

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

T. Fauchez⁽¹⁾, C. Cornet⁽¹⁾, F. Ducos⁽¹⁾, P. Dubuisson⁽¹⁾, and F. Szczap⁽²⁾

(1) Laboratoire d'Optique Atmosphérique (LOA), UMR CNRS 8518, Université Lille1, Villeneuve d'Ascq, France

(2) Laboratoire de Météorologie Physique (LAMP), UMR CNRS 6016, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France

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/CALIOP (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

Les nuages de glace



Photographie de cirrus uncinus

Propriétés	Moyenne	Intervalle	Ratio
Epaisseur	1.5 km	0.1-8 km	80 : 1
Altitude	9 km	4-20 km	5 : 1
Concentration en nombre des cristaux	30/L	10^{-4} - 10^4 /L	10^8 : 1
Contenu en glace	0.025 g.m^{-3}	10^{-4} - 1.2 g.m^{-3}	10^4 : 1
Taille du cristal	250 μm	1-8000 μm	8000 : 1
Forme du cristal	variable	Hautement variable	Elevé
Epaisseur Optique	0.5	0.01-3	300 : 1

Caractéristiques macrophysiques et microphysiques des cirrus (D K. Lynch et al, 2002)

- Formes filamenteuses résultant de forts vents d'altitude.
- Constitués de cristaux de glace principalement.
- Rôle important dans le bilan radiatif (effet de serre + effet parasol)

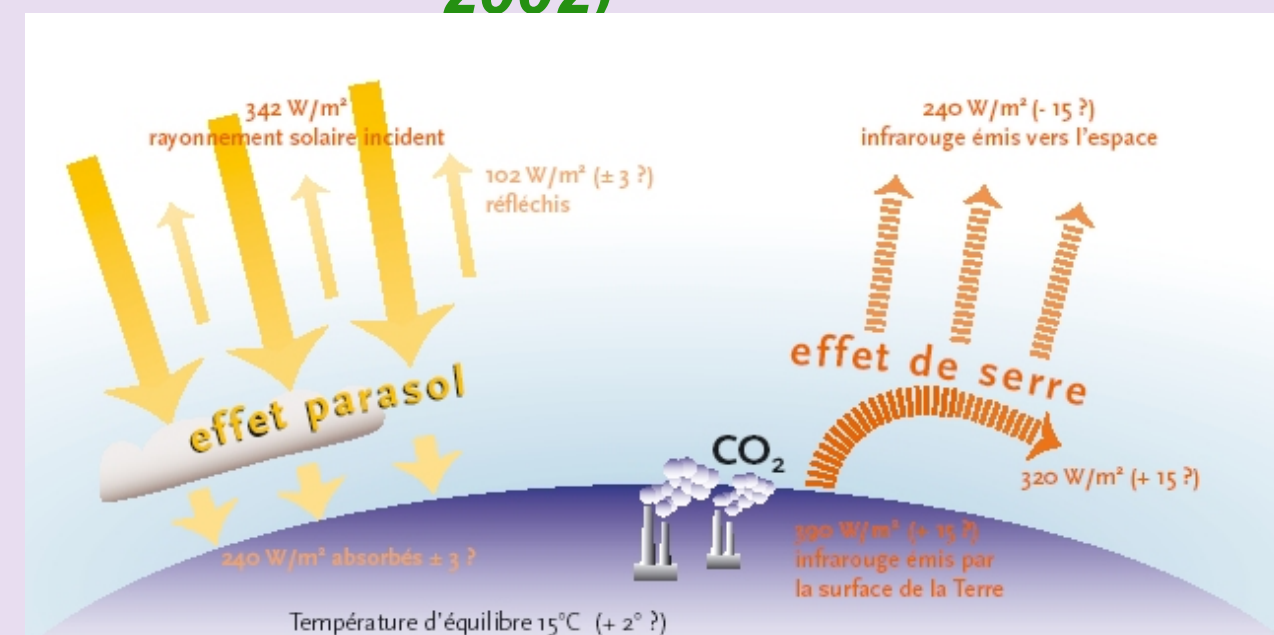
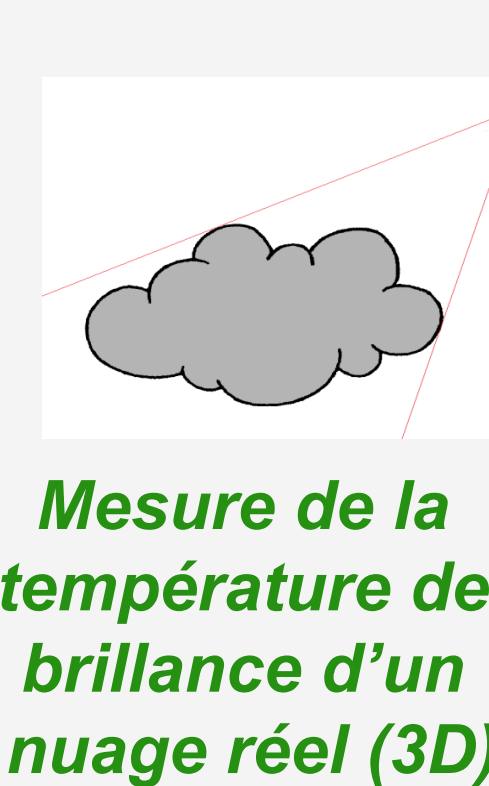


