



External geophysics, climate and environment

## The atmosphere seen from space

### *Atmosphère vue de l'espace*

#### Foreword

Observing the Earth from space has considerably modified our view of the planet and galvanized the Earth's sciences. Recent reviews on the Earth's observations have focused on the ocean (Cazenave and Boucher, 2006), the solid Earth or the biosphere. However, space missions are still largely driven by the need to know more on the structure, composition and dynamics of the atmosphere.

To review the entire field of atmospheric observations from space is indeed an ambitious project, because of the large number and diversity of an area of vividly growing science and applications. We proposed a synopsis and we looked for potential contributions in order to provide some overview of atmospheric observation from space, from the mesopause to the ground, in combination with other observing means or methodologies, to provide the most interesting scientific results. We asked the authors to identify recent progress in their field and to highlight the challenges still to be addressed by the scientific community, from fundamental concepts to applied research. As we were collecting contributions, we realized that this review could not be an exhaustive coverage of the subject: we hope that it can provide a good start to exploring the atmosphere from space and to pointing out some important challenges.

Let us give here the flavour of what you will discover in the following pages. We start from the Sun, the main energy source for the Earth. Dudok de Wit and Watermann (2010) address the controversial challenge of the impact of solar variability on long-term changes, besides the direct radiative forcing. These mechanisms, though weaker than radiative forcing, can have a significant leverage, despite poorly known underlying physics, and may impact on the terrestrial atmosphere, on time scales ranging from days to millennia. The issue of the climate evolution through time is then discussed by Paillard (2010) who addresses the two competing theories

#### Avant-propos

L'observation de la Terre depuis l'espace a considérablement changé notre vision de la planète et galvanisé les sciences de la Terre. Récemment, plusieurs numéros thématiques ont synthétisé les apports de l'observation de la Terre à l'océanographie (Cazenave et Boucher, 2006), la terre solide ou la biosphère. Or nombre de missions spatiales ont pour objectif d'approfondir les connaissances en matière de structure, composition et dynamique de l'atmosphère. Nous avons souhaité les présenter ici.

Passer en revue l'ensemble du champ des observations atmosphériques depuis l'espace est de fait un projet ambitieux, compte tenu des multiples facettes de cette science en pleine expansion, et de ses nombreux domaines d'application. Nous avons proposé un fil directeur et recherché des contributions potentielles dans le but de donner un aperçu global de l'observation de l'atmosphère depuis l'espace, de la mésopause jusqu'au sol, en y associant les autres moyens d'observation et les méthodologies appropriés, de façon à faire ressortir les résultats scientifiques les plus intéressants. Nous avons demandé aux auteurs d'identifier les progrès récents dans leurs domaines respectifs et de mettre en lumière les défis auxquels se trouve confrontée la communauté scientifique, depuis les concepts fondamentaux jusqu'à la recherche appliquée. Au fur et à mesure de la collecte des contributions, nous avons réalisé que cette revue ne pourrait être exhaustive : nous espérons cependant qu'elle puisse être un bon point de départ sur l'exploration de l'atmosphère depuis l'espace et qu'elle soit le moyen de mettre en exergue un certain nombre de défis importants.

Nous souhaitons donner ici l'essence de ce qui sera exposé dans les pages qui suivent. Le point de départ est le Soleil, principale source d'énergie de la Terre. Dudok de Wit and Watermann (2010) abordent la question, objet de controverses, de l'impact de la variabilité solaire sur les changements atmosphériques à long terme, en sus du forçage radiatif direct. Les mécanismes mis en jeu, en dépit

advanced to explain the sequence of glacial-interglacial epochs: either the variations of the Earth orbital elements, or the atmospheric composition in carbon dioxide.

A full discussion of the planet's radiation budget is led by **Robert Kandel and Michel Viollier<sup>1</sup>** (2010) who show that only observations from space can provide satisfactory global coverage of the different energy fluxes that determine the climate at the Earth's surface. They describe the methods, applied to measurements made with a variety of instruments on board different satellites, that have led to our present knowledge of the Earth's radiation budget (ERB) at the "top of the atmosphere". Successive satellite missions give consistent results for the shape, the phase, and the amplitude of the annual cycle of the planetary radiation balance. Both the surface radiation budget and the planetary radiation budget are discussed and the extent to which interannual variations and interdecadal trends could be detected. Priorities for future efforts concern the need to better quantify the factors that govern climate sensitivity to modifications of the atmosphere's radiative properties, and the importance of monitoring the evolution of the present disequilibrium situation.

