



TRATTORIA 2015

COMPTE RENDU DE LA TABLE RONDE TRANSFERT RADIATIF 3D

	Nom	et Affiliation
Rédigé par	Patrick CHERVET	ONERA Département Optique Théorique et Appliquée Palaiseau Patrick.Chervet@onera.fr
Et	Frédéric SZCZAP	Laboratoire de Météorologie Physique (LaMP) UMR 6016 UBP-CNRS Bat 5, 3ièm étage Université Blaise Pascal Clermont Ferrand F.Szczap@opgc.univ-bpclermont.fr

1. Description de la table ronde

Cette table ronde avait pour but de faire l'état de l'art au niveau de l'utilisation du transfert radiatif tridimensionnel (3D) pour les satellites d'observation de la Terre en intégrant l'approche code de calculs et données d'entrée, tout en associant la réflexion sur la validation. De même, les manques actuels au sein de l'approche tridimensionnelle du transfert radiatif pour répondre aux différentes applications (inversion, modèle de climat, besoin de générations de scènes pour des algorithmes de traitement..) ont été pris en compte afin d'adopter des recommandations pour les études futures ainsi que les stratégies à adopter. Les thèmes abordés lors de la table ronde peuvent être décrits par :

Le transfert radiatif 3D :

- Pour quelle finalité ?
- En fonction des applications, quelle est la précision des données d'entrée et quelle est la résolution spatiale adéquate pour avoir un bon compromis précision des résultats / temps de calculs ?
- Quels sont les moyens pour valider les résultats des codes 3D ?

2. Participants

Environ une vingtaine de personnes : LOA, LaMP, LERMA, LATMOS, LMD, ULCO, ONERA, Météofrance, IRSTEA, NOVELTIS, HYGEOS, Cap Gemini, LAPLACE (univ. Toulouse), Alyotech ...

Thèmes d'expertise : Atmosphère, océan, surfaces continentales...

3. Compte-rendu des discussions

3.1. Applications ayant un besoin d'une approche transfert radiatif 3D

Les codes de transfert radiatif 3D sont largement utilisés du fait d'une modélisation plus réaliste des processus radiatifs quelle que soit l'échelle considérée. Les applications possibles sont :

- Les modèles de circulation générale
- Les modèles météorologiques (prévision)
- La télédétection spatiale (océan, gaz, polluant, nuages, précipitation)
- Mise au point de nouveaux capteurs & calculs de performances (capteurs différents colocalisés)
- Production rapide d'un grand nombre de scènes multi échelles
- Etude radiative de type atmosphère, océanographie, couvert végétal ou couplage mer-banquise-nuage
- Validation de codes simplifiés (exemple : domaine de validité de l'approche Plans Parallèles)
- Effets d'environnement (zones côtières, effet de l'atmosphère sur une cible, etc...)

Les applications sont diverses mais on remarque un besoin de la prise en compte des couplages multi milieux (atmosphère & océan, atmosphère & surface) pour la résolution de l'équation de transfert radiatif (exemple : en océanographie avoir un couplage mer-banquise-nuage pour estimer les interactions entre les différents composants et leurs influences).

Il ressort que chaque code 3D actuel est applicatif et non universel. Par contre, en fonction du domaine d'étude, la représentation 3D est fine pour le milieu étudié et des approximations sont faites sur les grandeurs hors du domaine spécifique d'étude :

Exemples : pour l'océanographie – représentation 3D de l'océan aux fines échelles spatiales et atmosphère en plans parallèles ; pour les études atmosphériques : les nuages sont finement résolus et les surfaces terrestres sont souvent considérées homogènes.

Dans le cas de l'inversion pour la détermination des propriétés physiques à partir de la mesure du rayonnement, les codes non 3D sont très utilisés (exemple : modèle du nuage homogène plans parallèles). Les codes 3D servent principalement à donner le domaine de validation. Aucune approche 3D n'est utilisée actuellement pour inverser du fait de :

- la méconnaissance pour la représentation de la complexité du milieu,
- l'imprécision des données d'entrées du modèle direct,
- la modélisation des interactions rayonnement/milieu (problèmes liés à l'échelle spatiale d'observation, à la résolution spatiale du média et/ou du capteur, au type de capteurs actifs ou passifs).
- Le manque de données de contexte finement résolues (caractéristiques atmosphère claire ...)