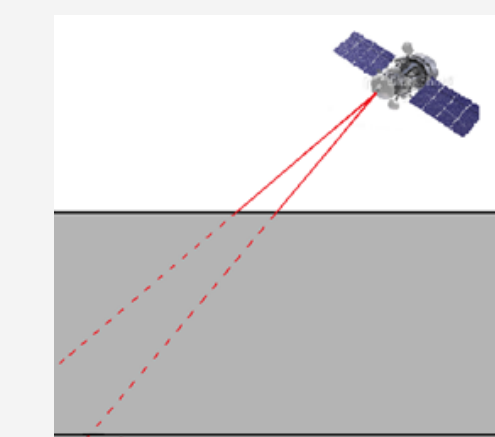
Schéma de l'effet parasol et de l'effet de serre

Problématique : Impacts des hétérogénéités nuageuses



Mesure de la température de brillance d'un nuage réel (3D)

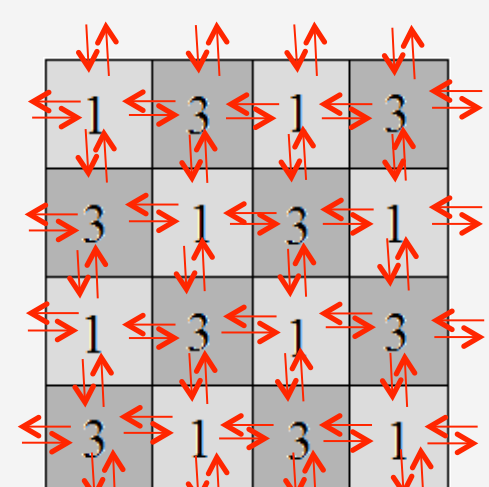
Inversion des paramètres nuageux sous Approximation du Pixel homogène Indépendant (IPA)



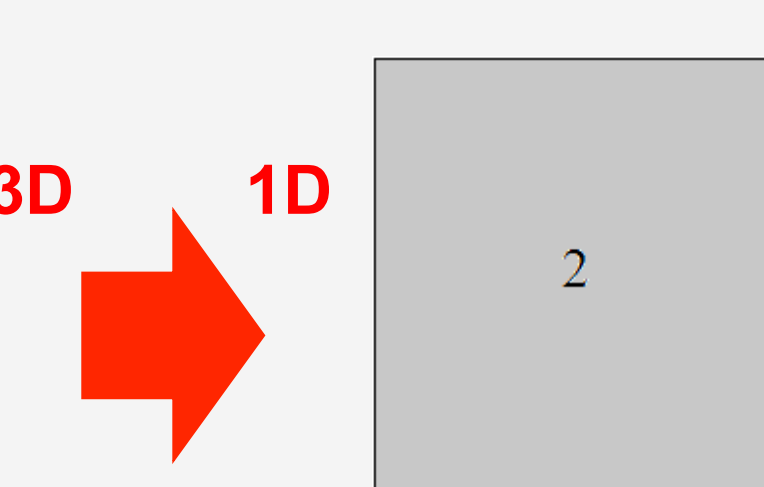
Hypothèse du nuage utilisée dans les algorithmes d'inversion.

➤ Biais sur les propriétés nuageuses restituées (diamètre effectif des cristaux de glace, l'épaisseur optique) ?

