



Le projet GEODESIE : les références géodésiques au service de l'observation du niveau des mers

D. Coulot* et l'équipe du projet GEODESIE (cf. B)
* IPGP, IGN, Université Paris Diderot, Sorbonne Paris Cité, CNRS UMR 7154, GRGS, Paris, France
ENSG, Champs-sur-Marne, Marne la Vallée, France
IMCCE, Observatoire de Paris, PSL Université Paris, CNRS UMR 8028, GRGS, Paris, France
E-mail : geodesie.anr@ign.fr



Vue d'ensemble

De nombreux indicateurs majeurs du changement climatique sont surveillés avec des observations spatiales (montée du niveau des mers par altimétrie satellitaire, fonte des glaces par des satellites dédiés, etc.). Cette surveillance dépend donc fortement de références fournies par la géodésie (positions et vitesses d'instruments au sol, orbites de satellites, etc.). La qualité actuelle de ces références ne permet pas de répondre complètement aux enjeux posés par le système dynamique Terre, et peut ainsi limiter la qualité de ces indicateurs. Pour cette raison, dans le cadre du Système d'observation géodésique global (GGOS, ggos.org), des objectifs de qualité stricts ont été fixés pour le Repère de référence terrestre international (ITRF, itrif.ign.fr) : une exactitude d'un mm et une stabilité d'un mm/an. Cela représente une amélioration de la qualité actuelle de l'ITRF d'un facteur 5 à 10.

Améliorer la qualité des références géodésiques est un enjeu qui nécessite une réévaluation complète des méthodes mises en jeu. Parmi les approches possibles pour améliorer cette qualité, les méthodes de type COL (Combination at Observation Level) sont étudiées depuis le début des années 2000, notamment par le Groupe de recherche de géodésie spatiale (GRGS, grgs.obs-mip.fr). Elles reposent sur des combinaisons directes des observations géodésiques utilisées pour déterminer les références officielles du Service international de la rotation de la Terre et des systèmes de référence (IERS, www.iers.org). Le projet GEODESIE propose de porter ces approches à un niveau encore jamais atteint pour : (i) déterminer des références globales et cohérentes de grande qualité (séries temporelles de repères terrestres et célestes, paramètres d'orientation de la Terre, orbites de satellites, etc.) et (ii) mettre ces références à disposition des communautés de recherche en géophysique et climat, pour de meilleures estimations de la montée du niveau des mers, du bilan de masse des glaces et du changement global. Des séries temporelles de niveaux des mers géocentriques, calculées à partir de données altimétriques et d'enregistrements de marégraphes avec ces références, seront également mises à disposition de la communauté scientifique mondiale. Tous les résultats et rapports de calcul et d'évaluation seront disponibles sur le site Internet du projet.

Ce projet, financé par l'Agence nationale de la recherche (ANR, www.agence-nationale-recherche.fr), entre mars 2017 et septembre 2021, est donc une excellente opportunité pour le GRGS de se doter de moyens de simulations et de traitements de données pour contribuer significativement au GGOS. Il doit aussi nous permettre de préparer au mieux l'arrivée possible, dans un futur proche, de missions spatiales telles qu'E-GRASP (European Geodetic Reference Antenna in Space). Enfin, il va également nous permettre de poser dès maintenant les jalons de la géodésie de demain, pour laquelle il nous faudra assimiler de plus en plus de données diverses dans une modélisation de plus en plus complète de notre Planète, alors véritablement appréhendée comme un système de sous-systèmes en interaction totale, et non plus comme une juxtaposition de compartiments indépendants.

