

# RTTOV: (1) description scientifique

<http://nwpsaf.eu/deliverables/rtm/>

J. Vidot<sup>1</sup>, P. Brunel<sup>1</sup>, A. Geer<sup>2</sup>, J. Hocking<sup>3</sup>, C. Lupu<sup>2</sup>, M. Matricardi<sup>2</sup>,  
P. Rayer<sup>3</sup>, D. Rundle<sup>3</sup>, P. Roquet<sup>1</sup>, R. Saunders<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>Météo-France, CMS, Lannion, France  
<sup>2</sup>ECMWF, Reading, UK  
<sup>3</sup>Met Office, Exeter, UK



## Introduction

RTTOV (Saunders et al., 2012) est un modèle de transfert radiatif rapide pour l'assimilation des radiances satellitaires dans les modèles de Prévision Numérique du Temps. Il permet de simuler les radiances observées (modèle direct) par les satellites défilants et géostationnaires (voir la liste sur le poster de description technique) dans les domaines infrarouge (entre 3 et 20 μm) et micro-ondes (entre 10 et 200 GHz). Pour cela, il utilise des paramétrisations qui permettent la linéarisation du modèle direct pour en déduire les modèles de tangent-linéaire, adjoint et jacobiens indispensables à l'assimilation. Il inclut la possibilité de simuler des radiances en présence de nuages et d'aérosols. Depuis la version 11, il permet aussi de simuler des radiances dans les domaines visible et proche infrarouge (de 0.4 à 2.5 μm) mais uniquement en ciel clair. Ce poster résume ses aspects et particularités scientifiques.

## Résolution de l'équation de transfert radiatif

Dans l'infrarouge, la radiance en ciel clair est donnée par l'équation suivante:

$$R_{clr}(\mu) = t_{tot}(\mu)\varepsilon_{sfc}(\mu)B(T_{sfc}) + \int_{t_{tot}}^1 B(T)dt + [1 - \varepsilon_{sfc}(\mu)]t_{tot}^2(\mu) \int_{t_{tot}}^1 \frac{B(T)}{t^2} dt$$

Où  $t(\mu) = e^{-\tau_{abs}/\mu}$  est la transmittance atmosphérique,  $\varepsilon_{sfc}$  est l'émissivité de surface et  $B$  la fonction de Planck.

Pour prendre en compte les nuages, une méthode simple et rapide pour l'assimilation se base sur l'hypothèse d'un nuage opaque, représenté par une émissivité de 1 et une pression au sommet de nuage (Eyre, 1991). Dans ce cas la radiance est calculée par:

$$R(\mu) = (1 - N)R_{clr}(\mu) + NR_{cld}(\mu) \quad R_{cld}(\mu) = t_{cld}(\mu)B(T_{cld}) + \int_{t_{cld}}^1 B(T)dt$$

Une autre méthode prends en compte la diffusion (approximation de Chou et al., 1999) en modifiant l'épaisseur optique de la couche par  $\tau_{eff} = \tau_{abs} + b\tau_{dif}$  avec  $b = \frac{1}{2} \int_0^1 d\mu \int_0^1 \bar{P}(\mu, \mu')d\mu'$

Le profil de fraction nuageuse est traitée avec l'approximation du « maximum random overlap » pour le recouvrement des couches nuageuses.

Dans les microondes, l'ETR est résolue avec la méthode de l'approximation Delta-Eddington (Bauer et al., 2006) et le profil de fraction nuageuse est traitée en considérant une fraction nuageuse moyenne pour un seule couche nuageuse (Geer et al., 2009)

## Paramétrisation de l'absorption gazeuse

En ciel clair, la simulation rapide du transfert radiatif nécessite la paramétrisation de l'absorption gazeuse. Dans RTTOV, une méthode rapide permet de calculer l'épaisseur optique d'absorption d'un canal  $i$  et d'une couche  $j$  à partir de l'épaisseur optique de la couche  $j-1$  (en partant du sommet), d'un jeu de prédicteurs  $X_{i,k}$  et de coefficients  $a_{i,j,k}$  sous la forme:

$$\tau_{abs,i,j} = \tau_{abs,i,j-1} + \sum_{k=1}^K a_{i,j,k} X_{i,k}$$

Version des prédicteurs	7	8	9
Nombre de prédicteurs pour les gaz concernées	K = 10 (gaz fixes) K = 15 (H <sub>2</sub> O) K = 11 (O <sub>3</sub> )	K = 10 (gaz fixes) K = 12 (H <sub>2</sub> O) + K = 4 (continuum) K = 11 (O <sub>3</sub> ), K = 10 (CO <sub>2</sub> )	K = 10 (gaz fixes) K = 19 (H <sub>2</sub> O) + K = 4 (continuum) K = 15 (O <sub>3</sub> , CO <sub>2</sub> ), K = 13 (N <sub>2</sub> O, CO), K = 11 (CH <sub>4</sub> )

Les coefficients  $a_{i,j,k}$  sont obtenus par régression linéaire à coefficients multiples sur un jeu d'entraînement à partir de calculs raie par raie (LBLRTM pour le VIS/PIR/IR et AMSUTRAN pour les MO) et d'un jeu de profils représentant la variabilité naturelle de l'atmosphère (83 pour le VIS/PIR/IR et 52 pour les MO). Les 83 profils contiennent les espèces suivantes: H<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CO, CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>, NO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, HNO<sub>3</sub>, OCS, N<sub>2</sub>, CCl<sub>4</sub>, CFC-11, CFC-12 et CFC-14 et les 52 profils contiennent H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> et O<sub>3</sub>. Le nombre de prédicteurs dépend du gaz considéré (fixe ou variable) et il y a 3 versions de prédicteurs (voir table ci-dessus). Les coefficients sont uniques pour chaque instrument car ils dépendent de la réponse spectrale des canaux de chaque instrument et dépendent des versions des modèles raie par raie utilisés. Dans la dernière version de RTTOV, LBLRTM 12.2 a été utilisé avec la base de données spectroscopiques AER v3.2 et le continuum MTCCK v2.5.2. Les coefficients sont régulièrement mis à jour lorsque des nouvelles versions de modèle raie par raie sont accessibles.

## Paramétrisation des nuages et des aérosols

Les propriétés optiques des hydrométéores, des nuages et des aérosols sont obtenues à l'aide de paramétrisations des entrées du modèle de transfert radiatif qui sont les sorties des modèles de PNT. La table suivante résume les différents modèles utilisés en fonction des domaines spectraux:

Aérosols		Infrarouge		micro-ondes	
Entrées	Modèles	Entrées	Modèles	Entrées	Modèles
•Profil de concentration N (cm <sup>-3</sup> )	13 modèles (suie, sel de mer, minéral, poussières volcaniques, poussières désertiques, etc..) provenant d'OPAC et de mesures in situ	•Profil de fraction nuageuse (O-1) •Profil de contenu en eau/glace LWC/IWC (g.m <sup>-3</sup> )	5 nuages d'eau liquide (stratus, cumulus) basés sur OPAC Paramétrisations des nuages de glaces (fonction du diamètre effectif et de la forme des cristaux ou base de données d'A. Baran)	•Profil de fraction nuageuse (0-1) •Profil de nuage d'eau, de glace, pluie et neige (kg.kg <sup>-1</sup> )	4 hydrométéores - Mie (sphères) + LUT DDA pour la glace et la neige (Geer and Baordo, 2013)

## Modélisation des surfaces

RTTOV fournit des entrées dans le cas où les propriétés de surfaces ne sont pas fournies par l'utilisateur. Ces entrées sont soit des modèles soit des atlas (voir la table).

VIS/PIR		IR		MO	
MER	TERRE	MER	TERRE	MER	TERRE
Modèle de vagues (Matricardi, 2005)	Atlas de BRDF basé sur MODIS et données in situ (Vidot and Borbas, 2014)	ISEM (Sherlock, 1999)	UWIREMIS (basé sur MODIS et données in situ (Borbas et Ruston, 2010))	FASTEM versions, 4, 5 et 6 (Liu et al., 2011)	Atlas CNRM (Karbou et al., 2005) TELSEM (Aires et al., 2011)