After these first articles on the Sun's radiation and the Earth's radiative budget, an introduction is given by **Barlier (2010)** on the structure of the atmosphere and the importance of observing and understanding the interactions between the different layers. He shows how the development of engineering (balloons, rockets, aircrafts and artificial satellites) has revolutionized our knowledge of the atmosphere. Then, **Blanc (2010)** describes the Transient Luminous Events observed in the middle and upper atmosphere which are the manifestation of intense energy exchanges between the troposphere, stratosphere and mesosphere. She reviews space observations performed up-to-now and emphasizes the challenges of future space missions in global measurements of possible emissions together for the understanding of the physical mechanisms at the origin of these phenomena and their effects on the Earth's environment.

The middle atmosphere which contains the stratospheric ozone layer and plays an important role in the radiative budget of the Earth is then discussed by **Hauchecorne et al. (2010)**. They point out the need for observations to improve knowledge in this region and to predict its evolution in relation to global climate changes. In-situ and remote sensing ground-based measurements provide a detailed but localized description of the state of the atmosphere nicely completed by spaceborne instruments which allow observing atmospheric parameters at a global scale.

**Pommereau (2010)** shows how the analysis of recent data collected over Brazil, northern Australia and Africa from balloons, high altitude aircraft and satellites has revised our understanding of troposphere-to-stratosphere transport. Repeated observations demonstrate the high frequency of the occurrence of strong updrafts of tropospheric air, rich in chemical and greenhouse species, by

de leur faible amplitude comparée à celle du forçage radiatif, sont susceptibles, même si la physique qui les sous-tend n'est pas encore bien établie, d'avoir un effet de levier significatif sur l'atmosphère terrestre, sur des échelles de temps allant de la journée aux millénaires. Le sujet de l'évolution du climat au cours du temps est alors analysé par **Paillard (2010)** qui aborde les deux théories mises en avant pour expliquer les séquences de périodes glaciaires et interglaciaires : d'une part, la variation des éléments orbitaux de la Terre, d'autre part, les changements de concentration du dioxyde de carbone de l'atmosphère.

Une discussion complète du bilan radiatif de la planète est pilotée par **Robert Kandel et Michel Viollier<sup>2</sup>** (2010) dont les conclusions indiquent que seules les observations depuis l'espace sont à même de fournir une couverture globale satisfaisante des différents flux d'énergie qui déterminent le climat à la surface de la Terre. Ils décrivent les méthodes sur lesquelles se fondent une palette d'instruments de mesure embarqués sur différents satellites. Leurs données d'observation ont permis d'établir les connaissances actuelles du bilan radiatif de la Terre au « sommet de l'atmosphère ». Plusieurs missions spatiales successives donnent des résultats cohérents sur la forme, la phase et l'amplitude du cycle annuel de l'équilibre radiatif planétaire. Le bilan radiatif à la surface et le bilan radiatif planétaire font l'objet d'une analyse critique. Il en est de même pour le niveau de détection de variations inter-annuelles et de tendances inter-décennales. Les priorités pour des travaux futurs concernent la nécessité de mieux quantifier les facteurs qui relient la sensibilité climatique aux modifications des propriétés radiatives de l'atmosphère et l'importance de la surveillance de l'évolution de la présente situation de déséquilibre.

À la suite de ces premiers articles relatifs au rayonnement solaire et au bilan radiatif de la Terre, **Barlier (2010)** donne une introduction sur la structure de l'atmosphère. Il insiste, en particulier, sur l'importance de l'observation des différentes couches et sur la nécessité d'appréhender les mécanismes d'interaction entre celles-ci. Il montre de quelle façon le développement de l'ingénierie (ballons, fusées sondes, avions et satellites artificiels) a révolutionné notre connaissance de l'atmosphère. **Blanc (2010)** décrit ensuite les phénomènes lumineux transitoires observés dans l'atmosphère moyenne et supérieure, qui constituent des manifestations d'échanges intenses d'énergie entre la troposphère, la stratosphère et la mésosphère. Elle recense les observations effectuées jusqu'à présent depuis l'espace, de ces phénomènes, et insiste sur les défis que posent l'observation globale future, depuis l'espace, de ces émissions sporadiques, ainsi que la compréhension des mécanismes physiques à l'origine de ces phénomènes et de leurs effets sur l'environnement de la Terre.