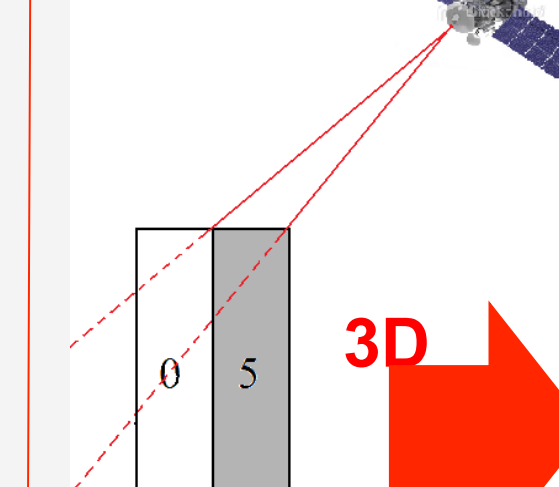
Biais dû à la résolution et à l'indépendance du pixel :



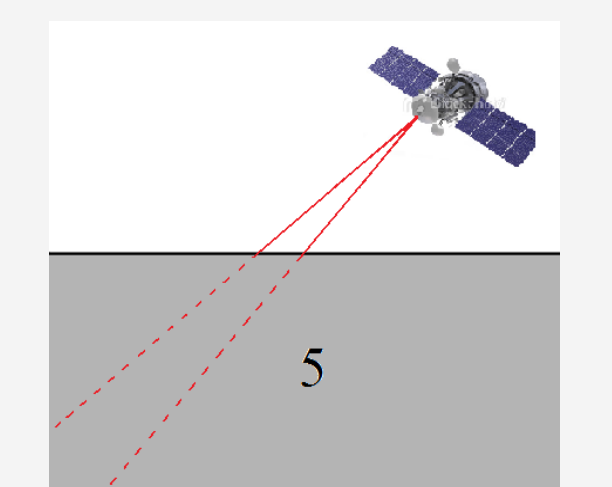
Champ d'épaisseurs optiques 3D à haute résolution (100m)



Pixel moyenné et indépendant à plus basse résolution (1km)



