

La Terre observée depuis l'espace

Observing the Earth from space

Avant-propos

Alors que les images de l'atmosphère terrestre prises par les satellites météorologiques sont bien connues du grand public, on sait moins souvent que de nombreux domaines relatifs à l'environnement terrestre bénéficient aussi de la surveillance permanente des satellites. Ainsi, l'observation depuis l'espace des terres émergées est devenue incontournable pour la surveillance des risques naturels, des ressources en eau, de l'étendue et de l'état des forêts, ainsi que pour la cartographie, l'occupation des sols, l'urbanisation, le suivi des cultures agricoles et même les pollutions. L'observation des océans par satellite a, elle aussi, atteint un degré de maturité tel, qu'il est possible aujourd'hui de prédire, comme en météorologie, l'état de l'océan une ou deux semaines à l'avance.

Si l'utilité de l'espace pour l'étude et la surveillance de l'environnement terrestre est devenue incontestable, elle l'est aussi dans de nombreux domaines ayant trait aux recherches sur la structure de la planète et sur les phénomènes dont elle est le siège.

Pour décrire la globalité des phénomènes observés, les satellites sont, en effet, des outils irremplaçables. Leurs avantages sont bien connus : ils offrent une vision globale et une résolution spatiale fine. Leurs observations couvrent des régions d'accès difficile, elles sont réalisées de manière quasi continue, ou souvent répétées. Les mesures par satellite sont bien étalonnées et accessibles rapidement.

La Terre est un système complexe dont les différentes composantes (de la partie la plus interne du globe jusqu'à l'atmosphère et la biosphère) interagissent sur des échelles d'espace et de temps extraordinairement variées. Ainsi, le champ magnétique généré dans le noyau de la Terre est-il à l'origine de la magnétosphère,

Foreword

While for many decades, remote sensing observations provided maps of the Earth's atmosphere routinely used for weather forecast, observations from space are also increasingly collected in several other areas of Earth sciences and their applications. For example, satellite monitoring of natural hazards, water resources, land use inventory, cartography, etc., are well-known applications of Earth observations from space. In other areas of Earth sciences also, satellite measurements have become inevitable. Only satellites have the capability of providing global observations over long time periods and with high-frequency revisit time.

The Earth is a complex system whose different components (from the deep interior to the most external envelopes) interact on a broad range of spatio-temporal scales. For example, the core magnetic field generates the Earth's magnetosphere, which protects the planet from noxious particles from the sun and galactic medium. Convective motions occurring inside the Earth's mantle are the main drivers of tectonic deformations of the Earth's crust as well as seismic and volcanic activity. Complex sea floor and land topography are also a direct consequence of tectonic activity. Besides, mantle convection is related to the large-scale non-uniform gravity field.

Oceans, atmosphere, cryosphere, hydrosphere (land waters) and biosphere, where are taking place life and climate phenomena, are also linked by complex interactions. The ocean circulation transports heat from one region to another and thus plays an important role in regulating climate. Sea-level rise caused by ocean warming and land-ice melt is another example of interaction between oceans, land and ice sheets.

qui protège la planète des particules nocives venues du soleil et de l'espace lointain. Les phénomènes dynamiques internes sont responsables de déformations majeures de la croûte terrestre, dont le volcanisme et les tremblements de terre sont les manifestations les plus connues. La convection du manteau est, pour une large part, responsable de la gravité non uniforme et de la forme bosselée du globe terrestre. La tectonique des plaques, conséquence majeure de la convection mantellique, est à l'origine de la topographie complexe des fonds marins et, pour l'essentiel, de la topographie des continents, en particulier des chaînes de montagne. L'océan, l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère, où se déroulent les phénomènes liés à la vie et au climat, sont, eux aussi, le siège d'interactions complexes. Les courants marins, par exemple, transportent, d'une région à l'autre de l'océan, la chaleur échangée avec l'atmosphère et jouent un rôle important dans la régulation du climat de la terre. La hausse du niveau des mers, causée par le réchauffement de l'océan et l'apport d'eau dû à la fonte des glaces, constitue un autre exemple d'interactions entre plusieurs composantes du système.