3.2. Bilan de modèles radiatifs tridimensionnels

Nom du code	Domaine spectral	Type	Média	Méthode	Polarisation	Exécution	Quantités radiatives	Disponibilité
SHDOM Evans (1998) Efremenko and Trautmann (2013) Pincus and Evans (2009)	UV-NIR-IR- μ	1D/3D Atmos. PP	Gaz Aérosols Nuages Nature du sol = ?	Ordonnées discrètes Harmoniques sphériques Ordres successifs	oui	Parallélisé	Radiances 3D	web
3DMCPOL Cornet et al. (2010) Szczap et al. (2013) Fauchez et al. (2014)	UV-NIR-IR- μ	1D/3D Atmos. PP	Gaz Aérosols Nuages Orientation non aléatoire possible des particules Nature du sol = ?	Monte Carlo Méthode de l'estimation locale Méthode de réduction de variance (Buras et al, 2011)	oui	Parallélisable	Radiance au TOA LIDAR RADAR DOPPLER (en développement)	restreinte
MATISSE Onera (2014)	Vis-IR	1D/3D Atmos. PP / 3D Ellipsoïde WGS84	Gaz Aérosols Nuages Surface hétérogène (type et élévation)	DOM Transmission & diffusion simple 3D Diffusion multiple PP Calculs raie par raie ou CK	non	Parallélisable IHM en java OS Windows et Linux	Radiance 1D / pseudo 3D Sphère éclairage Transmission 1D/3D Séparation contributeurs Imagerie	Diffusion soumise à Accord de licence
DOMUS Battaglia and Tanelli (2011)	μ	1D/3D Atmos. PP	Nuage Précipitation Vent Surface de type Kirchhoff	Monte Carlo	oui	Parallélisable	RADAR DOPPLER	Non
Modèle de Battaglia Battaglia and Mantovani (2005)	μ	1D/3D Atmos. PP		Monte Carlo Méthode de l'estimation locale	oui	Parallélisable	Radiance au TOA	Web : sources très limités
ECSIM Donovan et al. (2008)	Vis-IR	1D/3D Atmos. PP	Gaz Aérosols Nuage Libraire RPV de surface + Lambertien + océanique (Cox and Munck, 1954)	Monte Carlo inverse (IR) Monte Carlo direct+estimation locale de Barker et al. (2002) pour Vis + méthode ad-hoc pour limiter les pics d'énergie rétrodiffusée (LIDAR)	Oui (LIDAR) Non (Vis et IR)	?	RADIANCE et température de brillance au TOA LIDAR à haute résolution spectrale Divergence 1D(IR)/3D(Vis) des flux	Restreinte
MYSTIC Mayer (1999) Kylling et al. (2000)	Vis	1D/3D Atmos. PP	Gaz Aérosol Topologie de surface	Monte Carlo Méthode de réduction de variance	oui	Parallélisable		

Buras et al. (2011) Emde et al. (2010,2011)			(montagne, albédo de surface hétérogène)	Haute résolution spectrale				
ARTS package (Davis et al., 2005)	μ	1D/3D Atmos. PP et sphérique	Gaz Nuage	Monte Carlo	oui		Spectre de température de brillance	?
GRIMALDI	?	?	?	?	?	?	?	?
SHARM-3D Lyapustin and Wang (2005)	Vis	1D/3D Atmos. PP	Gaz Couche d'aérosols sous les nuages Surface hétérogène (lacs, rivières)	Harmoniques sphériques	Non	?, mais très rapide	Radiances monochromatiques TOA	Web (1D)
SMART-G	Vis	Surface 3D	Couche océan+vague + atmosphère	Monte Carlo+GPU	Oui sphéricité +	GPU	Radiances et flux/transmittance	CNES
DART		Canopée 3D						
SKYGEN3D (2014)	Vis -IR	Atmosphère	nuage	SHDOM	non	GPU interface +	Radiance	Alyotech

3.3. Quels sont les manques des modèles actuels

Ces remarques sont communes quel que soit le domaine spectral (visible au micro-onde).

