



Utilisation de la grille pour la simulation de température de brillance dans une atmosphère nuageuse composée de cirrus

Thomas Fauchez⁽¹⁾, Céline Cornet⁽¹⁾, Fabrice Ducos⁽¹⁾, Philippe Dubuisson⁽¹⁾, Frédéric Szczap⁽²⁾

(1) Laboratoire d'optique Atmosphérique, Université Lille 1 Sciences et Technologies, Villeneuve d'Ascq

(2) Laboratoire de Météorologie Physique, Université Blaise Pascal, Clermont- Ferrand

Résumé

Les nuages sont un des principaux modulateurs du bilan radiatif terrestre. Leur suivi et leur connaissance sont essentiels dans un contexte de changement climatique. Les observations faites à partir de plateformes satellites sont particulièrement adaptées à cette surveillance globale de leurs évolutions. Dans cette étude, nous nous sommes focalisés sur le radiomètre infrarouge IIR/CALIPSO développé par le CNES et mis en orbite en 2006. Afin d'analyser et d'extraire des informations des mesures radiatives de ce type d'instrument, il est nécessaire de disposer d'un code de transfert radiatif précis, performant et permettant des simulations réalistes c'est-à-dire dans une atmosphère nuageuse tridimensionnelle. Ces codes existent et ont été validés mais ils présentent généralement des temps de calcul rédhibitoires pour mener des études approfondies. L'utilisation de la grille nous a permis d'étudier les effets des hétérogénéités des nuages pour différents cas de cirrus aux trois longueurs d'onde du radiomètre IIR dans des temps acceptables. Ce type d'étude permet d'estimer les limites de validité des algorithmes opérationnels d'inversion de paramètres nuageux, ce qui est indispensable pour les utilisateurs des produits nuageux issus de satellites.

Abstract

Clouds are one of the main contributors of the Earth radiative budget. It is essential to follow their evolution and improve our knowledge, in particular in the current context of climate change. Satellite observations are very well adapted to the monitoring of clouds, as they are global and temporally continuous. In this study, we focus on the French infrared radiometer IIR/CALIPSO developed by the CNES and launched in 2006. In order to analyze and obtain information from the radiative measurements made by IIR, it is necessary to have an efficient radiative transfer model that is able to make accurate and realistic simulations. Realistic means that the model should be able to compute radiative transfer in a tridimensional atmosphere. Such codes exist and are validated but they are often so time consuming that it is not possible to made extensive studies. The use of the grid made possible the study of cloud heterogeneity effects for different cirrus and for the three IIR wavelengths in a suitable time. These works lead to assess the limits of the operational cloud parameter algorithms, which is necessary for the users of the satellites cloud products.

Contexte scientifique

Les nuages jouent un rôle prépondérant dans le système Terre-Atmosphère en particulier en terme de bilan radiatif. En effet, les nuages bas ont plutôt tendance à refroidir la surface terrestre en renvoyant le rayonnement solaire vers l'espace, alors que les nuages hauts conduisent plutôt à un réchauffement par effet de serre. Dans un contexte de changement climatique, il est très important de connaître les évolutions des propriétés de la couverture nuageuse, la rétroaction des nuages demeurant une des incertitudes majeures dans les modèles de prévision climatique (IPCC, 2007). En effet, les nuages présentent des variabilités spatiales et temporelles importantes de leurs propriétés macroscopiques (couverture nuageuse, épaisseur géométrique, quantité d'eau), mais aussi microphysiques (distribution en taille et en forme de particules dans le cas des cirrus) et sont difficiles à représenter correctement.

Un des moyens d'observation privilégié pour l'étude des nuages repose sur l'observation depuis des plateformes satellites qui donne accès à une couverture globale et quasi-continue de la planète. Au cours de ce travail, nous nous sommes particulièrement intéressés à l'instrument français IIR/CALIOPI (Imaging Infrared Radiometer) développé par le CNES et mis en orbite depuis 2006. C'est un radiomètre imageur permettant la mesure de luminances dans trois canaux de la fenêtre atmosphérique 8.65 μm , 10.6 μm et 12.05 μm .

Transfert radiatif dans une atmosphère nuageuse : Intérêt de la grille

Afin d'analyser les observations effectuées par les instruments spatiaux et ainsi de pouvoir en extraire des informations sur les paramètres atmosphériques tels que les nuages, il est nécessaire de modéliser le transfert radiatif de manière réaliste. Actuellement, pour des raisons de temps de calcul, les algorithmes opérationnels utilisent des tables d'interpolation basées sur un calcul simplifié de transfert radiatif : chaque colonne est supposée indépendante et homogène.

Cependant, comme chacun peut le voir en regardant le ciel, l'hypothèse d'homogénéité n'est pas réaliste pour les nuages. De plus, le rayonnement interagit dans un espace à trois dimensions et dans de nombreux cas, l'interaction du rayonnement dans chaque « colonne » nuageuse est dépendant de ses voisines.