Dans un grand nombre de cas, les observations sont réalisées à partir de techniques de télédétection, dont la caractéristique est de décrire à distance les propriétés d'objets naturels à partir des rayonnements qu'ils émettent ou réfléchissent. Mais d'autres approches sont aussi développées, notamment pour déterminer les propriétés physiques à grande échelle du globe terrestre ou encore les déformations de la surface terrestre [4]. Parmi celles-ci, on peut citer l'embarquement sur satellites d'instruments permettant la mesure de phénomènes particuliers, comme le champ magnétique de la Terre, la mesure de distances ou de vitesses entre le satellite et des balises placées à la surface terrestre, ou encore la mesure des déformations des trajectoires, qui renseignent sur les forces maintenant les satellites en orbite, telle la gravité de la Terre.

Le présent numéro thématique des *Comptes rendus Geoscience* sur «La Terre observée depuis l'espace» présente une collection d'articles sur l'utilisation des techniques spatiales pour l'étude de la planète Terre et ses enveloppes fluides (à l'exclusion de l'atmosphère). Ces articles font état des résultats les plus récents dans plusieurs domaines de la Terre solide, la dynamique des océans et le niveau de la mer, l'hydrologie continentale et la cryosphère.

Ce numéro illustre bien l'existence, dans le domaine de l'observation de la Terre, d'une communauté scientifique très active, non seulement par ses recherches, mais aussi par ses investissements dans les moyens de ces recherches, à savoir le développement et la mise

In many instances, observations of the Earth system from space result from remote sensing, e.g., imagery in different wavebands, whose characteristic is to deduce properties of the studied objects from the radiations they reflect or emit. However, other approaches have been developed to study the physical properties of the planet [4]: for example, precise orbitography informing on the forces acting on artificial satellites, including the Earth's gravity field, tracking techniques like GPS or DORIS for precise positioning and measurements of crustal deformations, development of onboard dedicated instruments for measuring specified Earth's parameters (e.g., radar altimetry for spatio-temporal change of ocean and land surface shape, magnetometers for the magnetic field).

This thematic issue of the *Comptes rendus Geoscience*, 'Observing the Earth from space', presents a collection of papers describing the use of space techniques for studying planet Earth. Most recent results are provided in a number of thematic applications related to solid Earth, ocean dynamics and sea level, land hydrology and cryosphere.

This issue illustrates that a very active scientific community is implied, not only at the forefront research level, but also in its infrastructures, either from space or ground systems, as well as in developing international cooperation. The involvement of French groups is very clear, as pointed out by a recent report of the French Academy of Sciences [1].

The first four articles present activities related to observing systems from space in the context of international cooperation.

Pierre Baüer et al. [2] provide an historical and critical overview of the international cooperation in the field of Earth observation from space, from the initial efforts of the meteorological community, up to the present-day major programs, for example GMES (Global Monitoring for Environment and Security) in Europe, and GEO (Global Earth Observation) at a worldwide scale.

The second article by Pierre Exertier et al. [7] describes the development of satellite or Lunar laser ranging activities. They discuss fixed tracking systems installed at the Calern Observatory near Grasse, France, the development of a mobile laser station (FTLRS), as well as its various applications in geodesy, geodynamics and fundamental physics.

Pascal Willis, Christian Jayles and Yoaz Bar-Sever [18] review the development of the French DORIS system, initially built by CNES in order to get an autonomous precise orbit determination system for low Earth orbiting satellites, specifically as support of satellite al-

en œuvre de systèmes d'observation spatiaux et au sol, ainsi que la coopération internationale associée. L'engagement des équipes françaises est indiscutable, comme l'a récemment bien mis en évidence le rapport sur la recherche spatiale établi par l'Académie des sciences [1].

Avant les articles scientifiques thématiques, quatre présentations offrent une illustration des activités d'observations spatiales réalisées dans un contexte de coopération internationale.

En introduction, Pierre Baüer et al. [2] présentent un panorama historique et critique de la coopération internationale pour l'observation de la Terre, depuis les efforts de la communauté météorologique jusqu'aux grands programmes actuels, GMES en Europe et GEO à l'échelle planétaire.

Ensuite, Pierre Exertier et al. [7] dressent un panorama des développements de l'activité de télémétrie laser sur satellite ou la Lune, aussi bien sur l'évolution des stations sol, à l'observatoire du Calern, près de Grasse, et le développement d'une station ultra-mobile (FTLRS) que sur les multiples applications en géodésie, géodynamique ou physique fondamentale.

Pascal Willis, Christian Jayles et Yoaz Bar-Sever [18] retracent les développements du système français Doris, initialement développé par le Cnes pour disposer d'un système autonome d'orbitographie précise de satellites bas, notamment comme soutien aux missions d'altimétrie océanique. Ils passent en revue les diverses applications qui ont été progressivement générées par ce système, aussi bien en orbitographie précise, géodésie que mesures de l'atmosphère. Ils soulignent, en particulier, que ce système développé par la France est proposé à la communauté internationale à travers un service scientifique (IDS).

