

# Simulation de températures de brillance SAPHIR en ciel précipitant

J.-F. Mahfouf et J. Guerbette

Météo-France/CNRM

April 17, 2014

# Plan

- Motivations
- Les nuages et la pluie dans le modèle de prévision numérique ALADIN-Réunion
- Le modèle de transfert radiatif micro-ondes RTTOV-SCATT
- Premières simulations de températures de brillance SAPHIR
- Amélioration des propriétés radiatives de la neige dans RTTOV-SCATT
- Nouvelles simulations de températures de brillance SAPHIR
- Conclusions

# Motivations

- Améliorer la qualité des prévisions de cyclones tropicaux avec le modèle ALADIN-Réunion
- Améliorer son état initial en assimilant de nouvelles observations, notamment dans les zones nuageuses et précipitantes
- Intérêt du satellite MEGHA-TROPIQUES : radiomètre micro-ondes MADRAS et sondeur micro-ondes SAPHIR
- Etape préliminaire : évaluer la capacité du modèle ALADIN-Réunion à simuler les températures de brillances observées par SAPHIR (6 canaux autour de 183 GHz)
- Outil disponible : RTTOV-SCATT permettant de simuler la diffusion multiple dans les fréquences micro-ondes (compromis intéressant entre précision et rapidité des calculs + versions linéarisées)

# Le modèle ALADIN Réunion (1)

- Modèle spectral à aire limitée ( $\Delta x = 8$  km - 70 niveaux verticaux)
- Système d'assimilation de données 3D-Var pour créer des conditions initiales toutes les 6 heures utilisant des observations conventionnelles (+ bogus de vent) et satellitaires (importance des géostationnaires)
- Forçage aux limites latérales par des prévisions du modèle global ARPEGE
- Représentation des processus physiques : surface, turbulence, rayonnement, nuages et précipitations stratiformes (échelle résolue), précipitations convectives (échelle sous-maille)

## Le modèle ALADIN Réunion (2)

### Précipitations stratiformes (Lopez, 2002)

- **Variables pronostiques** : contenu en condensats nuageux (eau liquide + glace) et contenu en condensats précipitants (pluie + neige) - phases de l'eau estimées à partir d'un critère en température
- **Processus microphysiques** : condensation/évaporation (approche sous-maille avec PDF triangulaire), autoconversion (Kessler, 1969), collection des condensats nuageux par les précipitations, évaporation et sédimentation des précipitations ( $V_r=5 \text{ ms}^{-1}$  et  $V_s=1 \text{ ms}^{-1}$ )
- **Hypothèses sur les lois de distribution** : pluie (particules sphériques + loi de type Marshall Palmer), neige (loi masse-diamètre de Cox (1988), et loi de type Marshall-Palmer avec  $N_0 = N_0(T)$ )

# Le modèle ALADIN Réunion (3)

## Précipitations convectives (Bougeault, 1985)

- Schéma de paramétrisation en flux de masse avec une fermeture en convergence en humidité
- Pas de représentation explicite des nuages convectifs et des processus microphysiques
- Calcul du flux de précipitations convectives et des tendances convectives sur les variables résolues
- Estimations empiriques des condensats nuageux convectifs et de la fraction nuageuse convective

# RTTOV-SCATT (Bauer *et al.*, 2006)

## Caractéristiques principales

- Température de brillance au sommet de l'atmosphère :

$$T_b = C T_b^{cloud} + (1 - C) T_b^{clear}$$

- Fraction nuageuse "effective"  $C$  : formulation de Geer *et al.* (2009) pour approximer la variabilité sous-maille
- $T_b^{clear}$  : transmittances gazeuses ( $O_2$ ,  $H_2O$ ) déduites de régressions sur divers prédicteurs atmosphériques (Eyre, 1991)
- $T_b^{cloud}$  : diffusion résolue par l'approximation "Delta-Eddington" (Joseph *et al.*, 1976)
- Paramètres en entrée : profils de température ( $T$ ), rapport de mélange en vapeur d'eau ( $q_v$ ), en eau nuageuse ( $q_l$ ), en eau précipitante ( $q_r$ ), en glace (primaire) ( $q_i$ ), en neige (sèche) ( $q_s$ )

