

# Simulateurs 3D de systèmes LIDAR et RADAR Doppler embarqués sur plateformes satellites

F. Szczap<sup>(1)</sup>, A. Alkajem<sup>(1)</sup>, C. Cornet<sup>(2)</sup>, O. Jourdan<sup>(1)</sup> and V. Shcherbakov<sup>(1)</sup>

(1) Laboratoire de Météorologie Physique (LaMP), Université Blaise Pascal, Aubière, France

(2) Laboratoire d'Optique Atmosphérique (LOA), Université des Sciences et Technologies de Lille, Villeneuve d'Ascq, France

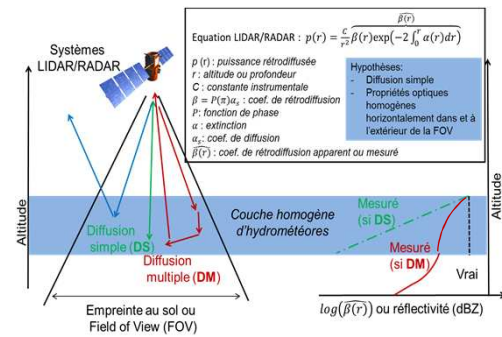
## Contexte scientifique

De part leur répétitivité spatio-temporelle, les observations spatiales sont des données de prédilection pour améliorer la climatologie des nuages.

Les systèmes LIDAR et RADAR embarqués sur plateformes satellites sont des instruments permettant d'obtenir des informations cruciales sur la distribution verticale des propriétés des nuages.

L'interprétation des observables LIDAR et RADAR est délicate car elle repose sur au moins deux hypothèses :

- 1) la diffusion multiple est négligée et
- 2) le nuage, plan parallèle, est homogène à l'intérieur et à l'extérieur du champ de vue (Field Of View ou FOV).



## Méthodologie

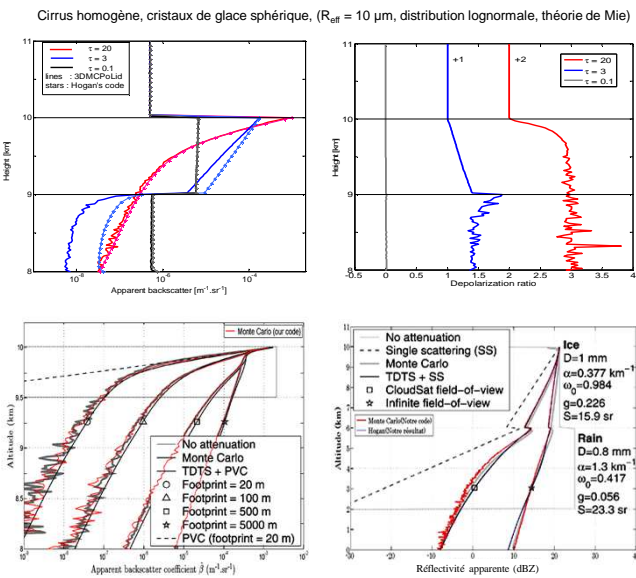
Nous développons un code tridimensionnel (3D) polarisé (Szczap et al., 2013) prenant en compte l'effet Doppler et la diffusion multiple. Il est basé sur 3DMCPOL (Cornet et al., 2010, voir aussi le poster « A 3D polarized radiative transfer model » de Cornet et al.) qui utilise une méthode de Monte Carlo, l'estimation locale et une méthode de réduction de la variance (Buras et al., 2011).

Il calcule le vecteur de Stokes  $\overline{S}(r; \Delta f)$  en fonction de la profondeur  $r$  et du décalage de fréquence  $\Delta f$ .

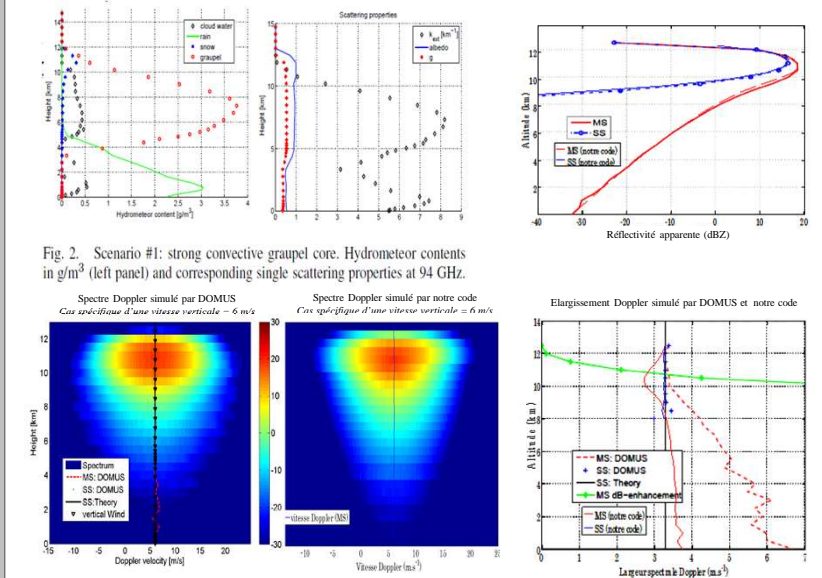
A court terme, le code doit simuler les observables du LIDAR ATLID et du RADAR CRP Doppler de la mission EarthCARE (coefficient de rétrodiffusion à très haute résolution spectrale, facteur de réflectivité, spectre Doppler, etc...).

Les scènes nuageuses à très haute résolution spatiale sont simulées par 3DCLOUD (Szczap et al., 2014).