Guy Wöppelmann et al. [19] consacrent leur contribution à la marégraphie côtière, et à ses diverses applications en géodésie ou hydrographie, ainsi qu'à ses synergies avec d'autres systèmes, notamment l'altimétrie par satellite, illustrant les multiples intérêts qu'offre la mesure précise et continue des mouvements relatifs du niveau de la mer par rapport à la croûte terrestre en zone côtière.

Les six articles suivants sont dédiés à l'étude de la Terre solide (champ de gravité et convection mantellique, champ magnétique, déformations de la croûte terrestre dans les régions tectoniques actives, étude des surfaces continentales, topographie des fonds marins).

Yannick Ricard et al. [15] présentent le champ de gravité global de la Terre déterminé par satellite, en particulier par les récentes missions gravimétriques CHAMP et GRACE. Ils discutent les contraintes apportées par le champ de gravité sur la structure interne

timetry over oceans. They also present the multiple applications progressively generated by this system, either in precise orbit determination, geodesy or atmosphere sensing. They stress that this French-built system is provided to the international community through the International DORIS Service (IDS).

Guy Wöppelmann and his co-authors [19] devote their paper to coastal tide gauge measurements and their various applications in geodesy or hydrography, as well as synergy with other systems such as satellite altimetry. They stress the need for precise and continuous measurements of the relative position of sea level and crust in coastal zones.

The six following papers are devoted to solid-Earth applications (Earth gravity and magnetic fields, crustal deformations, land surfaces and sea floor topography).

Yannick Ricard et al. [15] discuss the global gravity field determined by satellites, in particular by the recent CHAMP and GRACE space missions, and the constraints it offers for explaining the large-scale density distribution inside the Earth's mantle. In particular, they show that the longest wavelengths of the geoid (the equipotential surface of the gravity field that coincides with the mean sea level) can be satisfactorily explained by ancient lithospheric slabs subducting throughout the whole mantle. Corresponding density distribution agrees with that inferred from seismic tomography and is compatible with large-scale mantle convection with bottom heating.

Miora Manda [10] reviews the most recent determinations of the Earth's magnetic field from the Oersted, CHAMP and SAC-C space missions. She further discusses the various components of the magnetic field: the core field and its secular variation, the lithospheric field and the external field. She shows how the combination of ground-based and space observations helps in separating these different components from their spatio-temporal variations.

Another area in which space techniques have offered a major insight is the study of crustal deformations in active tectonic regions. Kurt Feigl and Wayne Thatcher [8] discuss applications of GPS and INSAR-based crustal motions measurements to study the earthquake deformation cycle. They show that millimetre-level accurate GPS measurements of crustal displacements can inform on post-seismic transient movements. This allows them to test different driving processes and constrain the rheology of the lithosphere. In their conclusion, they discuss the highly promising perspective offered by combining INSAR and continuously operating GPS observations for studying the spatio-temporal spectrum of seismic deformations, hence im-

de la planète. Ils montrent, en particulier, que les anomalies à grande échelle du champ peuvent s'expliquer par les anciennes plaques lithosphériques en subduction dans le manteau. La distribution correspondante de densité est en bon accord avec celle déduite de la tomographie sismique et est compatible avec une convection mantellique à grande échelle, avec chauffage par le bas.

Miora Mandea [10] présente les récentes déterminations du champ magnétique terrestre à partir des missions spatiales Oersted, CHAMP et SAC-C. Elle discute les différentes composantes de ce champ (champ du noyau, champs lithosphérique et externe) et montre comment la combinaison des données spatiales et au sol informe sur les variations spatio-temporelles de ces différentes composantes.

Dans un autre domaine, Kurt Feigl et Wayne Thatcher [8] montrent l'apport des techniques de positionnement spatial GPS et InSAR à l'étude des déformations crustales dans les régions tectoniques actives et du cycle sismique. La mesure très précise des déformations transitoires post-sismiques permet de discriminer différents mécanismes possibles et apporte des contraintes sur la rhéologie de la lithosphère continentale.

Didier Massonnet et Charles Elachi [11] présentent l'apport de l'interférométrie radar pour la mesure fine de la topographie des surfaces continentales. Ils illustrent leur propos à l'aide des résultats de la mission SRTM, puis discutent de nouveaux concepts, tels que la « roue interférométrique », qui permettrait d'obtenir une précision submétrique.

