

Recommandations du GRGS

Document de synthèse des quatre thèmes débattus lors du séminaire sur « la géodésie millimétrique », 7-8 septembre 2015, Abbaye de Sorèze.

A. Techniques de mesures géodésiques (responsable : P. Exertier)

A.1) La précision du système DORIS est dépendante de la qualité des oscillateurs bord et sol. Il est recommandé de vérifier le bruit des oscillateurs à quartz notamment de façon à évaluer s'ils sont responsables du seuil actuel des 0,3 mm/s :

- au niveau des balises au sol, en particulier il faut surveiller la pérennité du réseau et sa montée en qualité : amélioration électronique, rattachements topographiques,
- au niveau bord des systèmes embarqués : les oscillateurs sont moins sensibles aux radiations et aux variations de température.

A.2) Le programme de recherche sur la technique laser réalisé à l'Observatoire de la Côte d'Azur (OCA) est important, et il doit être poursuivi pour :

- réaliser une station laser de nouvelle génération à destination de l'observatoire géodésique de Tahiti d'ici 2020 avec des caractéristiques améliorées de performance, fiabilité et simplicité d'utilisation,
- investir dans l'opportunité de recherche sur la technique de télécommunication optique qui pourrait se généraliser à terme et profiter également à la métrologie,
- améliorer la couverture temporelle et la qualité des données laser Lune.

A.3) Une attention particulière devrait être apportée à la caractérisation de l'effet multi-trajets GNSS et des masques pour les stations de référence du réseau, voire à atténuer ces effets au niveau instrumental de façon à simplifier le blocage d'ambiguïté ou la détermination de saut de cycle. L'idée de former un faisceau d'antennes pour diminuer le ratio signal à bruit et améliorer la précision mériterait d'être étudiée.

A.4) L'implantation d'une antenne VLBI dans le Pacifique Sud est fondamentale pour combler le déficit géographique du réseau d'antennes VGOS. Son positionnement à Tahiti est fortement recommandé dans une coopération avec NASA.

A.5) La mission spatiale GRASP peut être un moteur important pour le développement de l'instrumentation au sol ; la géodésie millimétrique est aussi associée aux objectifs GGOS qui doivent être considérés au niveau de chaque observatoire.

B. Mesures et modélisation orbitale (responsable : F. Deleflie)

B.1) La méthode d'intégration numérique DROMO (J. Pelaez, 2007), basée sur une régularisation des équations exprimées dans des jeux de variables redondants, semble extrêmement performante dans beaucoup de configurations : elle mérite d'être analysée pour les problèmes de géodésie millimétrique, ainsi que, plus largement, des méthodes basées sur les vecteurs d'états exprimés dans d'autres jeux de variables que les positions-vitesses.

B.2) Les corrections usuellement adoptées en relativité (générale, restreinte, pour la propagation des équations du mouvement comme pour la propagation des signaux) sont à tester par rapport à une modélisation relativiste native.

B.3) La géodésie millimétrique exige une connaissance précise des positions relatives des centres de référence des instruments géodésiques par rapport au centre de masse des satellites ainsi qu'un suivi de la variation des positions du centre de masse. Il est important dans ce contexte que ces valeurs soient fournies pour les prochaines missions altimétriques.

B.4) Il serait utile de quantifier l'apport de l'accélérométrie spatiale par rapport aux modèles de type « box & wings » pour la modélisation des forces de surface en orbitographie précise à différentes altitudes.

B.5) Si la précision des algorithmes d'intégration numérique utilisés apparaît suffisante en vue d'une propagation des équations de niveau millimétrique, il serait utile de passer en revue les méthodes d'estimation pour s'affranchir des problèmes résiduels dus aux moindres carrés (paramètres considérés constants alors que variables dans le temps, minima locaux...) : méthode L1, algorithmes génétiques...

B.6) Il est important d'utiliser des modèles compatibles qui ne contiennent pas d'effet redondant dans les traitements orbitographiques (ex. : modèle de marée diurne S1 et modèle de surcote). Une documentation serait la bienvenue à cet effet.

