

**M. Kevin GOBRON**

*Mouvements verticaux du sol sur le littoral et évolution du niveau des mers*

École doctorale : Euclide  
Équipe de recherche : Littoral Environnement et Sociétés (LIENSs)  
Directeurs de thèse : Olivier DE VIRON, Michel VAN CAMP, Alain DEMOULIN

---

**Contexte :** Même si nous savons que le niveau moyen des océans augmente d'environ 3 mm/an, cette valeur n'est pas représentative du changement qui va affecter le littoral. En effet, les mouvements verticaux du littoral peuvent entraîner un *abaissement* ou une *élévation* des basses terres, venant ainsi *augmenter* ou *minimiser* l'effet de la montée des eaux. Une analyse conjointe des mouvements verticaux du sol et de l'évolution du niveau des mers est donc nécessaire à la compréhension de l'avenir de la bande littorale.

**Les objectifs :**

Puisque la bonne compréhension de l'impact de la montée des eaux sur la bande littorale requiert d'analyser à la fois les mouvements verticaux du sol et l'élévation du niveau des eaux littorales, une étape importante consiste à s'assurer de la fiabilité de ces deux données de base.

En pratique, les mouvements verticaux du sol à la côte peuvent être mesurés grâce à des techniques spatiales telles que le système de positionnement global par satellites (GNSS) (Wöppelmann et al., 2007), ou encore l'interférométrie radar à synthèse d'ouverture (Poitevin et al., 2019) (InSAR). Si ces techniques sont théoriquement sensibles à des déplacements du sol de quelques millimètres, la qualité des données est en réalité assez variable. Par exemple, des problèmes purement instrumentaux (ex : changement d'appareil) peuvent créer des sauts artificiels dans les séries temporelles de mouvements verticaux (Gazeaux et al., 2013). Ces derniers viennent systématiquement biaiser l'estimation des mouvements du sol, ce qui est problématique pour les études scientifiques. Pour remédier à cela, des opérateurs inspectent des centaines de séries temporelles afin d'identifier et quantifier les erreurs de mesures et améliorer la qualité finale des données.

Quant aux niveaux des eaux littorales, les données les plus fiables sont fournies par les réseaux de marégraphes. Or, tout comme les mouvements verticaux du sol, les séries temporelles de niveau d'eau peuvent être affectées par des biais de mesures. Des contrôles in-situ de ces instruments sont donc régulièrement menés afin de s'assurer de la précision et de la stabilité à long terme des observations.

Le premier objectif de cette thèse vise à apporter de nouvelles méthodologies pour l'estimation de la précision des observations et pour la détection automatique d'accidents dans les séries temporelles. En pratique, nous cherchons à optimiser des procédures de détection de biais, soit pour les contrôles réguliers des marégraphes, soit pour l'assimilation des séries temporelles de mouvements verticaux du sol. Pour ce faire, nous estimons le niveau de bruit des observations, en prenant en compte leurs corrélations temporelles et spatiales afin d'obtenir des estimations de biais plus fiables.

Le deuxième objectif est de ré-analyser les observations, une fois corrigées de leurs biais, afin de mieux comprendre les phénomènes observés. Cette partie repose essentiellement sur l'utilisation de méthodes statistiques de séparation des sources, qui permettent de décomposer des signaux bruts en une somme de signaux élémentaires, plus facilement interprétables. Analyser des signaux élémentaires permettrait par exemple de distinguer la part de l'homme de la part climatique dans l'évolution du littoral. Cette partie a été encore peu abordée dans cette thèse, c'est pourquoi ne nous l'évoquerons pas dans la suite ce résumé.

### **Les premiers résultats :**

En première année, nous avons proposé une méthode de caractérisation des performances des marégraphes. La nouveauté de ce travail consiste, non pas à comparer deux instruments comme il est d'usage en marégraphie mais plutôt à combiner les observations d'au moins trois instruments. Procéder ainsi permet de généraliser les pratiques actuelles, limitées à 2 instruments, à un nombre arbitraire d'instruments. De plus, comme ce modèle de combinaison peut être associé à la méthode d'estimation des composantes de la variance par moindres carrés (LS-VCE) (Teunissen et al., 2008), il est dorénavant possible d'estimer simultanément les incertitudes de tous les instruments, les paramètres de biais des instruments testés ainsi que le niveau d'eau corrigé moyen. Nous avons également montré par une application à une expérience d'inter-comparaison, réalisée en 2016 sur l'île d'Aix, qu'il était possible d'obtenir une meilleure estimation des biais par rapport aux méthodes par différences. Ce travail a été soumis en décembre 2018 à une revue spécialisée dans les technologies dédiées à l'observation des océans : *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* de l'American Meteorological Society.

Afin d'étudier la qualité des séries temporelles des mouvements verticaux issus de la technique GNSS, nous avons analysé les séries temporelles de plus de 600 stations côtières de la solution ULR6 fournie par le centre de l'Université de La Rochelle (ULR). Nous nous sommes focalisés sur l'estimation du bruit blanc variable et du bruit de scintillation et sur la détection de sauts artificiels. Nous avons trouvé des résultats en cohérence avec la littérature en termes d'amplitude des différents types de bruits. En revanche, nous avons également trouvé des patterns spatiaux étonnants sur la composante verticale : l'intensité du bruit de scintillation augmente pour les hautes latitudes et diminue vers l'équateur alors que c'est l'inverse pour le bruit blanc. Pour aller plus loin dans ce diagnostic, nous avons estimé les corrélations spatiales de bruit blanc et de bruit de scintillation entre stations européennes éloignées de moins de 200 km. Si les corrélations spatiales de bruit de scintillation sont toujours élevées (+0.8), peu importe la distance, les corrélations de bruit blanc semblent, elles, plutôt être nulles, négatives ou même inconsistantes.

De telles différences entre le comportement du bruit blanc et du bruit de scintillation ne semble pas être documenté dans la littérature et pourrait s'avérer être un apport à la connaissance de la qualité des séries temporelles de station GNSS en zone côtière. Néanmoins, pour mieux comprendre les résultats obtenus, des comparaisons avec les solutions fournies par des centres utilisant des réseaux de stations plus « continentaux » sont encore en cours. La détection automatique de saut artificiels, quant à elle, a permis d'identifier un bon nombre de d'erreurs non documentées qui vont être prises en considération dans les prochains traitements.

### **Bibliographie :**

Wöppelmann et al., 2007 : Wöppelmann, G., Miguez, B. M., Bouin, M. N., & Altamimi, Z. (2007). Geocentric sea-level trend estimates from GPS analyses at relevant tide gauges world-wide. *Global and Planetary Change*, 57(3-4), 396-406.

Teunissen et al., 2008 : Teunissen, P. J., & Amiri-Simkooei, A. R. (2008). Least-squares variance component estimation. *Journal of geodesy*, 82(2), 65-82.

Gazeaux et al., 2013 : Gazeaux, J., Williams, S., King, M., Bos, M., Dach, R., Deo, M., ... & Teferle, F. N. (2013). Detecting offsets in GPS time series: First results from the detection of offsets in GPS experiment. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 118(5), 2397-2407.

Poitevin et al., 2019 : Poitevin, C., Wöppelmann, G., Raucoules, D., Le Cozannet, G., Marcos, M., & Testut, L. (2019). Vertical land motion and relative sea level changes along the coastline of Brest (France) from combined space-borne geodetic methods. *Remote Sensing of Environment*, 222, 275-285.