Ligne de visée traversant un nuage 3D

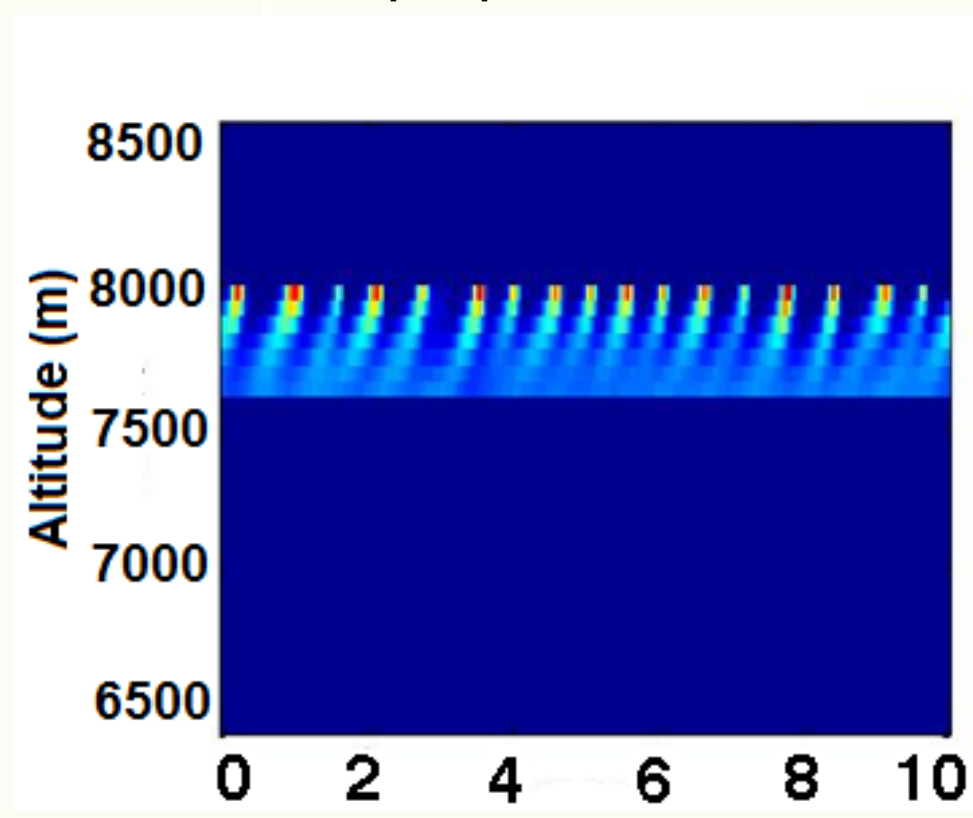


Ligne de visée traversant le pixel 2 avec l'IPA

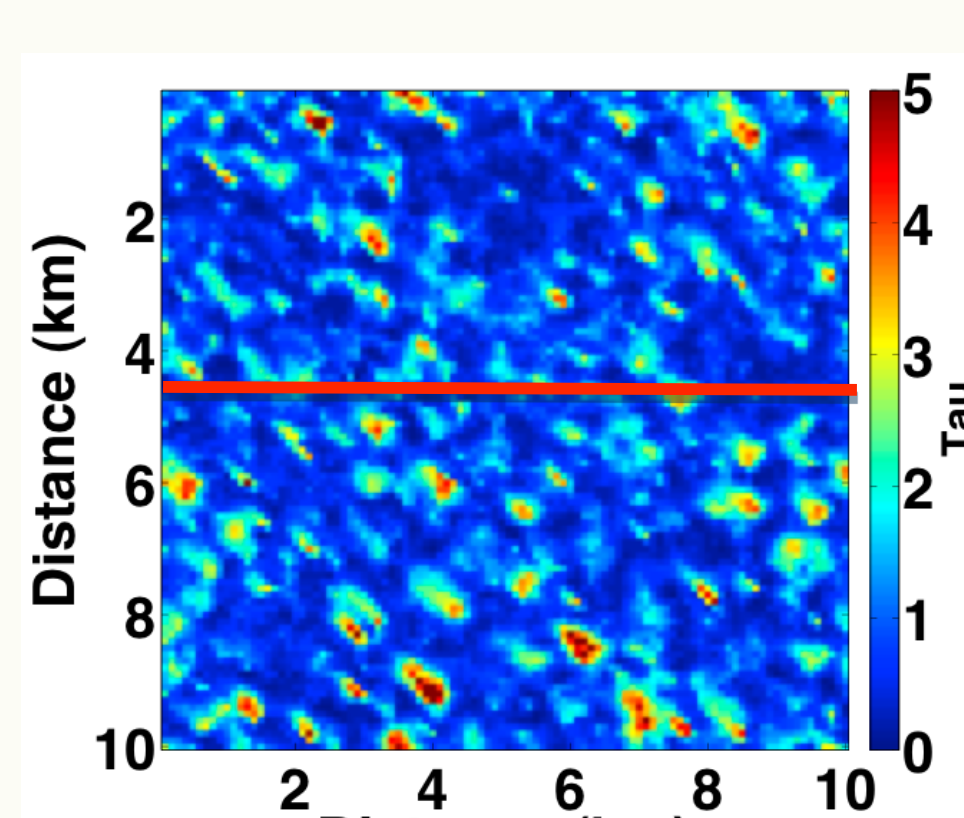
Génération de cirrus 3D et simulation du transfert radiatif 3D

Cirrus générés par le modèle 3DCLOUD

Génération d'un cirrus présentant des variabilités 3D de son contenu en glace à l'aide du modèle 3DCLOUD (Szczap et al., 2013) basé sur la résolution des équations de la dynamique atmosphérique simplifiées et utilise la transformée de Fourier pour le contrôle des propriétés d'invariance d'échelle