L'atmosphère moyenne, qui contient la couche d'ozone et joue un rôle important dans le bilan radiatif de la Terre, fait ensuite l'objet d'une analyse d'**Alain Hauchecorne et al. (2010)**. Ils soulignent le besoin d'observations afin d'améliorer la compréhension de cette région et de prévoir son évolution en fonction du changement climatique global. Les mesures in situ et par télédétection à partir du sol fournissent une description détaillée, mais localisée, de

<sup>1</sup> Deceased in 2009.

<sup>2</sup> Décédé en 2009.

convective overshooting over the three continents. Global scale information provided by ODIN and CALIPSO satellite observations suggests that this mechanism could play a major role in troposphere-to-stratosphere transport in contrast to the generally evoked slow ascent by radiative heating. This indicates a potential weakness of global scale atmospheric models which might have an impact on the chemistry and climate of the stratosphere.

A specific discussion is then presented by Godin-Beekmann (2010) on the stratospheric ozone and the chemical compounds which play a role in stratospheric chemistry. Since its discovery in the early 1980s, observations from space have been widely used to evaluate and quantify the spatial extension of polar ozone depletion and the decreasing trends in function of latitude and height. Several assessments on the state of the ozone layer have been published after the signature of the Montréal protocol, largely using satellite observations and atmospheric models with data assimilation.

Moving to the troposphere, remote sensing from satellites has become an essential component of observational strategy deployed to monitor atmospheric pollution and changing composition. Clerbaux et al. (2010) describe this decadal revolution where remote sensors using the thermal infrared spectral range have demonstrated their ability to sound the troposphere and provide global distribution for some of the key atmospheric species. Their article illustrates three operational applications made possible with the IASI instrument onboard the European satellite MetOp, which opens new perspectives for routine observation of the evolution of atmospheric composition from space.

The assimilation of data in chemistry follows the tracks open by the meteorologists who have shown the systematic improvements of numerical weather forecasts using the satellite observations. Poli (2010) presents this process of data assimilation which corrects the state of the numerical model with physical observations of the real world, enabling this achievement. Satellite data assimilation has greatly supported the progress in numerical weather prediction and holds promises for climate studies.

Among the basic variables that characterize the thermodynamic state of the atmosphere, wind is relatively poorly observed. Dabas (2010) describes the capacity of the measurement network and shows its weaknesses that should be overcome with the launch in 2011 of the European satellite ADM-Aeolus, a space-based Doppler lidar currently under development at the European Space Agency.

Prigent (2010) presents the satellite observations that have allowed significant advances during the last decade in quantifying precipitation, especially with the contribution of the TRMM mission. Observations at different wavelengths (visible, infrared, and microwaves), in both active and passive modes in the microwaves, are analyzed and eventually coupled to produce records of precipitation estimates over the globe, with up to hourly time sampling.

The water and energy cycles are major elements of the Earth's climate, especially active in the intertropical belt

l'état de l'atmosphère que viennent, à l'échelle globale, heureusement compléter les mesures faites à l'aide d'instruments embarqués sur des satellites.

Pommereau (2010) montre en quoi l'analyse de données collectées au-dessus du Brésil, du Nord de l'Australie et de l'Afrique à l'aide de ballons, d'avions volant à haute altitude et de satellites ont permis de réviser notre compréhension des échanges entre la troposphère et la stratosphère. La répétition des observations fait apparaître le caractère fréquent de fortes ascendances d'air troposphérique, riche en espèces chimiques et en gaz à effet de serre, induites par des phénomènes convectifs violents se produisant au-dessus des trois continents. Les informations à l'échelle globale fournies par les satellites d'observation ODIN et CALIPSO suggèrent que le mécanisme mis en jeu pourrait jouer un rôle majeur dans les transports de matière entre troposphère et stratosphère et remettre en cause l'idée généralement admise d'une ascendance lente, induite par le chauffage radiatif de l'atmosphère. Ceci met en évidence un point faible potentiel des modèles atmosphériques à l'échelle globale, qui pourrait avoir une incidence sur la chimie et le climat de la stratosphère.