## Conclusions et perspectives

Le modèle de transfert radiatif RTTOV développé en partenariat avec ECMWF et le MetOffice dans le cadre du SAF NWP est un modèle à vocation opérationnelle d'assimilation de données satellitaires dans les modèles de Prévision Numérique du Temps. Les études de validation ont montrés des erreurs globales inférieures à 1K en tout temps dans les micro-ondes et en ciel clair dans l'infrarouge. RTTOV permet actuellement de simuler plusieurs dizaines d'instruments tout en prenant en compte les spécificités instrumentales (effet zeeman pour AMSU et SSMIS, variation de la pression de CO2 du détecteur de SSU et modification de la réponse spectrale de MODIS, HIRS et AMSU-A), l'effet de non-équilibre thermodynamique locale et la contribution solaire des instruments infrarouges. RTTOV permet aussi de simuler les radiances hypersoptrales infrarouges à partir de composantes principales. Enfin, RTTOV bénéficie d'un interface graphique utile pour l'enseignement et d'un modèle 1D-VAR pour l'inversion de profil atmosphérique directement couplé à RTTOV. Les perspectives d'évolution et d'amélioration scientifiques du modèle concernent principalement les points suivants:

- La prise en compte de la diffusion de manière rapide et précise dans le visible et proche infrarouge
- La méthode de recouvrement des couches nuageuses
- La spectroscopie

## References:

Aires, F., Prigent, C., Bernardo, F., Jiménez, C., Saunders, R., and Brunel, P., 2011: A Tool to Estimate Land-Surface Emissivities at Microwave Frequencies (TELSEM) for use in numerical weather prediction, Q.J.R. Meteorol. Soc., 137, 690-699, doi: 10.1002/qj.803.

Bauer, P., Moreau, E., Chevallier, F. and O'keeffe, U., 2006: Multiple-scattering microwave radiative transfer for data assimilation applications, Q.J.R. Meteorol. Soc., 132, 1259-1281, doi: 10.1256/qj.05.153.

Borbas, E., and Ruston, B. C., 2010: The RTTOV UWIREMIS IR land surface emissivity module, Report NWPSAF-MO-VS-04., EUMETSAT Associate Visiting Mission Report.

Chou, M.-D., Lee, K.-T., Tsay, S.-C., and Fu, Q., 1999: Parameterization for Cloud Longwave Scattering for Use in Atmospheric Models, J. Climate, 12, 159-169.

Eyre, J. R., 1991: A fast radiative transfer model for satellite sounding systems, ECMWF Tech. Memo., 176, Available at [http://old.ecmwf.int/publications/library/ecpublications/\\_pdf/tm/001-300/tm176.pdf](http://old.ecmwf.int/publications/library/ecpublications/_pdf/tm/001-300/tm176.pdf).

Geer, A. J., and Baordo, F., 2014: Improved scattering radiative transfer for frozen hydrometeors at microwave frequencies, Atmos. Meas. Tech. Discuss., 7, 1749-1805, doi:10.5194/amtd-7-1749-2014.

Karbou, F., Prigent, C., Eymard, L. and Pardo, J., 2005: Microwave land emissivity calculations using AMSU-A and AMSU-B measurements, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 43, 948-959.

Liu, Q., Weng, F., and English, S. J., 2011: An Improved Fast Microwave Water Emissivity Model, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 49, 1238-1250, doi: 10.1109/TGRS.2010.2064779.

Matricardi, M., 2005: The inclusion of aerosols and clouds in RTIASI, the ECMWF fast radiative transfer model for the infrared atmospheric sounding interferometer, ECMWF Tech. Memo., 474.

Saunders, R., Hocking, J., Rundle, D., Rayer, P., Matricardi, M., Geer, A., Lupu, C., Brunel, P., Vidot, J. 2013. `RTTOV-11 Science and validation report,` NWPSAF-MO-TV-032, v1.11, 1-31, EUMETSAT NWP-SAF

Sherlock, V., 1999: ISEM-6: Infrared Surface Emissivity Model for RTTOV-6, Met Office NWP SAF Rep., 299, 17 pp.

Vidot and Borbas, 2014: Land surface VIS/NIR BRDF atlas for RTTOV-11: model and validation against SEVIRI land SAF albedo product. Q.J.R. Meteorol. Soc., 140: 2186-2196. doi: 10.1002/qj.2288