



TRATTORIA 2015

COMPTE RENDU DE LA TABLE RONDE « MODELES DE BANDES ET DE RAIES »

	Nom	et Affiliation
Rédigé par	Jérôme Vidot	CMS, Météo-France, Lannion, jerome.vidot@meteo.fr
Et	Philippe Dubuisson	LOA, UMR CNRS 8518, Université Lille 1, Villeneuve d'Ascq philippe.dubuisson@univ-lille1.fr

1. Description de la table ronde

Après avoir fait un tour de table des participants, cette table ronde a débuté par un exposé très général, rappelant les objectifs et présentant un rapide état de l'art sur les modèles de raies et de bandes.

On peut noter deux contraintes majeures sur les codes permettant de simuler le signal reçu par un capteur:

- La nécessité de prendre en compte avec précision les performances des instruments actuels et futurs sur l'ensemble du spectre électromagnétique, tant d'un point de vue de leur précision radiométrique que de leur spécificités techniques (résolution spectrale ou spatiale, directionnalité des mesures, polarisation, etc.).
- La rapidité des calculs : l'exploitation de grandes quantités de données requiert des codes (et des approximations) adaptés aux applications.

Deux approches sont possibles pour calculer l'absorption par les gaz atmosphériques:

1. Les codes raie-par-raie permettent la simulation des grandeurs radiatives à haute résolution spectrale à partir d'une banque de données spectroscopiques. Différents codes sont actuellement disponibles et le tableau ci-dessous présente les principaux codes raie-par-raie actuels :

Code	domaine	sorties	Lien
LBLRTM	VIS-IR	Transmittances, Radiances, jacobiens, flux	rtweb.aer.com/lblrtm.html
4AOP	VIS-IR	Transmittances, Radiances, Jacobiens	http://4aop.noveltis.com/
ARAHMIS	VIS-IR	Transmittances, Radiances, Jacobiens?	LOA, disponibilité à confirmer
LARA	IR	Transmittances, Radiances, Jacobiens	
MOMO	VIS-IR	Transmittances, Radiances	disponibilité à confirmer
AMSUTRAN	MO	Transmittances, Radiances	Code hyperfréquences ?
RFM	VIS-IR	Transmittances, Radiances, jacobiens, flux	http://eodg.atm.ox.ac.uk/RFM/
KOPRA	IR	Transmittances, Radiances, Jacobiens	http://www.imk-asf.kit.edu/english/312.php

2. Lorsque la haute résolution spectrale ne s'avère pas nécessaire, des codes à plus basse résolution spectrale peuvent être utilisés. Ils sont généralement basés sur des modèles statistiques de bandes (tels que Goody ou Malkmus), sur des approches de développement en k-distribution ou sur des méthodes de prédicteurs reposant sur des pré-calculs issus de jeu d'entraînement. Pour les modèles atmosphériques, l'approche en k-distribution est actuellement la plus répandue. De nombreux codes utilisent ces approches et une liste non-exhaustive est donnée à titre d'exemple dans le tableau ci-dessous.

Code	domaine	Jac.	Pol.	Hyp.	Lien
6S/V6S	VIS		X		http://6s.ltdri.org/
ARTS	VIS-IR				http://www.sat.ltu.se/arts/
CRTM	VIS-MO	X		X	http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/spb/CRTM/
DISORT	UV-IR			X	ftp://climate1.gsfc.nasa.gov/wiscombe/Multiple_Scatt/
RRTM	UV-IR			X	http://rtweb.aer.com/
MATISSE	VIS-IR			X	http://matisse.onera.fr/accueil
STREAMER	VIS-IR			X	http://stratus.ssec.wisc.edu/streamer/
LIBRADTRAN	UV-IR		X		http://www.libradtran.org/
OSS	IR-MO	X		X	http://rtweb.aer.com/oss_frame.html
RTTOV	IR-MO	X		X	https://nwpsaf.eu/deliverables/rtm/
LIDORT/ VLIDORT	UV-IR	X	X	X	http://www.rtslidort.com
MODTRAN	UV-IR			X	http://modtran5.com/
ARTDECO	UV-IR		X	X	LOA/ICARE

Jac. = Jacobiens ; Pol. = Polarisation ; Hyp. = hyperspectral

2. Participants

Une douzaine de participants ont assisté à cette table ronde, venant principalement du : CETHIL, LATMOS, LMD, NOVELTIS, LOA, MESO-STAR.