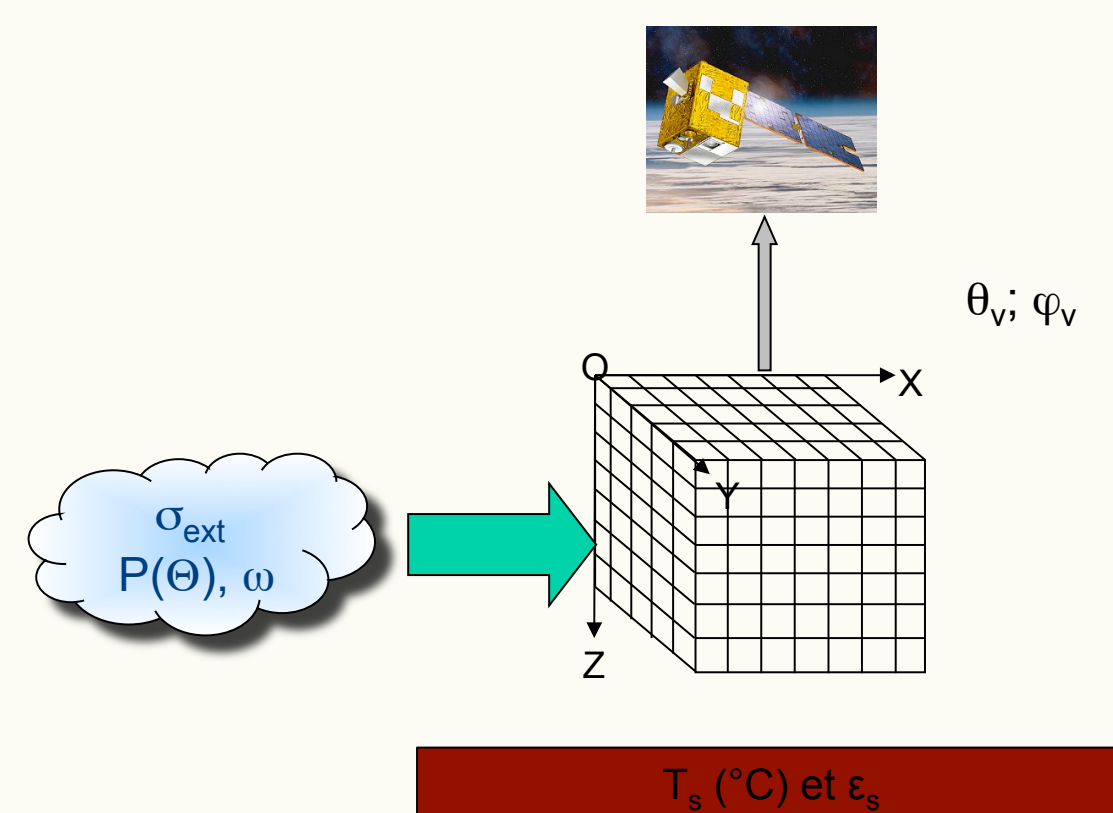
Exemple d'une section xz (ligne rouge) du contenu en eau



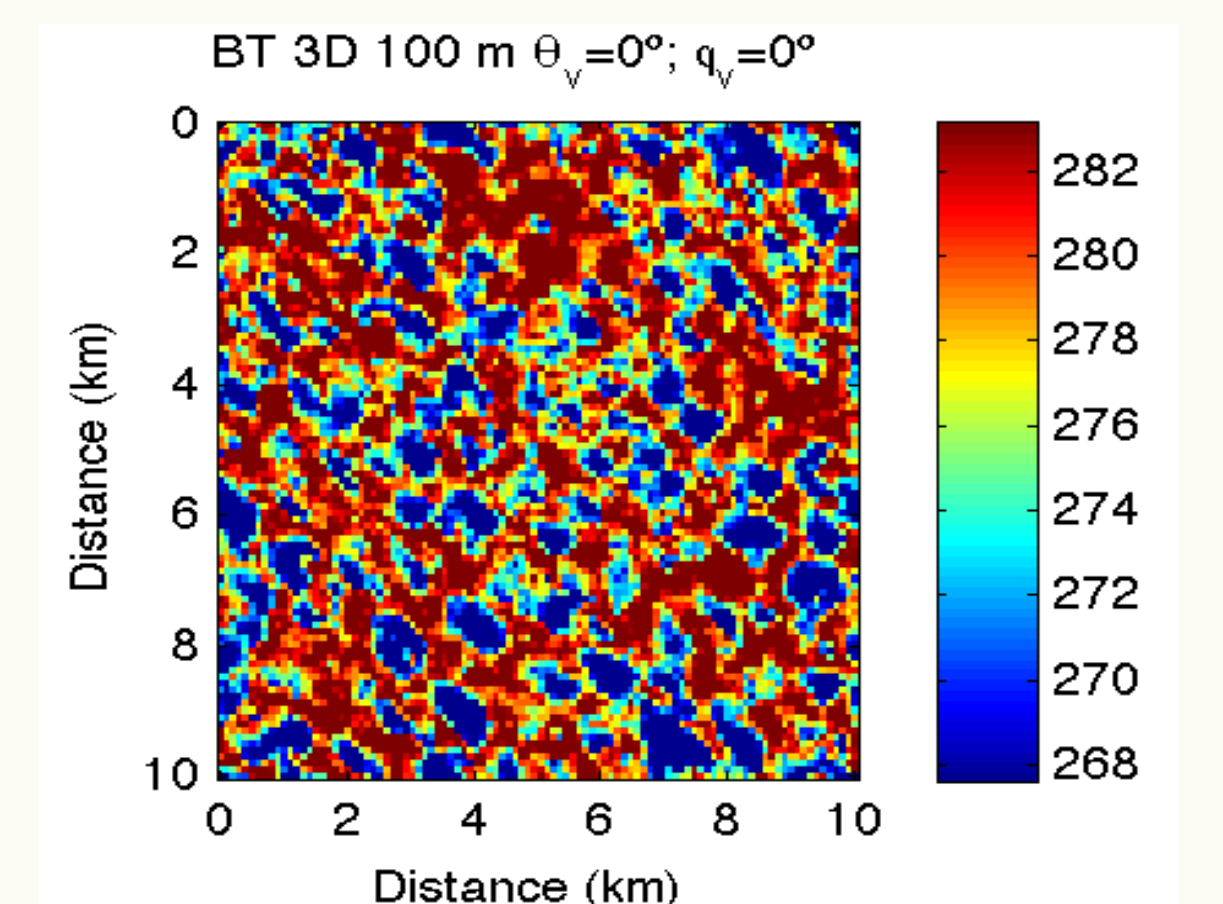
Exemple d'un champ d'épaisseurs optiques 10 km x 10 km.

