

**TRATTORIA 2015****COMPTE RENDU DE LA TABLE RONDE  
PARTICULES ATMOSPHERIQUES**

	Nom	et Affiliation
Rédigé par	Juan CUESTA	Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques (LISA)
Et	Jacques PELON	Laboratoire Atmosphères, Milieux et Observations Spatiales (LATMOS)

## 1. Description de la table ronde

Une synthèse illustrant les enjeux, la complexité et les défis actuels pour la télédétection spatiale des particules atmosphériques a été présentée par Juan Cuesta et Jacques Pelon. Le but de la présentation et de la table ronde qui l'a suivie a été d'établir un état de lieux des méthodes actuelles de restitution des propriétés optiques et microphysiques des particules, des instruments spatiaux disponibles (en orbite ou programmés) permettant d'analyser les propriétés des particules atmosphériques et des besoins de la communauté scientifique pour améliorer leur exploitation.

## 2. Participants

La table ronde a été composée par 23 participants, soit des développeurs ou des utilisateurs des méthodes ou des données associées à la télédétection des aérosols et des nuages. Les affiliations des participants ont été très diverses, comptant au total 14 laboratoires et/ou institutions différentes (ACRI-ST, CEA, CESBIO, CNES, INSU, LATMOS, LERMA, LISA, LMD, LOA, Météo-France, MinesParisTech, Noveltis et LOV).

## 3. Compte-rendu des discussions

Les discussions de la table ronde ont porté sur quatre axes principaux: i) les bases de données de propriétés des particules, ii) les codes multi-propos, iii) les méthodes multi-instruments et iv) les systèmes complexes multi-espèces. Une synthèse de chaque thème abordé et les exemples cités par les participants de la table ronde sont détaillés par la suite.

### i) Base de données sur les particules atmosphériques

Les bases de données fournissant les propriétés optiques et microphysiques des particules atmosphériques sont utilisées par les développeurs des méthodes de télédétection atmosphérique, les modélisateurs de la composition de l'atmosphère et les océanographes ou astronomes pour la correction des effets radiatifs des particules sur leurs observations. Pour répondre à ces besoins, le rassemblement et la mise à disposition des multiples bases de données existantes (voir le tableau 1) par une structure nationale, tel que le Pôle Atmosphère, s'avèrent très importants. Cette base de données centralisée devrait établir une synergie forte avec les laboratoires qui produisent les données, comme des mesures en laboratoire des indices de réfraction des particules (faite en France par le LISA et le LOA) ou les mesures effectuées lors de campagnes sur le terrain. Dans tous les cas, il est recommandé de prévoir des moyens financiers et humains dans les projets scientifiques afin d'intégrer les données issues de ces projets dans la base de données centralisée.

Ces bases de données (Tableau 1) intègrent des mesures et des calculs issus des modèles des grandeurs suivants : les indices réfraction des particules, leur distribution en taille (rayon, variance), leur forme (rapport d'aspect), l'albédo de diffusion simple, les coefficients normalisés d'extinction et d'absorption. Un autre aspect important est le choix des variables utilisées pour décrire les propriétés des particules qui sont utiles pour la télédétection et leur impact radiatif. Des analyses de sensibilité et de représentativité sont nécessaires, afin d'établir le lien entre les échelles de mesures in situ, de la télédétection sol et de l'observation satellite. Un manque de base de données commune ou multi-source des propriétés des hydrométéores dans les nuages a par ailleurs été souligné.

Bases de données multi-sources		
Base de données	Commentaire	Référence
GEISA	Indices de réfraction de plusieurs types d'aérosols et propriétés optiques et microphysiques des aérosols et nuages. Mise à jour en 2014. Hébergé par le Pôle Atmosphère.	Jacquinet-Husson et al., 2011 www.pole-ether.fr
HITRAN	Indices de réfraction de plusieurs types d'aérosols et propriétés optiques et microphysiques des aérosols. Mise à jour en 2012.	Massie and Hervig, 2013 www.cfa.harvard.edu/hitrان
GADS/OPAC	Indices de réfraction de plusieurs types d'aérosols, distribution en taille de particules (aérosols et nuages) et propriétés optiques calculés par des codes de Mie et récemment T-Matrix. Intégrée dans GEISA.	Hess et al., 1998 opac.userweb.mwn.de/radaer/opac.html
ADIANT	Indices de réfraction des d'aérosols et autres mesures issues 4 campagnes aéroportées	www.met.reading.ac.uk/adiant/ADIANT.html
ChARMEX, AMMA, FENNEC	Exemples de campagnes de terrain de grande envergure, où nombreuses mesures des particules ont été effectuées	charmex.lsce.ipsl.fr amma-international.org fennec.ouce.ox.ac.uk
LaMP	Mesures de propriétés microphysiques et optiques des aérosols et des nuages	wwwobs.univ-bpclermont.fr/atmos/
Sources de données citées par la table ronde		
Référence	Commentaire	
Di Biagio et al.	Indices de réfraction des poussières désertiques (LISA)	
Herbin et al.	Indices de réfraction des constituants d'aérosols (LOA)	
Labonnote et al.	Look-up-tables des propriétés optiques des particules pour POLDER et 3MI (LOA)	
Liu et al.	Propriétés optiques des nuages	
Yang et al.	Propriétés optiques des cristaux de glace (cirrus)	
Baran et al.	Propriétés optiques et microphysiques des cirrus et variations en température	