Les compétences des participants se partageaient entre le développement et les applications de modèles de bandes ou de raies, ainsi que des potentiels utilisateurs intéressés par les discussions. On peut noter toutefois que la communauté des développeurs de codes raie-par-raie atmosphériques était finalement peu représentée.

3. Compte-rendu des discussions

Etat des lieux des codes et méthodes :

Globalement, il ressort des discussions que l'on dispose à l'heure actuelle de codes raie-par-raie et de modèles de bandes assez précis et performants pour des applications en milieux purement absorbants. Les incertitudes liées à ces codes proviennent principalement des connaissances sur la spectroscopie des gaz, y compris sur les continua d'absorption, ainsi que sur les propriétés optiques et microphysiques des particules atmosphériques (aérosols et nuages).

Dès le début des discussions, certains utilisateurs de codes ont fait remarquer qu'ils aimeraient disposer d'informations fiables sur les incertitudes liées aux simulations de ces codes (en particulier pour les applications liées à la télédétection). Par contre, pour les applications relatives à la météorologie, la précision des simulations de radiances, de transmissions ou des jacobiens reste une priorité.

Si les codes et méthodes semblent assez rapides pour des milieux absorbants, ils sont par contre beaucoup trop lents dès que l'on désire prendre en compte la diffusion multiple avec un bon niveau de précision. Le couplage d'un code raie-par-raie ou de modèles en k-distribution avec une méthode de résolution de l'équation de transfert radiatif en diffusion multiple (telle que DISORT) reste, en effet, très pénalisante en terme de temps de calcul. Il est donc important de développer de nouvelles approches ou de disposer de paramétrisations et techniques numériques afin d'accélérer les calculs sans perdre trop en précision. On peut citer les exemples suivants: utilisation de l'analyse en composante principale ou du contenu en information pour alléger les calculs, développement de troncatures de la fonction de phase de diffusion, etc.

Les applications en télédétection spatiale repose de plus en plus sur l'exploitation conjointe de capteurs dans différents domaines spectraux. Il y a donc une demande forte sur la disponibilité de codes et méthodes capables de prendre en compte cette synergie spectrale et donc de simuler l'ensemble des grandeurs radiatives nécessaires sur différents domaines spectraux avec le même code. Il a été également fait mention de pouvoir disposer de plusieurs codes de manière à pouvoir effectuer des exercices d'inter-comparaisons. Il existe de plus une demande concernant de nouveaux exercices d'inter-comparaisons sur les transmittances et les radiances, et surtout sur les jacobiens, la dernière étude publiée datant de 2007. La constitution d'un groupe de travail se réunissant plus régulièrement avec des spécialistes du domaine a été proposée.

Pour les modèles de bandes, l'hypothèse de la corrélation verticale de l'absorption sur des trajets inhomogènes reste l'une des plus grandes incertitudes. Il est possible de prendre en compte cette corrélation à partir de k-distributions (non-correlated k-distribution), mais cela conduit souvent à des temps de calculs importants. Sur ce sujet, il a été fait mention des travaux effectués dans le domaine de la thermique / combustion, à partir de modèles de bandes, permettant de prendre en compte cette corrélation avec un coût inférieur à celui d'une k-distribution. Il serait donc intéressant d'investiguer cette voie de manière à évaluer si ces méthodes peuvent efficacement être transposées à l'atmosphère terrestre.

Le cas des calculs de transfert radiatif pour les instruments à visée au limbe a également été rapidement évoqué. Les codes semblent bien correspondre aux besoins. Il a été simplement noté le besoin de mieux prendre en compte la photochimie atmosphérique, qui n'est pas symétrique pour les couches traversées par le rayonnement.

Notons enfin que les approches reposant sur des méthodes d'apprentissage, tels que les réseaux de neurones, ne semblent pas très utilisées par la communauté qui leur reproche la perte de l'information physique ainsi que leur aspect « boîte noire ».