C. Mesures et modélisation de propagation (responsable : R. Biancale)

C.1) Les termes d'ordres supérieurs (retard, courbure) de correction ionosphérique des mesures radioélectriques peuvent être de plusieurs millimètres, voire centimètres dans des cas extrêmes. Leur modélisation reste à implémenter en calcul d'orbite (notamment dans le logiciel GINS, sauf le terme I2 reposant sur les cartes de TEC et déjà implémenté) et à tester, compte tenu de l'imprécision des modèles sous-jacents.

C.2) L'utilisation actuelle des cartes de TEC repose sur des modélisations mono-couche. Une amélioration sur la précision du TEC est attendue par la réalisation de modèles multi-couches. L'impact de ces modèles sur la correction de propagation ionosphérique des ordres supérieurs est encore à tester. La combinaison L1-L5 devrait améliorer la précision des cartes de TEC.

C.3) La modélisation des retards atmosphériques a été revisitée au GRGS (P. Gégout, C. Desjardins). La nouvelle modélisation AMF qui repose sur les modèles 4D ECMWF des paramètres d'état de l'atmosphère et sur l'intégration de l'équation eikonale en résulte. Son application doit être plus systématiquement validée avant une utilisation opérationnelle qui demande des moyens informatiques adaptés.

Il serait par ailleurs utile d'actualiser la formulation des indices de réfractivité utilisée (notamment les termes de polarisabilité et magnétisabilité issus de mesures de laboratoire anciennes) et d'obtenir des champs météorologiques horaires (plutôt que tri-horaires) pour affiner les interpolations temporelles.

C.4) Les perturbations induites par la turbulence atmosphérique sur la mesure de distance pouvant atteindre plusieurs millimètres, une caractérisation de la turbulence du site d'observation est nécessaire pour déterminer les performances métrologiques atteignables. Les expériences conduites à l'OCA sont à ce sujet essentielles et doivent permettre d'évoluer vers l'exactitude submillimétrique avec le développement d'un système laser deux couleurs.

D. Mesures et modélisation des surcharges et déformations (responsable : J.-P. Boy)

D.1) Modèles de Terre

Les modèles à symétrie sphérique (de type PREM) semblent suffisants pour décrire la plupart des effets, hormis les marées solides (l'approximation ellipsoïdale de V. Dehant & J. Wahr semble suffisante), et éventuellement les charges de marées océaniques (la correction ellipsoïdale de G. Balmino est applicable, bien que l'erreur principale vienne probablement du modèle de marée lui-même).

D.2) Effets de charge (atmosphère, océan et hydrologie)

- Les charges superficielles ont des effets significatifs à toutes les périodes. Elles sont clairement observées sur la composante verticale. (A. Mémin). Pour les composantes horizontales, le problème est plus complexe ; Il semble toutefois provenir du traitement des données GPS plutôt que de la modélisation (J. Nicolas).
- La combinaison ECMWF opérationnel (atmosphère), TUGO-m (modèle d'océan barotrope forcé par les vents et la pression, F. Lyard), et hydrologie (GLDAS/Noah ou MERRA-land, A. Mémin & J.-P. Boy) est optimale à toutes les fréquences. Bien que modèles hydrologiques (qui ne contiennent pas les eaux de surface), il est possible de les améliorer en re-routant les runoffs de ces modèles (J.-P. Boy).
- Il faut veiller à vérifier la cohérence des modélisations des déplacements avec les autres aspects du traitement géodésique : orbitographie, délais troposphériques...
- Un effort important de modélisation a été entrepris pour les délais troposphériques (AMF), il faut faire le même pour les charges (en corrigeant au niveau des observations)... Les deux modélisations sont à faire conjointement, car elles sont fortement corrélées.

D.3) Modélisation des effets « non linéaires » (ITRF)

L'ITRF est construit en corrigeant des effets non linéaires induits par les séismes (mouvements co- et post-sismiques) avec des fonctions ad hoc ajustées (exponentielle, logarithmique). Il serait judicieux de faire reposer ces fonctions sur une modélisation physique.

D.4) Rebond post-glaciaire

- Il existe des limitations encore importantes des modèles récents, surtout en Antarctique en raison du manque de données disponibles.
- Certaines études récentes semblent privilégier une rhéologie de Burger, plutôt que le modèle classique de Maxwell (L. Métivier).
- La prise en compte des variations latérales de viscosité reste problématique.