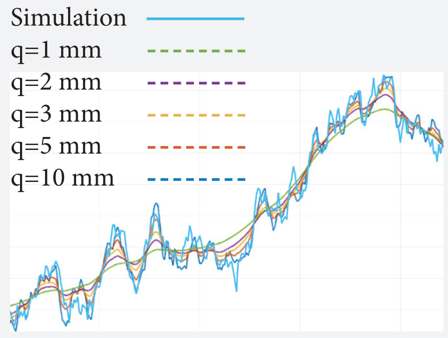
\+ *ZWD par marche aléatoire*

$$d_{sta}^{sat} = \sqrt{(X_{sat}\text{-}X_{sta})^2 + (Y_{sat}\text{-}Y_{sta})^2 + (Z_{sat}\text{-}Z_{sta})^2} + c\delta t + ZWD.f(e) + résidus$$

avec $(XYZ)_{sta}$ coordonnées de la station
$(XYZ)_{sat}$ coordonnées du satellite
$c\delta t$ décalage d'horloge
f(e) fonction de projection dépendant de l'élévation e du satellite
ZWD délai troposphérique humide au zénith tel que :

$ZWD(t2)=ZWD(t1)+\varepsilon$ où $\varepsilon \sim N(0,q^2\Delta t)$

avec q le paramètre de la marche aléatoire



Méthode de sélection bayesienne:

Soit:
- Y vecteur des observations
- σ^2 variance des observations
- σ_c^2 variance des contraintes
- C matrice des contraintes
- n nombre d'observations
- p matrice de poids des observations
- A matrice des observations
- $N = A^t p A$
- c nombre de contraintes
- v_c vecteur des résidus des contraintes
- v vecteur des résidus des observations
- $N_c = C^t C$

La méthode consiste à maximiser:

$$P(Y|\sigma^2,\sigma_c^2).P(\sigma^2,\sigma_c^2)$$

soit, maximiser:

$$l(\sigma^2,\sigma_c^2) = -n\ln(\sigma) - c\ln(\sigma_c) - \frac{1}{2}\ln\left|\frac{N}{\sigma^2}+\frac{N_C}{\sigma_c^2}\right| - \frac{1}{2}\frac{v^tpv}{\sigma^2} - \frac{1}{2}\frac{v_c^tv_c}{\sigma_c^2} + cte$$

La recherche de ce maximum par un fminsearch est peu robuste et peut poser des problèmes de valeurs optimales négatives.

La recherche du maximum par la dérivée de l selon σ et σ_c est plus rapide. Il faut trouver le maximum de l lorsque chaque dérivée valent 0.
Cela revient donc à calculer: $\sigma^2 = \frac{v^tpv}{n-trace(F1)}$ et $\sigma_c^2 = \frac{v_c^tv}{c-trace(F2)}$

où $F1 = (\frac{N}{\sigma^2}+\frac{N_C}{\sigma_c^2})^{-1}\frac{N}{\sigma^2}$ et $F2 = (\frac{N}{\sigma^2}+\frac{N_C}{\sigma_c^2})^{-1}\frac{N_c}{\sigma_c^2}$

Résultat et Perspective de tests:

En faisant plusieurs fois les calculs sur différentes troposphères, on se rend compte que le bruit est un facteur non négligeable dans la détermination du facteur de marche aléatoire.

Le principal test à effectuer serait de faire tourner le code sur différentes troposphères et d'en garder des éléments statistiques tels que les moyennes, les écart-types et les médianes. Par la méthode de Monte Carlo, on espère obtenir la validité du modèle.

Mode opératoire

Faire tourner le code (ici, 10 000 fois) pour déterminer les délais troposphériques à estimer avec une marche aléatoire de la simulation prise à chaque fois au hasard entre 1 mm.h$^{-1/2}$ et 3 cm.h$^{-1/2}$:

- *Par la méthode de selection bayesienne*
- *En utilisant le coefficient de Gypsi (3 à 5 mm.h$^{-1/2}$)*
- *En utilisant le coefficient de Gamit (2 cm.h$^{-1/2}$)*

Résultats attendus

La méthode de selection bayesienne serait la plus homogène comparée aux méthodes utilisées par Gamit et Gypsi.