Autres améliorations des codes :

Les améliorations spécifiques suivantes, souhaitées par les utilisateurs et développeurs, ont également été notées lors des discussions :

- Il y a un besoin en simulation du transfert radiatif pour les fréquences supérieures à 200 GHz. On peut citer en exemple d'application le futur capteur ICI (Ice cloud Imager) sur Metop-SG, possédant des canaux entre 183 et 664 GHz. Ce domaine spectral ne semble pas ou peu couvert par nos codes.
- Une demande récente est de disposer de codes raie-par-raie permettant de prendre en compte la séparation des isotopes. Cet aspect a été très bien illustré lors de l'exposé général sur l'absorption par les gaz et représente un réel besoin pour la simulation précise de spectres à haute résolution spectrale.
- Un autre aspect important pour la simulation de spectre à haute résolution spectrale est le calcul du transfert radiatif hors équilibre thermodynamique local (NLTE). Les effets du NLTE peuvent en effet amener des erreurs importantes dans certaines bandes spectrales.
- La communauté est demandeuse de codes multi-spectraux, permettant de couvrir l'ensemble du spectre à partir d'une même méthodologie, qui soient disponibles, référencés et bien documentés. Une demande existe en particulier pour que les nuages soient mieux pris en compte dans ces codes, à partir de propriétés optiques et microphysique réalistes et couvrant l'ensemble du spectre.

4. Bilan et recommandations

Si les codes actuels semblent globalement plutôt bien répondre aux demandes des utilisateurs, des recommandations ont émergées des discussions, en particulier dans le contexte du traitement et de l'analyse des futures missions spatiales. Il a été fait mention à plusieurs reprises de l'importance de pouvoir disposer en ligne de codes bien documentés, référencés et facilement exploitables par les utilisateurs. Ces codes doivent pouvoir répondre efficacement aux besoins spécifiques des futures missions spatiales et permettent aux utilisateurs de simuler de façon réaliste les mesures de ces instruments. En particulier, la prise en compte rapide et précise de la diffusion dans les codes de raies ou de bandes reste un enjeu majeur. Quelques recommandations plus spécifiques ont également été faites afin d'améliorer la précision des codes raie-par-raie pour la simulation de spectres à haute résolution spectrale.

Recommandation 1:

A court terme, il serait nécessaire de disposer de codes en ligne, bien documentés et utilisables par l'ensemble de la communauté. Ces codes doivent permettre un calcul précis des quantités radiatives, en prenant en compte de la façon la plus réaliste possible les gaz, nuages et aérosols. Il est de plus primordial de pouvoir pérenniser ces codes, ce qui nécessite des moyens humains. Le pôle atmosphère semble très bien placé pour assurer ce rôle, en relation avec les laboratoires de recherche et le CNES.

Recommandation 2:

De nouveaux exercices d'inter-comparaisons seraient appréciés, que ce soit pour les codes opérationnels ou de recherche. Cet objectif nécessite de disposer de plusieurs codes de référence pour le calcul des radiances, de transmittances et des jacobiens. En effet, les méthodes actuelles d'inversion font de plus en plus appel à ces jacobiens et il n'existe pas ou peu d'inter-comparaisons sur ces grandeurs. En complément, ce type d'exercice pourrait permettre la mise en place d'un groupe de travail sur les aspects modèles de raies et de bandes, qui se réunirait un peu plus régulièrement entre les conférences Trattoria.

Recommandation 3:

Des améliorations techniques des codes raie-par-raie actuels sont nécessaires afin d'améliorer la précision des simulations. En particulier, la prise en compte de la séparation des isotopes ainsi que celle du NLTE sont à considérer afin de répondre aux spécificités des instruments des futures missions spatiales, en particulier pour la haute résolution spectrale. Des exercices de validation seront ensuite nécessaires pour ces codes. De plus, il faudrait également s'assurer que nous disposons de codes capables de simuler avec précision le transfert radiatif pour les fréquences supérieures à 200 GHz.

Recommandation 4:

L'accélération des calculs de transfert radiatif en diffusion multiple demeure un point crucial, aussi bien à haute ou à moyenne résolution spectrale. Il semble donc important de continuer à explorer et améliorer les méthodes numériques telles que la troncature de la fonction de phase, l'analyse en composante principale ou celle du contenu en information.

A moyen terme, il serait intéressant d'explorer de nouvelles approches pour les calculs de transfert radiatif en milieu absorbant et diffusant. A titre d'exemple, les travaux réalisés dans le domaine de la thermique / combustion, qui ont été présentés lors de Trattoria sous forme de posters, pourraient contribuer à cet objectif. Ces travaux concernent à la fois la haute résolution spectrale (approche statistique du transfert radiatif en Monte Carlo) et la moyenne résolution spectrale (approche multi-spectrale permettant de s'affranchir partiellement des hypothèses de corrélation). Des études exploratoires en collaboration avec ces équipes de recherche pourraient être envisagées.