Équipe projet

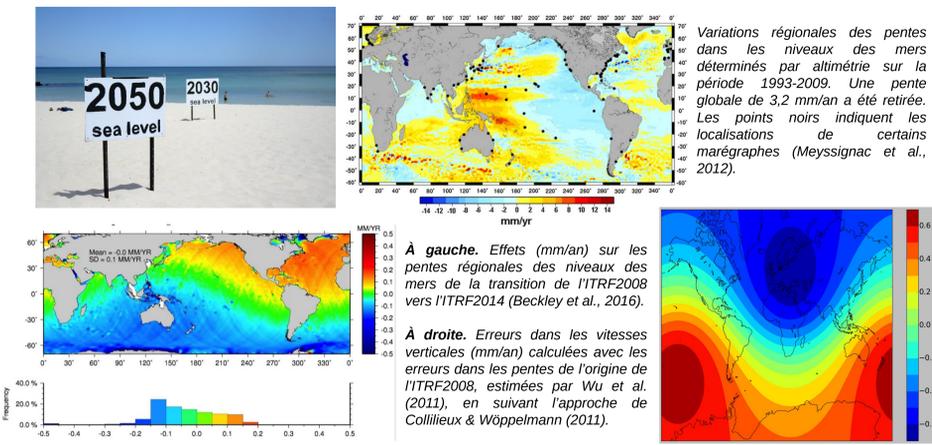
Au 1^{er} février 2019, l'équipe du projet comprenait 24 personnes, de six instituts/laboratoires différents. Elle sera renforcée, pendant deux ans, en septembre 2019, par un post-doctorant.

<p>IGN (Paris, Saint-Mandé, Marne la Vallée)</p> <p>Bruno Garayt</p> <p>Laurent Métivier, Samuel Nahmani, Arnaud Pollet, Paul Rebeschung, Vladimir Schott, Guilmaut* (dans l'équipe géodésie de l'UMR IPGP)</p> <p>Xavier Collilieux, David Coulot, Franck Tertre</p> <p><i>* Double affiliation CNES/IGN</i></p> <p>Soutien à l'équipe projet à l'IGN</p> <p>Virginie Quedeville, Christiane Guillaerau-Zahra, Marie-Claude Foubert, David Correia, Alain Sombris, Patrick Bouron.</p>	<p>CNES – GET (Toulouse)</p> <p>Richard Biancale*, Julien Laurent-Varin, Jean-Michel Lemoine, Jean-Charles Marty, Flavien Mercier, Felix Perosanz, Franck Reinquin</p> <p>* Au GFZ depuis septembre 2018</p> <p>Observatoire de Paris</p> <p>Christian Bizouard, Sébastien Bouquillon, Sébastien Lambert, Jean-Yves Richard</p> <p>Florent Deleflie</p>
<p>Experts « niveau des mers » (Toulouse, Paris et la Rochelle)</p> <p>Benoit Meyssignac</p> <p>Pascal Bonnefond</p> <p>Guy Wöppelmann</p>	<p>Personnes ayant contribué ou contribuant aussi au projet</p> <p>Zuheir Altamimi (IPGP, IGN, Paris) Michel Capderou (LMD, Palaiseau) Kristel Chanard (IPGP, IGN, Paris) Armelle Cogent (IGN, Saint-Mandé) Alexandre Couhert (CNES, GET, Toulouse) Kevin Eyermann (IGN, Saint-Mandé) Médéric Gravelle (LIENSs, la Rochelle) Sylvain Loyer (CLS, Toulouse) Jean-Mickaël Muller (IGN, Saint-Mandé) Thomas Sandri (NAVYA, Paris) Alvaro Santamaría-Gómez (GET, Toulouse)</p>

Références géodésiques et Sciences de la Terre

« The current scientific and societal user requirements are demanding in terms of accuracy, resolution, latency and reliability, and the requirements are expected to increase in the future. The GGOS products must have sufficient accuracy, temporal and spatial resolution, and latency to meet these requirements, which can be achieved by meeting the most demanding requirements. [...] In order to have a frame at least an order of magnitude more accurate than the signal to be monitored, the terrestrial reference frame should be accurate at a level of 1 mm and be stable at a level of 0.1 mm/yr. » [Plag & Pearlman, 2009].

Les références géodésiques sont fondamentales, non seulement pour surveiller et comprendre la montée du niveau des mers, mais aussi pour l'astronomie, la géophysique, etc., et un grand nombre d'applications sociétales. Voir aussi la résolution A/69/L.53 des Nations Unies (www.un.org/en/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/69/266) et le site Internet (unggrf.org) et la vidéo (vimeo.com/89695290) sur le GGRF (Global Geodetic Reference Frame).