Pour tous ces codes, le temps de calcul pour la multi-génération de scènes (différentes résolutions spatiales, spectrales et temporelles fines) est prohibitif. La résolution spatiale dépend de l'application, mais est de toute manière souvent limitée par la mémoire vive utilisée et les temps de calculs. Il est nécessaire d'avoir un bon compromis entre les besoins de l'application (grands nombres de scènes, étendue spatiale/résolution spatiale, précisions pour comparaisons avec des mesures...) et les temps de calculs.

Dans la discussion, il n'a pas été possible d'obtenir un consensus sur la résolution spatiale minimale nécessaire pour les différentes applications (atmosphère, océan, couvert végétal). Chaque communauté adapte son étude en fonction de ses besoins (Polder : 100 m, voire moins pour une scène de 20 km, données aéroportées : ordre du mètre, étude de la banquise : 10 m).

Par contre, il y a un fort manque de données 3D (extinction 3D, fonction de phase 3D, albédo de diffusion simple 3D), permettant de renseigner les scènes en vue de l'utilisation d'un code de transfert radiatif 3D. Le tableau ci-après permet de lister quelques données ou approches disponibles avec leurs avantages et leurs limites.

R.S. : résolution spatiale

Les modèles	Nom	Référence
Direct Numerical Simulation (DNS) R.S.< 1 m	Pas de nom (Stratocumulus)	Ozar and Mellado 2013 ; Mellado and Stevens (2013)
Large Eddy Simulations (LES) R.S.< 100 m	WRF Meso-NH RAMS/BRAMS UCLA	Michalakes et al. (2004) LA et CNRM Tripoli and Cotton (1980), Pielke et al. (1992) Stevens et al. (1999,2005)
Modèle de prévision numérique et les Cloud Resolving Model (CRM) R.S.> 1 km	WRF Meso-NH RAMS/BRAMS AROME(500m bientôt)	Météo France
Les modèles stochastiques	The bounded cascade model	Cahalan et al. (1994)

1 m <R.S.<100 km	(stratocumulus 2D) The iterative amplitude adapted Fourier transform (IAAFT) algorithm (Stratocumulus et cumulus) The SITCOM model (stratocumulus) The tree-driven mass accumulation process (tdMAP) model (stratocumulus) Pas de nom (stratocumulus and cumulus) The Cloudgen model (cirrus) 3DCLOUD (cumulus, stratocumulus et cirrus)	Venema et al. 2006) Di Giuseppe and Thompkins, (2003) Benassi et al. (2004) Evans and Wiscombe (2004) Hogan and Kew (2005) Szczap et al. (2014)
Les GCM (modèles climatiques globaux) 10 km < R.S.< 100 km		
Les modèles de downscaling (rajout de fluctuations réalistes « sous voxels »)	Downscaling model	Venema et al., (2010)
Les modèles hybrides (reconstruction 3D de nuages à partir de la télédétection)	3D cirrus 3D cloud-construction for EarthCARE Reconstruction 3D par RADAR sol+ radiance au zénith)	Liou et al. (2002) Barker et al. (2011) Fielding et al. (2014, 2013)

3.4. Comment valider les modèles tridimensionnels

Approche théorique

Des inter-comparaisons de modèles utilisant des approches mathématiques différentes sur des données d'entrées similaires sont généralement utilisées. Cette approche a été mise en place dans le cadre de l'I3RC américain (<http://i3rc.gsfc.nasa.gov/>).