**Tableau 1.** Bases de données des propriétés des particules : compilations multi-sources et sources de données citées lors de la table ronde

## ii) Codes multi-propos pour la télédétection des particules

Les méthodes de télédétection des particules intègrent généralement trois types de codes pour a) la simulation directe de transfert radiatif, b) l'inversion des propriétés des particules et c) le calcul des propriétés optiques des particules. Actuellement, les modèles directs de transfert radiatif sont très complets, intégrant la simulation de l'absorption et la diffusion (ordres successifs), des codes de calcul des propriétés optiques des particules, la polarisation, l'adding-doubling, etc. Ces codes sont souvent orientés à des applications spécifiques (aérosols, nuages ou gaz), mais il existe aussi des codes multi-propos qui sont actuellement en cours de développement (voir Tableau 2). La rapidité du calcul de transfert radiatif peut être très différente, selon l'orientation vers l'opérationnel ou la recherche, la précision recherchée ou l'application spécifique. Les besoins de développements des codes directs multi-propos rapides (comme 4A-Op) ou ultra-rapide (comme RTTOV) ont été soulignés lors de la table ronde. Le manque actuel des codes ultra-rapides de calcul de la diffusion dans le visible a été remarqué (action transverse avec la table ronde des codes rapides). Pour leur utilisation par la communauté, des exercices d'inter-comparaison des codes sont nécessaires afin d'identifier leurs points forts et faibles. De même, des compilations des codes, comme dans le cas de ART-DECO, facilitent leur utilisation et s'avèrent très utiles pour la communauté.

Les codes d'inversion peuvent être développés spécifiquement pour chaque application (ex. Look-Up Tables) ou ils peuvent être plus généraliste (ex. estimation optimale). Un exemple de code d'inversion intégrateur est GRASP, qui restitue simultanément plusieurs variables atmosphériques et de surface à des échelles spatio-temporelles différentes. Il est souhaitable que des codes généralistes d'inversion soient associés à des codes multi-propos de calcul direct de transfert radiatif.

Code	Commentaires	Reference
RTTOV	Code direct de transfert radiatif ultra rapide et orienté à l'opérationnel, adapté pour l'analyse des aérosols, nuages et gaz de l'IR aux microondes. Développements en cours vers le domaine visible.	Matricardi, 2009
4A-Op	Code direct de transfert direct rapide, optimisé pour l'opérationnel, adapté pour l'analyse des aérosols, des nuages et des gaz dans l'IR. Développements en cours vers le domaine visible et l'UV. Le code est couplé avec SOS et VLIDORT pour la diffusion et la polarisation (lent) et il intègre la base de données GEISA.	Scott and Chedin, 1981
VLIDORT	Code direct de transfert direct lent, avec la résolution analytique de la diffusion multiple et la polarisation. Interface à développer pour analyser les espèces atmosphériques.	Spurr, 2006
ARAMIS	Code direct de transfert direct lent, orienté à la recherche, dans l'IR, pour GOSAT et EPS-SG. Couplé à VLIDORT pour la polarisation. A moyen terme, disponible sur ART-DECO.	Herbin et al., 2010
GRASP	Code d'inversion multi-instrument et multi-pixel. Il utilise l'information temporelle et spatiale des mesures. Application actuelle au LOA pour POLDER+AERONET+Lidar sol. Le cœur du code est disponible open-source et les applications sont à développer.	Dubovik et al., 2014

**Tableau 2.** Codes pour la télédétection des particules atmosphériques cités lors de la table ronde

### iii) Approches multi-instruments

Pour l'observation de la terre, plusieurs instruments sont souvent embarqués par chaque satellite et certains satellites forment des constellations (A-train). Malgré un potentiel de synergie des multiples mesures spatiales co-localisées, peu d'approches de restitution des propriétés des particules utilisent leurs complémentarités (souvent sous-exploitées). En effet, les produits satellitaires d'aérosols et de nuages utilisent fréquemment des mesures d'un seul capteur spatial. Ces produits sont uniquement comparés entre eux, pour validation et exploitation (ex. produits aérosols et nuages issus de CALIOP et MODIS). Des synergies indirectes des observations satellitaires sont effectuées via l'assimilation des plusieurs produits et cela nécessite aussi le développement des opérateurs d'observables et des bases de données pour combler aux informations manquantes.

