

Dépendances spatio-temporelles des séries de positions GNSS

Clément Benoist

Clement.benoist@ign.fr

Résumé

Prise en compte des dépendances spatio-temporelles dans les séries de positions GNSS pour une meilleure détermination du mouvement des plaques tectoniques:

Les séries temporelles de positions de stations GNSS sont modélisables comme la somme d'une tendance linéaire, de signaux périodiques d'amplitudes à estimer et de fréquences fixées et de bruit. Une modélisation inappropriée du bruit peut conduire à des incertitudes irréalistes sur les vitesses estimées des stations, et donc nuire à leur interprétation géophysique.

Dans le but de tenir compte des corrélations temporelles du bruit lors de l'estimation des vitesses des stations, les paramètres de différents modèles de bruit ont été estimés par maximum de vraisemblance pour une série de positions, ce qui permettra ultérieurement de choisir le modèle de bruit le plus adapté.

Une partie ultérieure de la thèse consistera à tenir compte, lors de l'estimation des vitesses, des dépendances spatiales qui existent entre séries de stations proches.

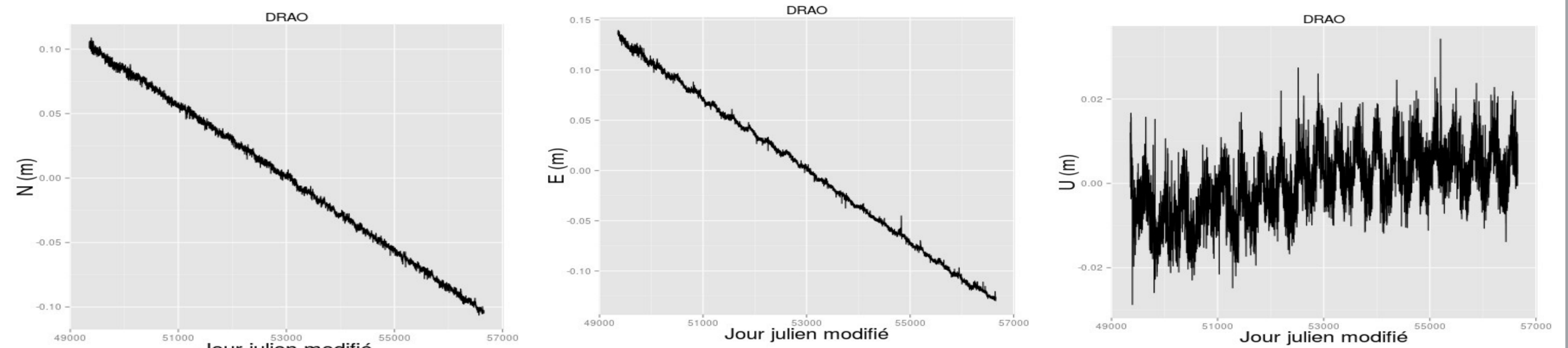
Données

Les données sont constituées de positions GNSS dans le repère local (N, E, U) [Nord, Sud, Haut] avec leur incertitudes exprimées par des écarts-types. Sont aussi indiquées les discontinuités estimées via l'indice SOLN.

Notons que des valeurs manquantes (trous) sont présentes dans la série.

Il y a une dichotomie entre les composantes horizontales E et N et la composante verticale U . Les composantes horizontales correspondent en général à une tendance linéaire bruitée alors que dans la composante verticale dominent des signaux périodiques dus à des phénomènes de surcharge.

La difficulté est concilier un traitement automatisé des données tout en tenant compte des particularités des stations.



Séries temporelles de positions de la station DRAO dans coordonnées locales (N, E, U) en fonction du jour julien modifié

Vers le débruitage

Nous considérons que les séries temporelles de positions sont la somme d'une tendance linéaire correspondant au mouvement des plaques tectoniques, de termes périodiques de fréquences fixées et d'un terme de bruit.

