



ÉCOLE DOCTORALE  
SCIENCES DE LA TERRE



université  
**PARIS  
DIDEROT**  
PARIS 7



[Sujet proposé pour un début de contrat en octobre 2014](#)

---

**TITRE du SUJET : Détection de déformations transitoires  
dans les réseaux géodésiques denses**

Directeur : **Eric CALAIS, Pr**, [eric.calais@ens.fr](mailto:eric.calais@ens.fr)

Co-directeur / Co-encadrant : **Michael GHIL, Pr**, [michael.ghil@ens.fr](mailto:michael.ghil@ens.fr)

Equipe d'accueil : **ENS - Laboratoire de Géologie de l'ENS- UMR 8538**

Financement : **Contrat doctoral des établissements partenaires**

---

*Plus de renseignement voir : <http://ed109.ipgp.fr>, Rubrique : Offres\_de\_thèse  
Il est indispensable de faire acte de candidature sur le site de l'École doctorale*

---

Les réseaux géodésiques modernes denses fournissent en continu des positions de précision millimétrique sur un très grand nombre de sites de mesure, en particulier dans les régions sismiquement actives. L'analyse des séries temporelles de position qui en résultent permet classiquement de déterminer des déplacements tectoniques séculaires, supposés linéaires. On sait qu'il s'y superpose des déformations non-linéaires, certaines périodiques (saisonniers), d'autres épisodiques avec des durées et extensions spatiales variables, se propageant parfois au travers des réseaux de mesure. La cause de ces déformations est parfois identifiée, par exemple la variation de la charge hydrologique pour les mouvements saisonniers ou des épisodes de glissement aismique dans les subductions pour certaines déformations épisodiques. Dans d'autres cas leur cause reste inconnue. Le lien potentiel entre certaines de ces déformations non-linéaires et l'activation des failles sismogéniques est un sujet de grande importance. La croissance des réseaux géodésiques denses est rapide ; il est crucial de pouvoir en extraire de manière objective l'ensemble des signaux de déformation du sol qu'ils capturent.

La densité spatiale et temporelle des réseaux géodésiques permanents est telle que l'analyse des séries temporelles – dont la détection des signaux non-linéaires – requiert la mise en œuvre de méthodes capables d'en extraire automatiquement les structures spatiales et temporelles qui y sont présentes. Ces signaux sont difficiles à identifier car leur amplitude est souvent faible par rapport au bruit de mesure GPS. De plus, les méthodes classiquement utilisées pour détecter ces déformations transitoires nécessitent des hypothèses a priori sur leurs causes physiques (par exemple le glissement sur une faille ou l'inflation d'une chambre magmatique) ou leurs propriétés statistiques (par exemple une périodicité ou l'indice spectral du « bruit » de mesure) qui sont le plus souvent inconnues.

L'objectif du travail est donc de développer une approche nouvelle d'analyse de séries temporelles géodésiques permettant d'identifier des déformations transitoires faibles et d'en extraire les caractéristiques spatiales et temporelles sans a priori sur les processus physiques en jeu ni sur le contenu stochastique des données. Cette approche se basera sur une méthode tirée de l'analyse des systèmes dynamiques, la « singular spectrum analysis » (SSA), utilisée pour l'analyse des séries temporelles d'indicateurs climatiques, biomédicaux et macroéconomiques. Cette méthode permet d'extraire de séries temporelles des

informations quantifiées sur leur structure – telles les tendances, les périodicités, la nature du bruit – sans connaissance a priori de la dynamique du système sous-jacent. Une extension de cette méthode aux données spatio-temporelles, la « Multi-channel SSA » (M-SSA), permet de plus d'extraire conjointement des structures spatiales, par exemple des épisodes de déformation affectant des sites proches de manière similaire.

Nous avons récemment montré que la M-SSA permettait d'identifier des déformations transitoires à partir d'un ensemble de séries temporelles GPS régionales dans deux cas de déformations connues, un épisode d'inflation volcanique en Alaska et une surcharge hydrologique causée par un épisode pluvieux en Californie. Ce résultat est obtenu indépendamment de toute hypothèse sur l'origine de ces signaux ou sur le bruit éventuellement présent dans les données. Ce résultat ouvre la perspective nouvelle d'identifier rapidement et objectivement des signaux difficilement identifiables et jusqu'ici ignorés dans les séries temporelles GPS. Les applications concernent bien sûr la compréhension des processus de déformation du sol mais aussi la détection d'événements en temps quasi-réel.

Sur la base de ces résultats, le travail consistera d'abord à consolider la méthode dans son application aux séries temporelles géodésiques, en particulier à quantifier sa résolution à partir d'ensembles de séries temporelles synthétiques. Une étude paramétrique sera réalisée afin de déterminer des seuils de détection permettant l'identification automatique de signaux transitoires et la séparation optimale des signaux d'intérêt géophysique du bruit de mesure. Il s'agira ensuite d'appliquer cette méthode à des réseaux géodésiques denses, en particulier le réseau américain Plate Boundary Observatory (~2000 stations) et le réseau japonais GEONET (~1500 stations). Ce travail sera réalisé en collaboration avec des scientifiques responsables de ces réseaux géodésiques. Il contribuera à des efforts internationaux actuellement en cours pour détecter en routine et de manière automatique les signaux non-linéaires dans les réseaux GPS denses.

Ce travail ne nécessite pas de connaissances préalables en géodésie GPS, mais l'étudiant devra avoir de bonnes connaissances en mathématiques ou statistique, connaître Unix/Linux et savoir programmer. Des logiciels sont disponibles pour la mise en œuvre de la SSA et M-SSA sur des jeux de données spatio-temporelles.