## Comparaisons entre résultats issus de notre code, de Hogan (2008) et de Battaglia (2005)



## Comparaisons entre résultats issus de notre code et de DOMUS (Battaglia and Tanelli, 2011) ; (CPR/EarthCARE)



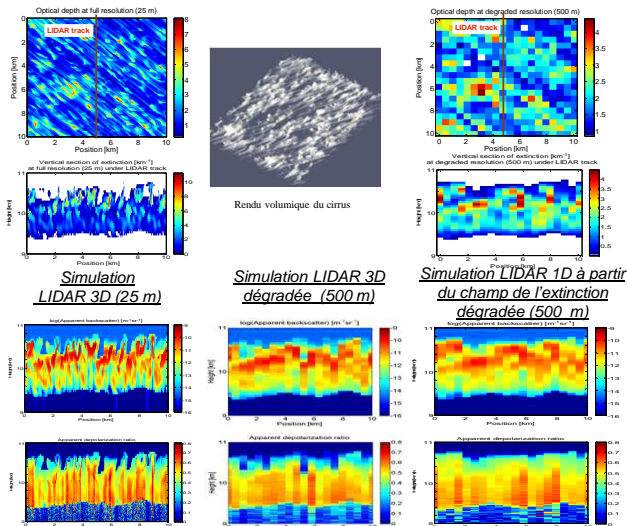
## Effets des hétérogénéités 3D d'un cirrus sur les mesures LIDAR (CALIOP/CALIPSO)

- LIDAR system parameters**
- Laser beam divergence = 0
- Linearly polarized laser
- $\lambda_{laser} = 532 \text{ nm}$
- FOV = 130  $\mu\text{rad}$
- Footprint = 100 m
- $D_{telescope} = 1 \text{ m}$
- Height = 1000 km
- Vertical resolution = 20 m

### Atmospheric properties

- No sun (Night)
- No ground albedo
- Gaz optical depth from Hansen and Travis (1974)
- Gaz depolarization factor ( $90^\circ$ ) = 0.0275
- Gaz phase function : Rayleigh theory
- Cloud phase function : Rough plate ice crystals,  $R_{eff} = 25 \mu\text{m}$ , aspect ratio = 0.2, gamma distribution, IGOM, Yang and Liou (1996)

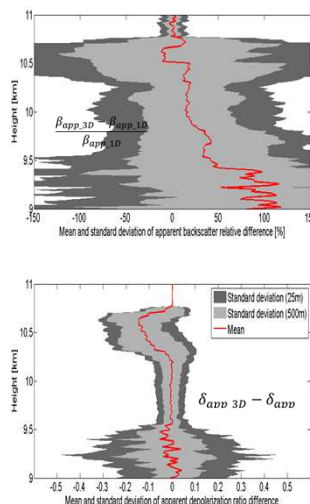
### Simulation d'un champ 3D de cirrus avec 3DCLOUD (Szczap et al., 2014)



### Inhomogeneous cirrus cloud parameters

- Mean optical depth = 2
- Base and top height = 9 and 10 km
- Inhomogeneity parameter (standard deviation / mean of IWC) = 1
- Slope of 1D power spectrum of IWC = -1.66
- Gamma distribution of IWC
- Horizontal extension = 10 km
- Pixel number :  $N_x = N_y = 400$ ,  $N_z = 90$
- Horizontal (vertical) resolution = 25 (50) m

### Effets des hétérogénéités "sous pixels" d'un cirrus sur le coefficient de rétrodiffusion et sur le rapport de dépolarisation

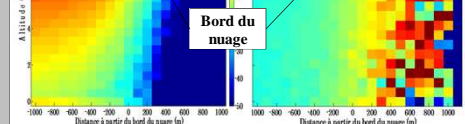


## Effets du bord d'un nuage épais sur les mesures RADAR (CPR/EarthCARE)

$\tau = 20$ ;  $g = 0.8$ ;  $\omega_0 = 1$

Effet sur la réflectivité : Vitesse verticale de 6m/s dans le nuage et de 0 m/s à l'extérieur du nuage

Effet sur la vitesse Doppler : Vitesse Doppler (m/s)



## Bibliographie

- Battaglia, A. and S. Mantovani, Forward Monte Carlo computations of fully polarized microwave radiation in non isotropic media, *J. Q. S. R. T.*, 2005, 95, 285-308
- Battaglia, A., S. Tanelli, "DOMUS: Doppler Multiple-Scattering Simulator," *IEEE Trans. Geosci Rem. Sens.* 49, pp. 442-450, 2011
- Buras R. and B. Mayer, 2011 : Efficient unbiased variance reduction techniques for Monte Carlo simulations of radiative transfer in cloudy atmospheres : The solution, *J. Q. S. R. T.*, 112, 434-447.
- 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. Q. S. R. T.*, 111, 174-186.
- Hogan, R. J., 2008: Fast lidar and radar multiple-scattering models: Part 1: Small-angle scattering using the photon. variance-covariance method. *J. Atmos. Sci.*, 65, 3621-3635.
- Szczap F., C. Cornet, A. Alkajem, Y. Gour, L. C-Labonnote, and O. Jourdan, 2013 : A 3D polarized Monte Carlo LIDAR system simulator for studying effects of cirrus inhomogeneities on CALIOP/LIPSO measurements, *Proceedings of the International Radiation Symposium (IRC/IAMAS)*, AIP Conf. Proc. 1531, pp. 139-142; doi: http://dx.doi.org/10.1063/1.4804727
- Yang, P., and K. N. Liou (1996), Geometric-optics-integral-equation method for light scattering by nonspherical ice crystals, *Appl. Opt.*, 35, 6568-6584, doi:10.1364/AO.35.006568