Nous utilisons plusieurs modèles de bruit qui peuvent s'additionner :

- bruit de loi puissance : sa densité spectrale est proportionnelle à $1/f^a$ où a est l'indice spectral
- bruit blanc : le bruit à un instant est indépendant du bruit à un autre instant, le spectre de puissance est constant en fréquence, c'est un bruit de loi puissance d'indice spectral 0.
- bruit de marche aléatoire : somme cumulée de bruits blancs, c'est un bruit de loi puissance d'indice spectral 2 ; dans le cas gaussien, on parle de mouvement brownien.
- bruit de scintillation : c'est un bruit de loi puissance d'indice spectral 1, il est fréquemment rencontré dans de nombreux domaines dont la géodésie.

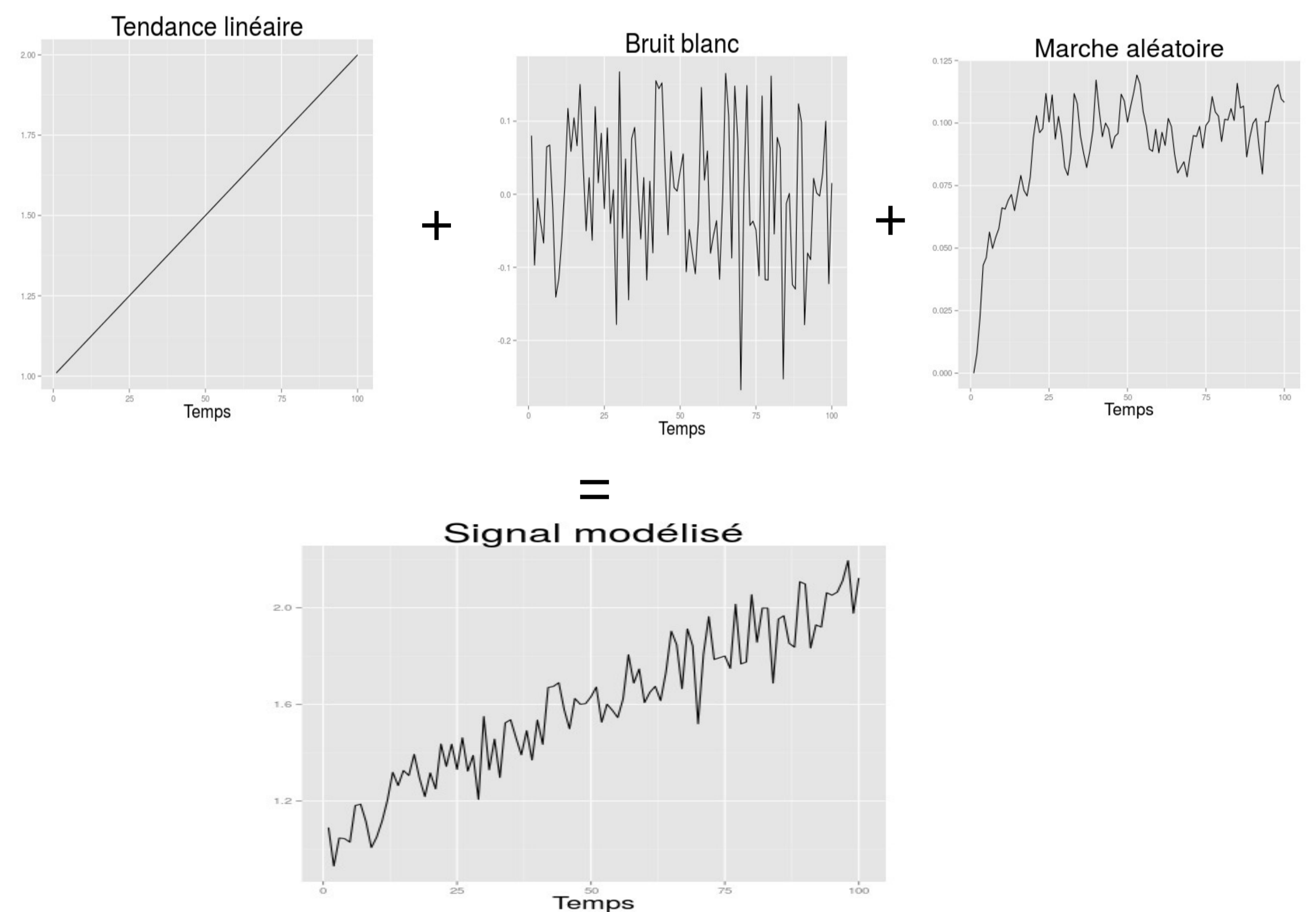
Dans les modèles, nous considérons quasi-exclusivement les versions gaussiennes de ces bruits.