Une analyse spécifique de Sophie Godin-Beekmann (2010), sur l'ozone stratosphérique et les composés chimiques qui jouent un rôle dans la chimie stratosphérique, est alors présentée. Depuis la découverte du trou d'ozone polaire au début des années quatre-vingt, les observations spatiales ont largement contribué à détecter et quantifier son extension spatiale, ainsi que l'évolution de la concentration d'ozone en fonction de la latitude et de l'altitude. Plusieurs rapports relatifs à l'état de la couche d'ozone ont été publiés après la signature du protocole de Montréal. Ceux-ci font largement appel aux données des observations satellitaires et à leur « assimilation » dans les modèles atmosphériques.

En ce qui concerne la troposphère, les satellites de télédétection sont devenus une composante essentielle de la stratégie d'observation déployée pour surveiller la pollution atmosphérique et les changements de composition. Clerbaux et al. (2010) décrivent la « révolution » de la dernière décennie, au cours de laquelle sont apparus des capteurs dans la gamme spectrale de l'infrarouge permettant d'assurer un sondage de la troposphère et de fournir une distribution globale de plusieurs espèces chimiques essentielles. Leur article met en exergue trois applications opérationnelles, rendues possibles grâce à l'instrument IASI à bord du satellite européen MetOp, qui ouvrent de nouvelles perspectives d'observation de routine de l'évolution de la composition atmosphérique depuis l'espace.

L'assimilation des données chimiques emprunte en fait les voies ouvertes par les météorologues qui ont montré que des améliorations systématiques des prévisions numériques du temps découlaient de telles assimilations. Poli (2010) présente ce processus d'assimilation de données qui ajuste les modèles numériques aux observations physiques du « monde réel ». L'assimilation des données satellitaires a largement contribué à l'amélioration de la qualité des prévisions numériques du temps et s'avère être une voie très prometteuse pour les études de climat.

Parmi les variables de base qui permettent d'appréhender l'état thermodynamique de l'atmosphère, le vent est relativement mal observé. Dabas (2010) décrit les

where satellites provide the most suitable observational platforms. Roca et al. (2010) recount the observations of the water cycle and of the radiation budget from space. The last two decades have seen a number of milestones regarding the distribution of rainfall, mesoscale convective systems, water vapour and radiation at the top of the atmosphere. Beyond dedicated missions and field campaigns, the advent of the long record of meteorological satellites lead to new questions on the homogenisation of the data time series, decadal variability and long term trends. Actual challenges are a deeper understanding of the role of cloud systems in the monsoon circulation, documentation of the water and energy cycle at the scale of these cloud systems, a search for better adequation between the users' needs and the satellite estimate of rainfall, and finally, a much needed methodological effort for estimating climatic trends in the water and energy cycle in the Tropics. The required observations to address these challenges are presented, with emphasis on the upcoming Megha-Tropiques mission.

This review ends with two papers which present two fields which participate to the characterization of the troposphere and its evolution: aerosols and greenhouse gases.

Tanré (2010) reviews the methods presently available and expected in the near future for retrieving the tropospheric aerosol properties from remote sensing. Since all the aerosol properties cannot be derived from space, measurements performed from the surface are used for adjusting the parameters that are not directly accessible and for limiting the variability of the parameters that present a weaker sensitivity. The derived aerosol properties include the column concentration (expressed by the aerosol optical depth), the size (given by distribution of the aerosol in 2 to 3 size modes or measurement of the Angström coefficient), composition (expressed by the refractive index), shape and vertical profile.

Despite their primary contribution to climate change, there are still large uncertainties on the sources and sinks of the main greenhouse gases, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>) and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O). A better knowledge of these sources is necessary to understand the processes that control them and therefore to predict their variations. Sources and sinks of these gases generate spatial and temporal gradients that can be measured either in-situ or from space. At continental scales the surface fluxes can be estimated from concentration measurements through a so-called atmospheric inversion. Bréon and Ciais (2010) discuss the potential of high density spaceborne observations for a much higher resolution. Several remote sensing techniques can be used to measure atmospheric concentration of greenhouse gases. They have motivated the development of spaceborne instruments, some of them already in space and others under development. The accuracy of current estimates is still not sufficient to improve our knowledge of the greenhouse gas sources and sinks. Rapid improvements are expected during the coming years, with a strong implication of the scientific community and the launch of dedicated instruments, optimized for the measurement of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> concentrations.

performances du réseau de mesure et en souligne ses faiblesses qui devraient être surmontées avec le lancement en 2011 du satellite européen ADM-Aeolus emportant un lidar Doppler en cours de développement, sous l'égide de l'Agence spatiale européenne.