Approche expérimentale

Les données aéroportés/sols (« in situ » à petite échelle) servent à valider les algorithmes de restitution des capteurs satellites (actuels et futurs). Les grandeurs pouvant être validées sont les luminances et flux au sommet de l'atmosphère, pour les capteurs passifs et les coefficients de rétrodiffusion et les vitesses Doppler pour les capteurs actifs. La confrontation entre simulation et observation peut être effectuée par une approche statistique sur un panel d'observation par mesures systématiques. La validation du modèle ne pourra être que partielle, du fait que la comparaison ne s'effectuera que sur quelques types de grandeurs radiatives (réflectance, transmittance, flux...) en fonction du type de mesures possibles.

Ex : Un capteur satellite mesure les réflectances mais ne permet pas de validation du modèle sur les grandeurs de type transmittance.

4. Bilan et recommandations

Cette table ronde permet des échanges nouveaux en rassemblant des utilisateurs du transfert radiatif de différents domaines (atmosphère, océan, surface) et en montrant les approches utilisées (parfois différentes ou complémentaires) de chaque communauté. Cet échange inter-communauté n'est généralement pas courant. On remarque que la diversité des problèmes traités ne permet pas d'aboutir à une unique approche calculatoire mais les démarches de validation sont communes.

On peut noter différentes recommandations issues de ces échanges.

Recommandation 1 : Création d'un milieu 3D de référence

Création d'un milieu atmosphérique 3D ultra discrétisé (échelle à définir) et renseigné (par exemple : scène de nuages morcelés au sein d'une atmosphère 3D) en conditions thermodynamiques et micro/macro - physiques. Les conditions aux limites seront à définir. Cette scène de référence serait à disposition de la communauté au sein d'un groupe utilisateur 3D. Elle pourrait servir à la mise au point de nouveaux algorithmes de traitement, en particulier pour l'étude de la colocalisation de capteurs de différentes résolutions spatiales et de différentes natures. Ce point est important pour les futures études.

Recommandation 2 : Mise en place d'une plateforme web et d'un groupe utilisateur 3D :

Il serait envisageable de regrouper les communautés utilisant l'approche transfert radiatif 3D au sein d'un groupe d'échanges et de mise à disposition de codes 3D et de calculs de références (à l'image du site web américain I3RC américain pour le 3D et de ARTDECO pour les codes 1D chez ICARE). En effet chaque communauté possède son code de référence et il n'y a pas un code unique répondant aux diverses applications.

Ces codes mis à disposition seraient considérés comme étant de référence pour la mise au point de nouvelles méthodes ou considérés comme étalon pour estimer la précision de modèles simplifiés. Il serait souhaitable de promouvoir les codes français pour des facilités de maintenance.

Ce groupe aurait accès au milieu de référence 3D en instaurant un partage de compétences et de retour sur les techniques 3D et d'utilisation de ce milieu 3D (divers domaines spectraux, diverses résolutions spatiales par la dégradation la résolution spatiale d'origine....)

Les codes (sources, documentation, cas tests..) ainsi que le milieu 3D pourraient être regroupés au sein du Pôle Données Atmosphère. Un forum d'échange pourrait être adjoint pour faciliter la communication au sein du groupe.

Recommandation 3 : Traitement des bords des nuages (Radar, optique) : Dans le cas de traitements d'images et d'effets de zoom (même scène observée selon plusieurs capteurs et/ou résolutions spatiales différentes), il est nécessaire d'accroître la représentativité des zones de gradients de luminances produites par les bords de nuages. Le milieu 3D pourrait permettre la mise au point de ces traitements.

Recommandation 4 : Veille sur les techniques de résolution de l'équation de transfert radiatif 3D utilisées dans d'autres domaines physiques

D'autres domaines utilisent des méthodes de résolution de l'équation de transfert radiatif 3D comme la synthèse d'images virtuelles, les calculs thermiques (tuyères, moteur)... Il peut être intéressant d'effectuer une veille de ces techniques pour déterminer la faisabilité et l'apport de nouvelles approches pour les calculs radiatifs 3D atmosphère/surface/océan en vue de la rapidité de calculs.