Patrick Pinet et al. [13] discutent les potentialités de l'imagerie hyperspectrale pour l'étude des surfaces continentales. Cette technique permet, en effet, d'établir une cartographie minéralogique des roches depuis l'espace et de déterminer les caractéristiques biogéochimiques des surfaces continentales, avec d'intéressantes applications au suivi de la dégradation des sols et la désertification.

Dans les années 1990, des résultats spectaculaires sur la cartographie globale des fonds marins avaient été obtenus par altimétrie spatiale [17]. Dans le présent numéro, David Sandwell et al. [16] proposent un nouveau concept de mission utilisant la technique *Delay-Doppler Radar Altimetry*, basée sur la mesure des pentes de la surface marine plutôt que des hauteurs, comme dans le cas de l'altimétrie classique. Une telle mission de cartographie bathymétrique permettrait de gagner considérablement en précision et en résolution, avec de nombreuses applications en sciences de la Terre.

Un autre groupe d'articles présente les applications de l'observation spatiale à l'étude des océans, de la cryosphère et des eaux continentales. Lee L. Fu et

proving our current knowledge of earthquakes phenomena.

Didier Massonnet and Charles Elachi [11] review the potential of radar interferometry for measuring land topography with a high resolution. After a brief introduction on theoretical aspects, they present results from the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). They also discuss future improvements expected from new techniques, in particular the cartwheel concept, allowing sub-meter precision.

Patrick Pinet et al. [13] investigate new important perspectives expected from hyperspectral imagery (or imaging spectroscopy) for studying land surfaces. Imaging spectroscopy allows characterization of mineralogical and biogeochemical properties of land surfaces, as well as monitoring their spatio-temporal changes. They discuss various applications in geology and environmental studies, focussing on the monitoring of land degradation and desertification.

During the 1990s, one spectacular application of satellite altimetry was the global mapping of ocean floor with unprecedented resolution [17]. In this thematic issue, David Sandwell et al. [16] propose a new mission concept for measuring seafloor topography from space with higher resolution than provided by classical altimetry missions. This new mission would measure sea-surface slopes with a Delay-Doppler radar altimeter, instead of sea-surface height as done by conventional nadir-viewing radar altimeters, allowing improved bathymetric precision and higher resolution. The authors discuss also the various areas in Earth sciences benefiting from improved bathymetry.

A second group of papers deals with applications of space observations for studying the surface fluid envelopes (oceans, hydrosphere, and cryosphere). Lee L. Fu and Pierre-Yves Le Traon [9] review the major results obtained in oceanography from the decade-long time series of satellite altimetry (ERS, Topex/Poseidon and ENVISAT satellites). They first discuss the mean dynamic topography that informs on the large-scale ocean circulation. They further present new findings from satellite altimetry on the tropical oceans, in particular on ENSO (El Niño-Southern Oscillation) phenomenon, on the low-frequency large-scale variability, on the high-frequency intraseasonal variability, on the dynamics of Rossby waves and mesoscale circulation.

Robert Steven Nerem et al. [12] present most recent results on global sea-level rise inferred from high-precision (Topex/Poseidon and Jason-1) satellite altimetry. They also discuss current interpretation of the observed rate of sea-level rise, in particular the contributions of thermal expansion due to ocean warming and of land-

Pierre-Yves Le Traon [9] font une revue des très importants progrès réalisés en océanographie grâce à l'altimétrie spatiale. Ils présentent les principaux résultats obtenus sur la topographie dynamique, qui renseigne sur la circulation à grande échelle de l'océan, sur les océans tropicaux, en particulier le phénomène El Niño, sur les composantes basse fréquence et haute fréquence de la circulation océanique, sur la dynamique des ondes de Rossby et, enfin, sur la circulation mésoéchelle de l'océan.

Steve Nerem et al. [12] présentent les plus récents résultats sur la hausse du niveau de la mer, mesurée par altimétrie spatiale (missions Topex/Poseidon et Jason-1) depuis le début des années 1990. Ils discutent aussi les différentes contributions climatiques expliquant la hausse observée, en particulier l'expansion thermique causée par le réchauffement de l'océan et la fonte des glaces continentales. L'apport de la mission spatiale GRACE à l'hydrologie continentale est aussi abordé. Il apparaît que la part de la hausse du niveau de la mer, observée par altimétrie, non expliquée par l'expansion thermique et la fonte des glaces, peut être expliquée par la contribution des eaux continentales mesurée par GRACE.