Prigent (2010) présente des observations satellitaires qui ont permis d'obtenir des avancées significatives au cours des dix dernières années dans la quantification des précipitations, tout particulièrement avec l'apport de la mission TRMM. Des observations à différentes longueurs d'onde (visibles, infrarouges, micro-ondes), à l'aide de systèmes actifs et passifs en ce qui concerne les micro-ondes, sont analysées et éventuellement couplées, dans le but de produire des relevés de précipitations sur le globe avec, dans le meilleur des cas, un échantillonnage horaire.

Les cycles de l'énergie et de l'eau sont des éléments essentiels du climat de la Terre. Ils sont particulièrement actifs dans les zones intertropicales où les satellites constituent les plates-formes d'observation les plus adaptées. Roca et al. (2010) recensent les observations du cycle de l'eau et du bilan radiatif depuis l'espace. Les deux dernières décennies ont permis de franchir un certain nombre d'étapes en ce qui concerne la répartition des précipitations, les systèmes convectifs à mésoéchelle, la vapeur d'eau et le rayonnement au sommet de l'atmosphère. Au-delà de missions dédiées et de campagnes de mesures, la disponibilité de longues séries de mesures obtenues grâce aux satellites météorologiques a fait émerger de nouvelles questions sur l'homogénéisation des séries temporelles de données, la variabilité décennale et les tendances à long terme. Les défis actuels portent sur un approfondissement de la compréhension du rôle des systèmes nuageux dans la circulation associée à la mousson, sur l'appréhension des cycles de l'eau et de l'énergie à l'échelle de ces systèmes nuageux, sur la recherche d'une meilleure adéquation entre les estimations satellitaires des précipitations et les besoins des utilisateurs, et, finalement, sur un impérieux effort méthodologique pour la détermination de l'évolution des cycles de l'eau et de l'énergie des tropiques. Les observations requises pour faire face à ces défis sont expressément soulignées et devraient pouvoir être fournies par la mission Megha-Tropiques en cours de préparation.

Le numéro thématique comprend enfin deux articles relatifs à deux domaines de recherche liés à la caractérisation de la troposphère et à son évolution : les aérosols et les gaz à effet de serre.

Tanré (2010) passe en revue les méthodes disponibles et en cours d'élaboration visant à obtenir les propriétés des aérosols troposphériques à l'aide de moyens de télédétection. Dans la mesure où l'ensemble des propriétés des aérosols ne sont pas accessibles depuis l'espace, des mesures effectuées à partir de la surface sont prises en compte pour ajuster les paramètres qui ne sont pas directement détectables et pour limiter la variabilité de paramètres présentant une plus faible sensibilité. Les propriétés des aérosols qui peuvent être déduites des observations satellitaires sont le contenu total (exprimé en épaisseur optique de la colonne d'aérosols), la taille (donnée par la distribution des aérosols selon 2 ou 3 modes ou par la mesure du coefficient Angström), la composition (exprimée en fonction de l'indice de réfraction) et la distribution verticale.

## Acknowledgements

Pierre Bauer and Pascale Delécluse wish to thank sincerely the *Centre national d'études spatiales* (CNES) and the *Institut Pierre Simon Laplace* (IPSL) for financial support for the production of this issue.

Pascale Delécluse, Pierre Bäuer\*  
*Groupe d'étude de l'atmosphère météorologique (GAME),  
 URA 1357, Météo France,  
 Centre national de recherche météorologique,  
 42, avenue Gaspard-Coriolis,  
 31057 Toulouse cedex 1, France*

\*Corresponding author.  
 E-mail addresses: [Pascale.delecluse@meteo.fr](mailto:Pascale.delecluse@meteo.fr)  
 (Pascale Delécluse)  
[pierre.bauer@meteo.fr](mailto:pierre.bauer@meteo.fr) (Pierre Bäuer).