Peu d'exemples d'approche multi-instruments ont été cités par la table ronde. Pour les propriétés de nuages, l'algorithme CALIOP+CloudSat+Radiomètre DARDAR (Delanoë and Hogan, 2008) et un produit POLDER+MODIS (LOA) ont été cités. Pas d'équivalent de produit multi-capteurs satellitaires (synergie au niveau 1) a été repérés pour les aérosols. Pour la synergie des mesures spatiales et sol, la méthode d'inversion POLDER+AERONET+Lidar sol de restitution conjointe des aérosols et des propriétés de surface dénommé GRASP (Dubovik et al., 2014) a été citée. Quelques exemples de synergies des produits de niveau 2 ont été remarquées (ex. température de surface AMSU pour des restitution IASI, Crevoisier et al., 2004). Une limitation forte pour des développements d'approche multi-instruments est le manque actuel des codes intégrateurs (point ii) capables d'utiliser conjointement multiples mesures satellitaires dans des domaines spectraux différents. De même, l'implémentation de ces codes nécessite des bases de données des propriétés climatologiques de différents types des particules (point i).

### iv) Systèmes complexes multi-espèce

Une conséquence de l'existence des codes dédiés à des applications spécifiques est la difficulté à analyser des scènes atmosphériques complexes, comprenant multiples espèces (ex. Aérosols+Nuages+Gaz). En effet, les mélanges internes ou externes des couches des particules (aérosols et/ou nuages) et des gaz sont des situations atmosphériques très courantes. Dans ces cas, les mesures intègrent l'impact radiatif combiné de chacune de ces espèces. Si ces effets sont négligés par les codes, des biais peuvent être présents dans les restitutions des propriétés des particules, des gaz ou de la surface. Ceci est particulièrement important avec les besoins croissants de précisions dans les restitutions (ex. gaz à effet de serre).

## 4. Bilan et recommandations

Le constat général des discussions a été que les développements de codes et de bases de données pour la télédétection des particules sont très souvent orientés à des applications particulières. De façon courante, les codes concernent un produit satellitaire spécifique pour un type des particules et ils sont associés à des mesures d'un seul d'instrument, rarement utilisables plus largement. Aujourd'hui, même avec des constellations de satellites orientés vers l'observation de la terre, sont rares les cas d'utilisation synergétique de plusieurs instruments pour restituer une variable ou la complémentarités des plusieurs variables restitués à partir des instruments différents. Pour cela, une limitation forte est le manque des codes de restitution multi-propos couvrant les domaines spectraux de l'UV aux micro-ondes et pouvant analyser les aérosols, les nuages et les gaz. Les synergies multi-instruments permettraient une valorisation accrue des mesures des instruments satellitaires actuels et futurs dédiés à la télédétection des particules.

De même, la mise en place d'une base de données centralisée dédiée aux propriétés des particules s'avère très importante. Des efforts accrus de développement concerté des différents laboratoires et/ou institutions sont nécessaires, tant vis à vis de la communauté nationale qu'internationale. Il y a là une différence notable par rapport à d'autres domaines, tels que les gaz atmosphériques où des bases de données, telles que GEISA ou HITRAN, regroupent et normalisent les données issues d'un grand nombre d'institutions internationales. Pour les particules, ces bases de données centralisées (GEISA ou HITRAN) sont actuellement en développement. Le soutien d'une structure nationale telle que le Pole Atmosphère doit permettre de progresser de façon concertée.

Les recommandations de cette table se résument par la suite :

- La mise en place d'une base de données centralisée des propriétés des particules la plus complète possible, qui regrouperait les données utiles pour la télédétection et l'impact radiatif des particules, issues des institutions nationales et internationales ;
- De développer des codes multi-propos rapides pour la simulation directe et l'inversion des données spatiales, couvrant les domaines et les processus radiatifs pertinents, et intégrant les espèces principales pour la télédétection de la composition atmosphérique. Les codes multi-propos pourront être évalués grâce à des inter-comparaisons avec les développements spécifiques des laboratoires de recherche, qui doivent aussi être soutenus ;
- De développer des méthodes synergétiques exploitant la complémentarité des mesures de plusieurs instruments spatiaux afin de restituer des nouvelles propriétés des particules atmosphériques ;
- De promouvoir les échanges dans la communauté « particules atmosphériques » à multiples échelles (in situ, sol, spatiale) et soutenir l'intégration des développements de codes et de bases de données vers un système centralisé pour les mettre à disposition de la communauté ;
- D'effectuer des études de représentativité et de sensibilité des variables utiles pour la télédétection des particules, qui serviront au choix et à la normalisation des données à inclure dans la base de données centralisée.