Transfert radiatif avec le modèle de Monte-Carlo 3DMCPOL

- Algorithme de type Monte-Carlo avec suivi de photons à travers un nuage 3D décrit en voxels de dimensions choisies



Représentation simplifiée et schéma structurel d u code 3DMCPOL (Cornet et al., 2010)



Exemple d'un champ de températures de brillance simulé par 3DMCPOL à 12.05 μm .

Intérêt de la grille

- Pour une précision inférieure à 1K correspondant à celle de l'instrument IIR, pour un nuage de 100x100x50 voxels, nous devons suivre entre 15 et 60 milliards de photons. Nous avons simulé le transfert radiatif pour 11 cas de nuages dans 3 bandes spectrales.

- Avec un processeur de 2.8Ghz, pour un cas, il nous aurait fallu 30000 heures soit 3ans et 155 jours et donc pour les 11 cas et 3 bandes spectrales, environ 100 ans de calcul.

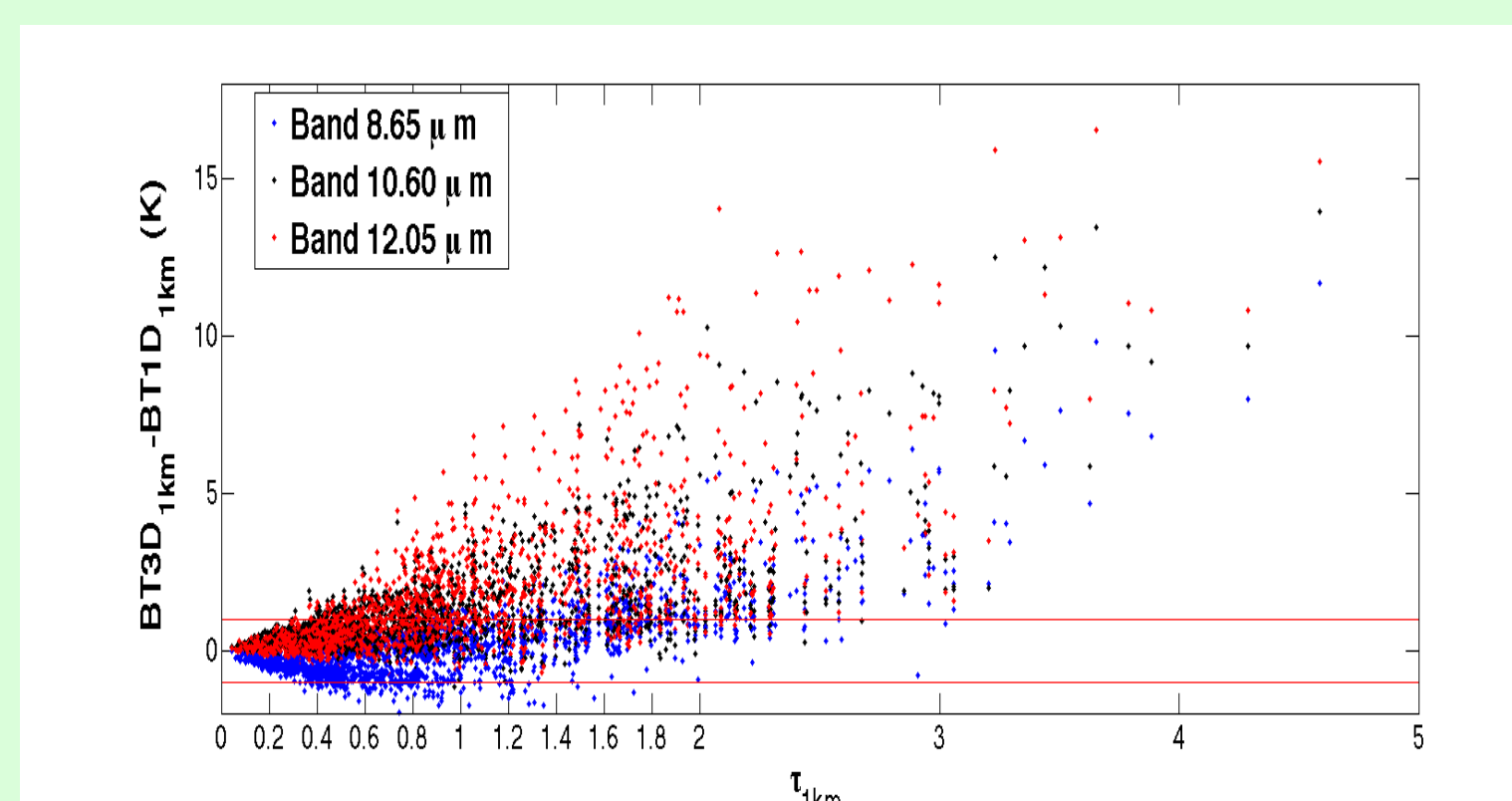
- Le suivi de chaque photon étant indépendant, nous avons pu facilement lancer des paquets de photons sur les différents nœuds de la grille et recombinaison les résultats à la fin du calcul. En utilisant la grille, nous avons pu lancer 400 jobs en parallèle toutes les 12h ce qui a permis de réduire le temps à une semaine de calcul pour chaque cas et donc de réaliser l'étude dans le temps imparti pour une thèse.

Principaux résultats :

- Les effets des hétérogénéités sur les températures de brillance sont corrélés à la variance de l'épaisseur optique.