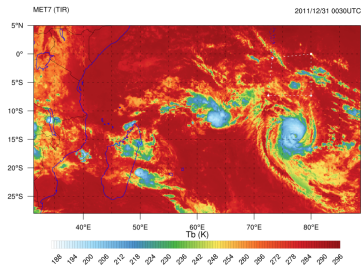
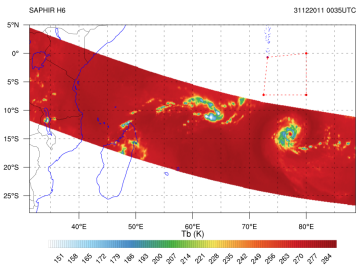
# RTTOV-SCATT (Bauer *et al.*, 2006)

## Propriétés radiatives

- **Particules sphériques :**
  - ▶  $q_r$  et  $q_c$  : eau liquide
  - ▶  $q_i$  et  $q_s$  : glace avec inclusions de bulles d'air (modèle diélectrique de Maxwell-Garnett)
- **Loi de distribution des particules :**
  - ▶  $q_r$  et  $q_s$  : loi de type Marshall-Palmer avec  $N_{0r}=0.08 \text{ cm}^{-4}$ ,  $N_{0s}=0.04 \text{ cm}^{-4}$  et  $\Lambda_x = (\pi\rho_x N_{0x}/6q_x)^{1/4}$
  - ▶  $q_c$  et  $q_i$  : loi de type Gamma modifiée
- **Densité des particules :**
  - ▶  $\rho_l=\rho_r=1000 \text{ kg/m}^3$        $\rho_i=900 \text{ kg/m}^3$        $\rho_s=100 \text{ kg/m}^3$
- **Paramètres de diffusion :**
  - ▶  $g$ ,  $\omega_0$ ,  $k_{abs}$  déduits de la théorie de Mie
  - ▶ Dépendance avec la fréquence, la température, le type d'hydrométéores tabulée

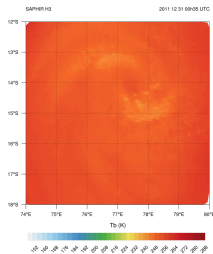
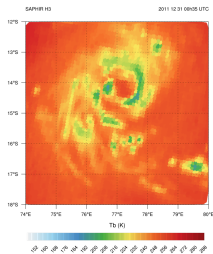
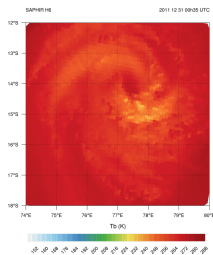
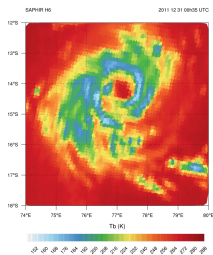


# Cyclone tropical BENILDE (31 Décembre 2011)



Canal 6 de SAPHIR et canal 11.5  $\mu\text{m}$  de METEOSAT-7

# Températures de brillance SAPHIR - (RTTOV-SCATT v1)



## Amélioration de la diffusion par la neige

- Hypothèse de particules sphériques pour la neige : peu réaliste surtout dans les zones de convection profonde
- Trop de diffusion aux basses fréquences (30-50 GHz) et pas assez aux hautes fréquences (150-183 GHz)
- Utiliser des propriétés optiques calculées pour des hydrométéores solides de forme non-sphérique
- Base de données établie par Liu (2008) avec une modélisation de type "Discrete Dipole Approximation"
- Utiliser une comparaison systématique des  $Tbs$  observées avec les prévisions à court terme du CEPMMT pour le choix d'une forme optimale en se fixant la loi de distribution en taille.