Afin d'évaluer les erreurs et les biais induits par la représentation des nuages dans les algorithmes classiques, il est nécessaire de disposer d'un modèle plus complexe qui puisse effectuer un calcul dans un espace tridimensionnel. Au cours de ce travail, nous avons utilisé un code de Monte-Carlo, 3DMCPOL (Cornet et al., 2010). Ce code permet des calculs très réalistes en découpant l'atmosphère en voxels de dimensions choisies et en simulant statistiquement le chemin parcouru par des photons dans l'atmosphère. La précision de la simulation est, de fait, complètement dépendante du nombre de photons suivis et donc du temps de calcul.

Dans notre étude, nous souhaitons une précision inférieure à celle de l'instrument IIR qui est de 1K. Pour une atmosphère nuageuse composée de 100x100x50 voxels, cela revient à suivre entre 15 et 60 milliards de photons en fonction du nuage considéré.

A titre d'exemple, nous avons représenté sur la figure 1 (à droite), le champ de températures de brillance (déduite des luminances) obtenu pour un cirrus d'épaisseur optique moyenne 2 et présenté sur les deux figures de gauche. La surface terrestre correspond aux zones « les plus chaudes » en rouges, alors que les zones bleues correspondent au cirrus épais.

Sur un processeur de 2.8 Ghz, il faudrait donc environ 30000 heures soit 3ans et 155 jours pour calculer, avec une précision suffisante, le champ de températures de brillance comme celui représenté sur la figure 1. Pour ce travail, nous avons simulé onze cas de cirrus dans les trois bandes de IIR ce qui conduit à environ 100 ans de calcul sur un monoprocesseur.

Au vu de ces chiffres, l'intérêt de la grille est évident. Nous avons pu réduire drastiquement ce temps de manière à ce que l'étude soit réalisable au cours d'une thèse. En effet, le chemin suivi par chaque photon est indépendant, nous pouvons donc séparer chaque simulation en x paquets de photons, et recombinaison à la fin du calcul nos résultats. Toutes les 12h, nous lançons sur la grille 400 jobs en parallèle, ce qui a permis d'effectuer un calcul en environ une semaine pour chaque cas et a donc rendu possible l'étude.

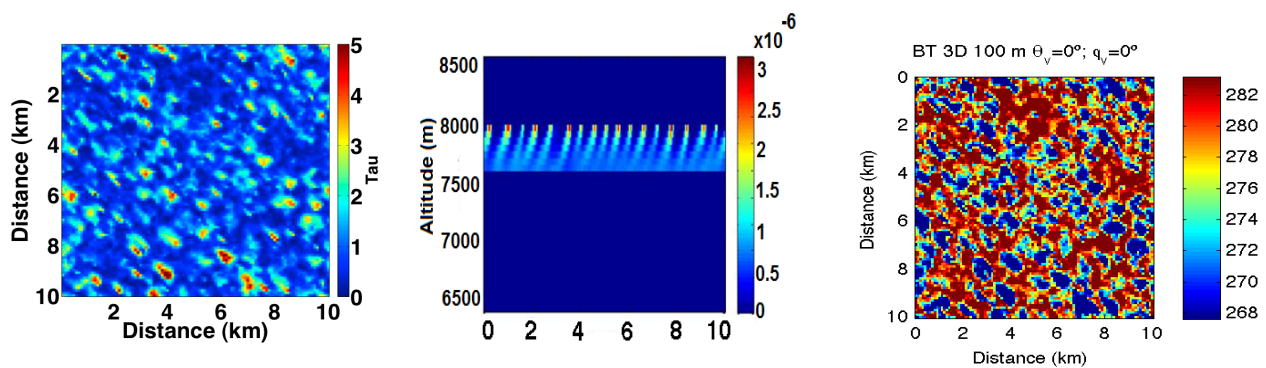


Figure 1 : Exemple d'un champ d'épaisseurs optiques de 10kmx10km (à gauche). Coupe 2D du contenu en eau où apparaissent les virgas caractéristiques de certains cirrus (au milieu). Champ de températures de brillance simulées à l'aide du code 3DMCPOL sur la grille EGI.

Principaux résultats obtenus

Cette étude nous a permis d'évaluer les effets 3D des cirrus sur les températures de brillance en comparant le résultat obtenu par une description et un calcul tridimensionnel du transfert radiatif, BT3D1km, et le résultat obtenu en moyennant les propriétés du nuage à l'échelle de 1kmx1km, BT1D1km, ce qui correspond au modèle nuageux utilisé dans les algorithmes d'inversion des paramètres nuageux. Sur la figure 2, sont représentés les différences obtenues pour l'ensemble des cirrus étudiés. Les principales conclusions sont (Fauchez et al., 2013):