Frédérique Rémy et Massimo Frezzotti [14] discutent le bilan de masse actuel de la calotte polaire Antarctique. Ils présentent les différentes méthodes d'estimation du bilan de masse, y compris l'apport de l'altimétrie spatiale des satellites ERS-1 et 2. La synthèse des différents résultats publiés récemment indique que l'Antarctique est quasiment en équilibre, la perte de masse de glace observée en Antarctique de l'Ouest étant contrebalancée par le gain de masse de l'Antarctique de l'Est, dû à une augmentation des précipitations neigeuses.

Les deux articles suivants décrivent les applications de l'altimétrie spatiale à l'hydrologie continentale. Jean-François Crétaux et Charon Birkett [6] présentent des résultats relatifs au suivi des niveaux d'eau des lacs continentaux par altimétrie (missions Topex/Poseidon, Jason-1, GFO et Envisat). Plusieurs exemples sont détaillés, dont ceux de la mer d'Aral et la mer Caspienne, du lac Tchad et de plusieurs réservoirs en Asie. Les auteurs discutent le lien existant entre les fluctuations observées des niveaux d'eau et l'hydrologie régionale, y compris l'influence des activités humaines (par exemple, l'agriculture).

Une autre application de l'hydrologie continentale concerne les grands bassins fluviaux (fleuves et plaines inondées). Celle-ci est présentée par Stéphane Calmant et Frédérique Seyler [3]. Ils décrivent les différentes applications de l'altimétrie : mesure des niveaux d'eau des fleuves et des zones d'inondation, nivellement des ré-

ice melting in response to global warming. They also present the new important contribution of the GRACE space gravity mission for measuring the mass balance of the ice sheets and the contribution of terrestrial waters storage change (due to climate variability and human activities) to sea level.

Frédérique Rémy and Massimo Frezzotti [14] review current knowledge of the present-day mass balance of the Antarctica ice sheet. They present the different methods classically developed for determining the mass balance of the ice sheets, including the use of radar altimetry from the ERS-1 and ERS-2 satellites. They summarize the most recent results published by different investigators, including the first author, Frédérique Rémy and her colleagues, and conclude that Antarctica is nowadays nearly in balance, loss of ice mass in West Antarctica being roughly offset by slight mass gain in the East due to increased precipitation.

The next two papers describe new applications of space observations to land hydrology.

Jean-François Crétaux and Charon Birkett [6] report on recent results of the monitoring of water levels of lakes by satellite altimetry from several missions (Topex/Poseidon, Jason, GFO, ENVISAT). They present a series of examples, in particular on the Aral and Caspian seas, as well as Lake Chad, and the link with regional hydrology. They also present results on a few lakes and reservoirs in Asia influenced by natural processes and human activities (e.g., agriculture).

Stéphane Calmant and Frédérique Seyler [3] present another application of space techniques in land hydrology: the monitoring of rivers and floodplains water levels and volumes. They first review the contribution of satellite altimetry in this domain, interest and current limitations. They also discuss other applications of satellite altimetry in hydrology of large river basins, e.g., levelling of in situ hydrographic networks, estimation of discharge from stage altimetric measurements and water profiles along rivers. Finally, they present estimates of surface-water volume change in the Amazon basin based on a combination of altimetric water levels and satellite radar images.

Finally, Ben Chao [5] describes global Earth's deformations measured by satellites, in particular the secular decrease of the Earth's flattening and its seasonal/interannual fluctuations, accurately determined by satellite laser ranging techniques over the last 30 years. Ben Chao also discusses potential causes of the secular trend and interannual variations and invokes, for the latter, large-scale redistributions of mass in the oceans and ice mass loss from the ice sheets. Finally a brief note

seaux hydrographiques in situ, estimation des débits à partir des niveaux, mesure de la pente du fleuve. Ils décrivent aussi une nouvelle application, qui consiste à combiner l'altimétrie à l'imagerie, pour en déduire les volumes d'eaux de surface. Un exemple, concernant le Bassin amazonien, est présenté.

Enfin, l'article de Ben Chao [5] traite des déformations globales de la Terre mesurées par satellite et de leur lien avec les redistributions de masse dans les enveloppes fluides de surface. Ben Chao présente les variations séculaires, interannuelles et saisonnières de l'aplatissement de la Terre mesurées par les satellites laser depuis 30 ans. Les phénomènes responsables sont analysés. Parmi ceux-ci, une redistribution de masse à grande échelle dans l'océan et la fonte des glaces continentales pourraient expliquer la grande anomalie des années 1998–2000.