# RTTOV-SCATT (Geer *et al.*, 2014)

## Principales évolutions

- Loi de distribution en taille des particules : formulation de Field *et al.* (2007) pour les tropiques
- Propriétés optiques pour : "hexagonal ice columns", "hexagonal ice plates", "bullet rosettes", "snowflakes"
- Utilisation d'une loi masse-diamètre :  $m(D) = aD^b$  avec des coefficients  $a$  et  $b$  proposés par Kulie *et al.* (2010) pour les formes de la base de données de Liu. Orientation aléatoire des particules
- Forme optimale : "sector snowflake"
- Nouvelles tables de Mie disponibles avec la version RTTOV-11 mais compatibles avec RTTOV-10 (site NWP SAF)

# Forme des particules dans la base de données de Liu (2008)

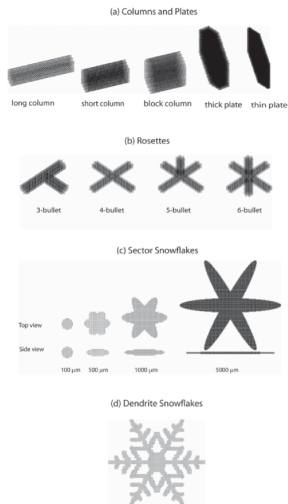
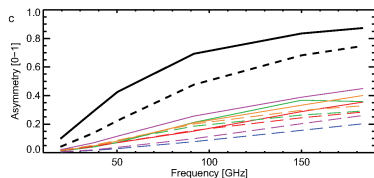
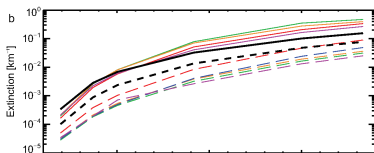
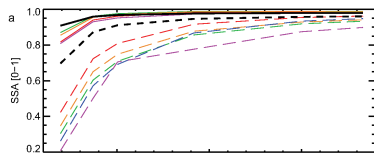


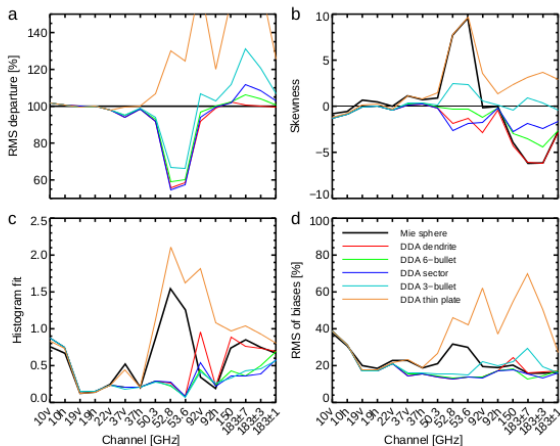
FIG. 1. Shapes of (a) columns and plates, (b) rosettes, (c) sector snowflakes, and (d) dendrite snowflakes. The drawings are made of small dots that are the dipoles used in DDA model simulations.

# Paramètres $\omega_0$ , $k_{ext}$ , $g$ en fonction de la fréquence



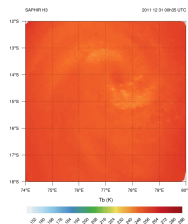
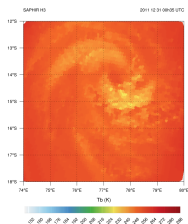
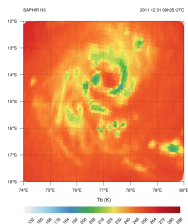
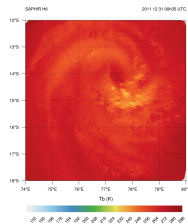
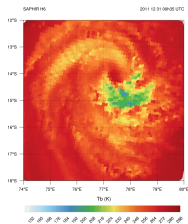
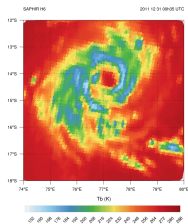
- Block column
- Long column
- Thick plate
- Thin plate
- Mie sphere (Marshall-Palmer)
- Mie sphere (Field, 2007)
- 3-bullet rosette
- 4-bullet rosette
- 6-bullet rosette
- Dendrite
- Sector