- Les effets 3D sur les températures sont directement corrélés à la variance de l'épaisseur optique à l'intérieur du pixel de 1km x 1km.
- Les effets 3D sont dominés par le Biais Plan-Parallèle (BPP). Le BPP résulte de la relation non linéaire qui relie la température de brillance à l'épaisseur optique. En effet, la moyenne des températures de brillance associées à un champ d'épaisseur optique sera toujours supérieure à la température de brillance associée à l'épaisseur optique moyenne du champ. Cet effet peut atteindre plus de 15 K dans les cas de cirrus très hétérogènes. Ensuite, viennent l'effet de la moyenne verticale des propriétés nuageuses de la colonne (jusqu'à 3 K) et les effets de transports horizontaux de photons (moins de 1 K pour la bande 8.65 μm , la plus diffusante, à 1km x 1km).
- Les effets 3D augmentent avec l'épaisseur optique moyenne du cirrus ou du pixel, ainsi qu'avec l'hétérogénéité du cirrus mais diminuent avec l'augmentation du diamètre effectif des cristaux de glace. En effet quand ce dernier augmente, les cristaux deviennent de plus en plus diffusants, le BPP diminue alors rapidement.
- Les effets 3D deviennent significatifs (c'est-à-dire supérieurs à la précision instrumentale d'environ 1 K de l'IIR) à partir d'une épaisseur optique de 0.4 à 12.05 μm (voir figure 1), qui correspond à une épaisseur optique de 0.3 dans le visible à 532 nm (définition de cirrus optiquement épais).

A partir de ces températures de brillance réalistes, nous avons dans une deuxième partie de ce travail, utilisé les algorithmes d'inversion opérationnel afin de déterminer les erreurs et biais introduits sur les quantités restituées telles que l'épaisseur optique du cirrus, le diamètre effectif des cristaux de glace. Ces informations sont primordiales pour la communauté des utilisateurs de ces produits satellites.

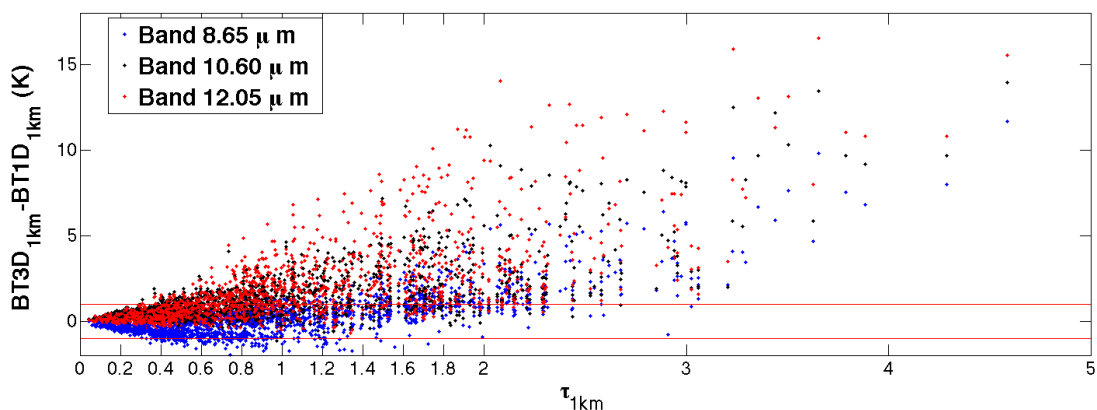


Figure 2 : Différence de température de brillance entre les BT3D1km et BT1D1km en fonction de l'épaisseur optique pour 2000 pixels nuageux différents par bandes d'énergie. Les traits rouges symbolisent la précision instrumentale de +/- 1 K de IIR.

Conclusion

Grâce à l'utilisation de la grille, nous avons pu effectuer une étude relativement exhaustive sur les effets de l'hétérogénéité des cirrus sur les mesures et les produits du radiomètre infrarouge IIR (Imaging Infrared Radiometer) mis en orbite sur la plateforme satellite CALIOP depuis 2006.

L'avantage considérable de la grille est qu'elle permet de réduire considérablement le temps de calcul de notre modèle et rend donc certaines études possibles. Nous pouvons, néanmoins, citer un désavantage quant à l'utilisation de la grille, peut être lié à notre connaissance très succincte des possibilités de la grille, il concerne l'impossibilité de lancer des jobs en tâche de fond et la nécessité de se reconnecter toutes les 12h (ou 24h).

Remerciements

Les auteurs remercient très vivement France Grilles pour la mise à disposition des ressources de la grille EGI ainsi que David Weissenbach pour le développement des scripts permettant le lancement de nos jobs sur la grille et particulièrement bien adaptés à notre problème. Nous remercions également le Centre de Ressources Informatiques de Lille1 pour la mise à disposition d'un point d'entrée sur la grille et en particulier Cyrille Bonamy dont l'aide a été précieuse à plusieurs reprises.

Nous remercions aussi le CNRS et la DGA qui ont financé la thèse de Thomas Fauchez.

Références

Cornet C., L. C-Labonnote and F. Szczap, 2010, "Three-dimensional Polarized Monte-Carlo Atmospheric Radiative Transfer Model (3DMCPOL): 3D Effects on Polarized Visible Reflectances of a Cirrus Cloud", J. Quant. Spectrosc. Rad. Transfer 111, 174-186,.

Fauchez T., Cornet C., Szczap F., Dubuisson P. and Rosambert T., 2013 : Impacts of Cirrus Clouds Heterogeneities on TOA Thermal Infrared Radiation, soumis à ACPD

IPCC, 2007 : Climate Change 2007 : The physical science basis