En général, nous considérons dans le modèle une somme de bruit blanc et d'un ou plusieurs autres bruits.

Le débruitage s'effectue en deux étapes :

- le maximum de vraisemblance permet l'estimation des paramètres de bruit. Santamaría-Gómez et al. [2011] a comparé des modèles de bruit grâce, entre autres, au maximum de vraisemblance ; il propose des méthodes de choix de modèles pour le bruit. Bos et al. [2008] permet d'accélérer le calcul dans les séries temporelles de positions continues.
- le filtre de Kalman permet de débruiter le signal, il a comme avantage d'être simple d'un point de vue théorique, de supporter les valeurs manquantes, cette méthode est connue largement dans le monde de la recherche scientifique, elle peut être effectuée en grande dimension ; une amélioration peut être d'utiliser le lisseur de Kalman. La difficulté réside dans l'introduction d'un bruit de scintillation dans le filtre.

J'ai implémenté le maximum de vraisemblance pour quelques modèles de bruit, il me sera possible de les compléter en fonction des besoins. J'ai traité des séries réelles. Le filtre de Kalman a été testé sur des données synthétiques.



Exemple de modélisation de séries temporelles de positions GNSS

Ouvertures

Nous travaillons pour l'instant station par station. Cela ne nous permet pas d'évaluer la vitesse de la station avec précision, on ne peut inférer valablement que l'incertitude sur celle-ci. Pour l'estimation des vitesses proprement dites, il faudra travailler à l'échelle d'un réseau global de stations.

Il faudra ensuite tenir compte des discontinuités présentes dans les séries de positions dues pour la plupart à des tremblements de terre et des changements d'équipement. Néanmoins, la détection des discontinuités n'entre pas dans le sujet de ma thèse. Nous nous contenterons donc d'une liste de discontinuités prédéfinies.

Une partie ultérieure de la thèse consistera à tenir compte, non seulement des dépendances temporelles, mais aussi des dépendances spatiales qui existent entre séries de stations proches.

Applications

La connaissance précise des vitesses des stations GNSS et de leurs incertitudes est nécessaire à un certain nombre d'applications :

- détermination du mouvement relatif des plaques tectoniques
- modélisation du rebond post-glaciaire
- observation de la montée globale du niveau des mers par marégraphie ou altimétrie satellitaire

Merci à X. Collilieux, O. Jamet, L. Métivier pour leurs conseils.

Cadre de la thèse

- Commencée en 2014
- Réalisée au laboratoire LAREG (IGN)
- Direction : Z. Altamimi
- Encadrement : P. Rebischung
- École doctorale : Observatoire de Paris

Références

- Bos, M., Fernandes, R., Williams, S., & Bastos, L. (January 01, 2008). Fast error analysis of continuous GPS observations. *Journal of Geodesy*, 82, 3, 157-166.
- Santamaría-Gómez, A., Bouin, M.-N., Collilieux, X., & Wöppelmann, G. (January 01, 2011). Correlated errors in GPS position time series: Implications for velocity estimates. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 116.

Journées de la recherche de l'IGN 2015