En conclusion, nous tenons à remercier vivement MM. Jean Dercourt et Michel Petit, qui nous ont sollicités pour prendre la responsabilité de ce numéro thématique. Nous adressons aussi nos remerciements à Mmes Hélène Paquet et Marina Grandin-Jimenez pour l'aide apportée à l'élaboration de ce fascicule.

**Anny Cazenave
Claude Boucher**

*Laboratoire de recherches en géophysique et
océanographie spatiales (LEGOS),
Groupe de recherches de géodésie spatiale,
Toulouse, France*

Adresse e-mail : Anny.cazenave@cnes.fr (A. Cazenave)

Disponible sur Internet le 25 octobre 2006

Références / References

- [1] Académie des Sciences, La Recherche Spatiale Française, EDP, Paris, 2006.
- [2] P. Baüier, F. Gérard, J.-F. Minster, Observing the Earth: An international endeavour, C. R. Geoscience 338 (2006).
- [3] S. Calmant, F. Seyler, Continental surface waters from satellite altimetry, C. R. Geoscience 338 (2006).
- [4] A. Cazenave, The study of the solid Earth and its fluid envelopes by space geodesy techniques, C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IV 1 (2000) 1267–1282.
- [5] B. Chao, Earth's oblateness and its temporal variations, C. R. Geoscience 338 (2006).
- [6] J.-F. Crétaux, C. Birkett, Lake study from satellite altimetry, C. R. Geoscience 338 (2006).
- [7] P. Exertier, P. Bonnefond, F. Deleflie, F. Barlier, M. Kasser, R. Biancale, Y. Ménard, Contribution of laser ranging to Earth Sciences, C. R. Geoscience 338 (2006).
- [8] K. Feigl, W. Thatcher, Geodetic observations of post-seismic transients in the context of earthquake deformation cycle, C. R. Geoscience 338 (2006).
- [9] L.L. Fu, P.-Y. Le Traon, Satellite altimetry and ocean dynamics, C. R. Geoscience 338 (2006).
- [10] M. Manda, Magnetic satellite missions: where have we been and where are we going?, C. R. Geoscience 338 (2006).
- [11] D. Massonnet, C. Elachi, High-resolution land topography, C. R. Geoscience 338 (2006).
- [12] R.S. Nerem, E. Leuliette, A. Cazenave, Present-day sea-level change: a review, C. R. Geoscience 338 (2006).
- [13] P. Pinet, C. Kaufmann, J. Hill, Imaging spectroscopy of changing Earth's surface: A major step toward quantitative monitoring of land degradation and desertification, C. R. Geoscience 338 (2006).
- [14] F. Rémy, M. Frezzotti, Antarctica ice sheet mass balance, C. R. Geoscience 338 (2006).
- [15] Y. Ricard, F. Chambat, C. Lithgow-Bertelloni, Gravity observations and 3-D structure of the Earth, C. R. Geoscience 338 (2006).
- [16] D.T. Sandwell, W.H.F. Smith, S. Gille, E. Kappel, S. Jayne, K. Soofi, B. Coakley, L. Geli, Bathymetry from space: rationale and requirements for a new, high-resolution altimetric mission, C. R. Geoscience 338 (2006).
- [17] W.H.F. Smith, D.T. Sandwell, Global sea floor topography from satellite altimetry and ship depth soundings, *Science* 277 (5334) (1997) 1956–1962.
- [18] P. Willis, C. Jayles, Y. Bar-Sever, DORIS: from altimetric missions orbit determination to geodesy, C. R. Geoscience 338 (2006).
- [19] G. Wöppelmann, S. Zerbini, M. Marcos, Tide gauges and geodesy: a secular synergy illustrated by three present-day case studies, C. R. Geoscience 338 (2006).

is devoted to the relationship between Earth's flattening and Earth's rotation.

To conclude, we wish to warmly thank Profs Jean Dercourt and Michel Petit, who invited us as guest editors of this thematic issue. We also thank Dr Hélène Paquet and Ms Marina Grandin-Jimenez for their help in editing this issue.

**Anny Cazenave
Claude Boucher**

*Laboratoire de recherches en géophysique et
océanographie spatiales (LEGOS),
Groupe de recherches de géodésie spatiale,
Toulouse, France*

E-mail address: Anny.cazenave@cnes.fr (A. Cazenave)