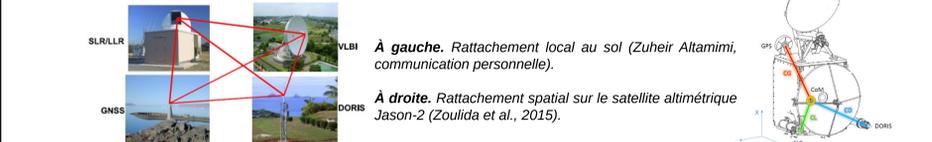
Les erreurs de l'ITRF rentrent dans les budgets d'erreur des niveaux des mers calculés par altimétrie satellitaire et avec les enregistrements des marégraphes. Sur la figure de gauche, si la moyenne des différences est négligeable, les différences à haute latitude ne le sont pas et peuvent atteindre des valeurs de $\pm 0,5$ mm/an. Sur la figure de droite, les erreurs peuvent atteindre des valeurs de $\pm 0,6$ mm/an. Avec les mêmes erreurs pour les pentes de l'origine et une erreur supplémentaire de $0,3$ mm/an sur la pente de l'échelle, Wöppelmann & Marcos (2016) ont estimé une incertitude de $0,5$ mm/an sur le niveau moyen global des mers ainsi déterminé. Santamaría-Gómez et al. (2017) ont évalué à $\pm 0,2$ mm/an la part de l'erreur sur la montée de ce niveau moyen global liée à l'ITRF, avec des erreurs sur les variations régionales pouvant atteindre des valeurs égales à $\pm 0,4$ mm/an (cf. Table 1 de l'article).

Les erreurs de l'ITRF rentrent également dans les budgets d'erreur des indicateurs climatiques déterminés à partir des niveaux des mers. En effet, Blazquez et al. (2018) ont par exemple montré que les incertitudes sur les corrections du mouvement du géocentre (origine de l'ITRF) et du rebond postglaciaire dans les données GRACE dominaient les incertitudes des bilans d'eau globaux estimés avec ces données. Ces bilans peuvent être utilisés pour les bilans du niveau des mers et pour estimer le contenu en chaleur des océans et le déséquilibre énergétique terrestre.

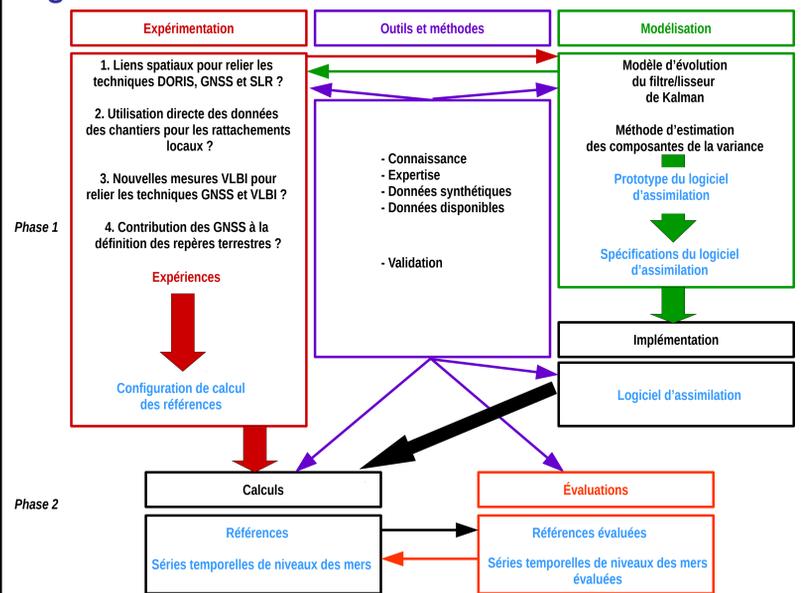
Objectifs et verrous scientifiques

- Les objectifs du projet GEODESIE sont les suivants :**
- Démontrer tout le potentiel des combinaisons directes de mesures spatiales (COL) pour calculer les références géodésiques, indispensables pour relever les défis en observation de la Terre, en prenant en compte toutes les données disponibles depuis l'avènement de l'ère spatiale et tous les liens possibles entre les quatre techniques de géodésie spatiale (GNSS, DORIS, LLR-SLR et VLBI), dans le cadre d'une assimilation de données spécifique.
 - Fournir les références calculées aux communautés de recherche en géophysique, océanographie et climat.
 - Fournir de même des séries temporelles de niveaux des mers géocentriques, calculées avec des données altimétriques et des enregistrements de marégraphes avec ces références.
 - Renforcer l'équipe (et, par extension, le GRGS) dans sa position de leader mondial sur les COL.
 - Préparer la possible arrivée future en orbite de missions spatiales telles que GRASP et E-GRASP.