# Ecarts observations $Tbs$ vs. modèle CEPMMT



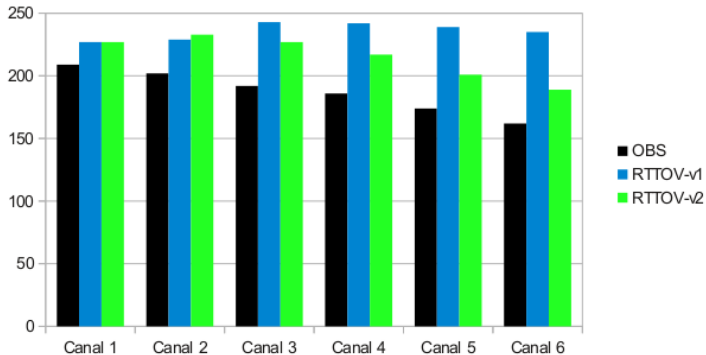
**Fig. 7.** Measures of fit between model and observations over ocean surfaces: (a) RMS of FG departures, normalised by the Mie sphere results; (b) skewness of FG departures; (c) brightness temperature histogram fit; (d) RMS of mapped biases.

# Températures de brillance SAPHIR - (RTTOV-SCATT v2)





## Tb SAPHIR minimales (simulées et observées)



# Conclusions (1)

- Simulations de  $Tb$  SAPHIR en ciel nuageux/précipitant avec le modèle ALADIN-Réunion (cyclone tropical BENILDE - Décembre 2011)
- Echelles spatiales entre modèle ALADIN vs. pixel SAPHIR (au nadir) comparables
- ALADIN-Réunion décrit les processus microphysiques nuageux et précipitants pour les nuages stratiformes mais pas pour les nuages convectifs (sous-maille).
- Signal micro-ondes à 183 GHz dominé par la diffusion des hydrométéores solides précipitants (neige sèche)
- Cohérence partielle des hypothèses microphysiques entre le modèle de PNT et le modèle de transfert radiatif

## Conclusions (2)

- Version RTTOV-SCATT initiale : Diffusion de Mie avec des particules sphériques inadaptée (facteur d'asymétrie  $g$  trop élevé à 183 GHz)  
=> forte surestimation des  $Tbs$
- Version RTTOV-SCATT révisée : Paramètres de diffusion issus de calculs par la méthode DDA (base de données de Liu (2008)) pour des particules non-sphériques. Choix optimal de type de particules par Geer *et al.* (2014) pour réduire les écarts avec le modèle du CEPMMT sur toute la gamme des fréquences micro-ondes (22 - 183 GHz)
- Avec cette version révisée, le biais chaud des  $Tbs$  SAPHIR simulées avec ALADIN-Réunion est fortement réduit, sans être éliminé.

# Perspectives

- Evaluation sur d'autres situations cycloniques (Bejisa) - comparaisons avec d'autres observations
- Utilisation des rapports de mélange en hydrométéores plutôt que les flux de précipitations
- Meilleure prise en compte des hydrométéores solides convectifs (e.g. graupels)
- Nouveau schéma de convection profonde décrivant explicitement la microphysique nuageuse
- Utilisation des données de la campagne CINDY-DYNAMO pour améliorer les lois  $m = m(D)$

# Références principales

- Bauer, P., E. Moreau, F. Chevallier, and U. O'Keeffe, 2006: Multiple-scattering microwave radiative transfer for data assimilation applications. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **132**, 1259-1281
- Field, P.R., A.J. Heymsfield, and A. Bansemer, 2007: Snow size distribution parameterization for mid-latitude and tropical ice clouds. *J. Atmos. Sci.*, **64**, 4346-4365
- Geer, A., P. Bauer, and C.W. O'Dell, 2009: A revised cloud overlap scheme for fast microwave radiative transfer. *J. Appl. Meteor. Clim.*, **48**, 2257-2270
- Geer, A.J., and F. Boardo, 2014: Improved scattering radiative transfer for frozen hydrometeors at microwave frequencies. *Atmos. Meas. Tech. Discuss.*
- Kulie, M.S., R. Bennartz, T.J. Greenwald, Y. Chen, and F. Weng, 2010: Uncertainties in microwave properties of frozen precipitation: implication for remote sensing and data assimilation. *J. Atmos. Sci.*, **67**, 3471-3487
- Lopez, P., 2002: Implementation and validation of a new prognostics large-scale cloud and precipitation scheme for climate and data assimilation purposes. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **128**, 229-257
- Liu, G., 2008 : A database of microwave single-scattering properties for non-spherical ice particles. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **111**, 1583-1570