- Ils sont principalement dus au biais plan parallèle.
- Les erreurs deviennent significatives c'est-à-dire supérieures à la précision instrumentale d'environ 1 K de IIR à partir d'une épaisseur optique de 0.4 à 12.05 μm qui correspond à un cirrus optiquement épais.

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, Atmos. Chem. Phys. Discuss., 13, 27459-27500, doi: 10.5194/acpd-13-27459-2013
- Fauchez T., Dubuisson, P., Cornet, C., Szczap, F., and Garnier, A., 2013 : Impacts of clouds heterogeneities on the cirrus optical properties retrieved from spatial thermal infrared radiometry, Atmos. Meas. Tech.
- Szczap F., Gour Y., Fauchez T., Cornet C., Faure T., Jourdan O., Dubuisson P., 2013: 3DCLOUD, a flexible three-dimensional stratocumulus, cumulus and cirrus cloud generator based on drastically simplified atmospheric equation and Fourier transform framework, Geo. Mod. Dev.



Différences de températures de brillance entre le TR 3D et le 1D

Remerciements : Nous remercions EGI / FRANCE et le Centre de Ressources Informatiques (CRI) de Lille 1 pour l'utilisation de leur réseau de calcul, en particulier David Weissenbach pour son aide précieuse dans le développement des scripts de lancement et Cyrille Bonamy pour ces nombreux dépannages. Nous remercions aussi la DGA, le CNRS et le PNTS pour leur support financier.