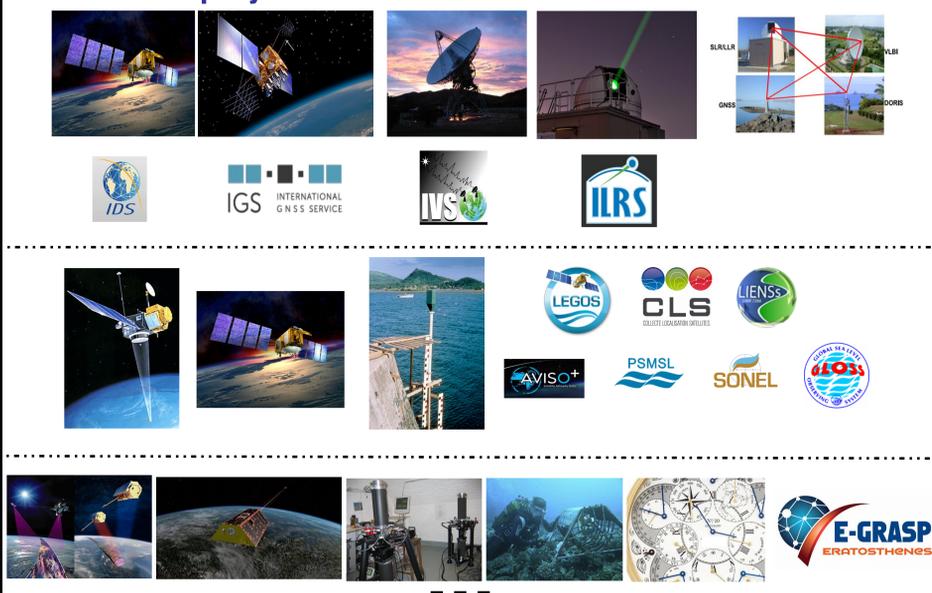
- Les verrous à lever durant le projet sont les suivants :**
- Données spatiales.** Toutes les données spatiales disponibles depuis le début des années 1980. Standards et modèles requis sur l'ensemble de la période.
 - Liens entre techniques et définition des repères.** Utilisation des liens spatiaux sur les satellites multi-techniques. Utilisation directe des données des chantiers topométriques traitées pour calculer les rattachements locaux. Utilisation des nouveaux types de mesures VLBI/GNSS. Possible contribution des GNSS à la définition des repères terrestres.
 - Assimilation de données.** Méthode ? Modèle d'évolution stochastique ? Pondération des données ?
 - Évaluation des références.** Validation de tous les choix techniques et scientifiques par des simulations. Évaluation complète des références calculées avec des données et des modèles externes.



Organisation



Données du projet et données futures



Divers

GEODESIE est un sigle anglais qui signifie *GEODetic Data assimilation and ESTimation of references for climate change InvEstigation*.
Le projet GEODESIE est le projet ANR-16-CE01-0001. Vous pouvez consulter la page www.agence-nationale-recherche.fr/Projet-ANR-16-CE01-0001.
Vous pouvez également consulter le site Internet du projet à l'adresse geodesie-anr.ign.fr et suivre le projet sur Twitter (compte @GEODESIE_ANR).

Le projet GEODESIE n'aurait pas pu voir le jour sans les avancées majeures que la géodésie doit à notre collègue et ami Richard Biancale, qui nous a quittés beaucoup trop tôt. Son expertise scientifique très pointue, son dynamisme à nul autre pareil, sa joie de vivre et sa grande humanité étaient grandement appréciés au sein de l'équipe et bien au-delà. Nous lui devons beaucoup et il nous manque énormément.