En dépit de leur importance essentielle en terme de changement climatique, les sources et les puits des principaux gaz à effet de serre (dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), méthane (CH<sub>4</sub>), et oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O)) ne sont connus qu'avec de larges incertitudes. Une meilleure connaissance de ces sources est nécessaire, afin de comprendre les mécanismes qui les contrôlent et, par conséquent, prévoir leurs variations. Les puits et les sources de ces gaz engendrent des gradients spatiaux et temporels qui peuvent être déterminés in situ ou depuis l'espace. Aux échelles continentales, les flux de surface peuvent être estimés à partir de mesures de concentrations et l'emploi de « méthodes inverses ». Bréon and Ciais (2010) évaluent l'apport potentiel d'observations depuis l'espace, avec des taux d'échantillonnage élevés permettant d'accroître considérablement la résolution spatiale. Plusieurs techniques de télédétection peuvent être mises en œuvre pour mesurer la concentration des gaz à effet de serre. Elles ont donné lieu au développement d'instruments spatiaux dont certains sont déjà en opération et d'autres en cours d'élaboration. Les précisions atteintes actuellement ne sont toutefois pas encore suffisantes pour améliorer la connaissance des sources et des puits des gaz à effet de serre. Des progrès rapides sont attendus pour les années qui viennent. La communauté scientifique est fortement mobilisée dans l'attente du lancement d'instruments adéquats dédiés à la mesure des concentrations de CO<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub>.

## Remerciements

Pierre Bauer et Pascale Delécluse sont très reconnaissants au Centre national d'études spatiales (CNES) et à l'Institut Pierre Simon Laplace (IPSL) de leur avoir accordé une subvention pour la réalisation de ce Fascicule.

Pascale Delécluse, Pierre Bäuer\*  
*Groupe d'étude de l'atmosphère météorologique (GAME),  
 URA 1357, Météo France,  
 Centre national de recherche météorologique,  
 42, avenue Gaspard-Coriolis,  
 31057 Toulouse cedex 1, France*

\*Auteur correspondant.  
 Adresses e-mail : [Pascale.delecluse@meteo.fr](mailto:Pascale.delecluse@meteo.fr)  
 (Pascale Delécluse)  
[pierre.bauer@meteo.fr](mailto:pierre.bauer@meteo.fr) (Pierre Bäuer).

## References

- Barlier, F., 2010. Observations of Earth's atmosphere: Introductory remarks. *C. R. Geoscience* 342, 301–311.
- Blanc, E., 2010. Space observations of Transient Luminous Events and associated emissions in the upper atmosphere above thunderstorm areas. *C. R. Geoscience* 342, 312–322.
- Bréon, F.-M., Ciais, P., 2010. Spaceborne remote sensing of greenhouse gas concentrations. *C. R. Geoscience* 342, 412–424.
- Cazenave, A., Boucher, C., 2006. Observing the Earth from space. *C. R. Geoscience*, 338 (14–15), 743–948.
- Clerbaux, C., Turquety, S., Coheur, P., 2010. Infrared remote sensing of atmospheric composition and air quality: Towards operational applications. *C. R. Geoscience* 342, 349–356.
- Dabas, A., 2010. Observing the atmospheric wind from space. *C. R. Geoscience* 342, 370–379.
- Dudok de Wit, T., Watermann, J., 2010. Solar forcing of the terrestrial atmosphere. *C. R. Geoscience* 342, 259–272.
- Godin-Beekmann, S., 2010. Spatial observation of the ozone layer. *C. R. Geoscience* 342, 339–348.
- Hauchecorne, A., Keckhut, Ph., Claud, Ch., Dalaudier, F., Garnier, A., 2010. Observation of the thermal structure and dynamics of the stratosphere and the mesosphere from space. *C. R. Geoscience* 342, 323–330.
- Kandel, R., Viollier, M., 2010. Observation of the Earth's Radiation Budget from Space. *C. R. Geoscience* 342, 286–300.
- Paillard, D., 2010. Climate and the orbital parameters of the Earth. *C. R. Geoscience* 342, 273–285.

- Poli, P., 2010. Assimilation of satellite observations of the atmosphere. *C. R. Geoscience 342*, 357–369.
- Pommereau, J.P., 2010. Troposphere-to-stratosphere transport in the tropics. *C. R. Geoscience 342*, 331–338.
- Prigent, C., 2010. Precipitation retrieval from space: an overview. *C. R. Geoscience 342*, 380–389.
- Roca, R., Bergès, J.-C., Brogniez, H., Capderou, M., Chambon, Ph., Chomette, O., Cloché, S., Fiolleau, T., Jobard, I., Lémond, J., Ly, M., Picon, L., Raberanto, P., Szantai, A., Viollier, M.<sup>†</sup>, 2010. On the water and energy cycle in the Tropics. *C.R. Geoscience, 342*, 390–402.
- Tanré, D., 2010. Derivation of tropospheric aerosol properties from satellite observations. *C. R. Geoscience 342*, 403–411.